

ОПЕРАТИВНИЙ КОНТРОЛЬ ВІДХИЛЕНЬ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ПРИ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОМУ ВИРІЗАННІ МЕТОДОМ ПАРАБОЛІЧНОЇ АПРОКСИМАЦІЇ

Набули подальшого розвитку методи експрес-контролю технологічного процесу електроерозійної розмірної обробки. Отримано аналітичні моделі оцінки рівня відхилень форми поверхні за характером флуктуацій енергії імпульсів при електроерозійному вирізанні. Визначено технологічні особливості використання запропонованого методу при отриманні прогнозу показників якості.

Ключові слова: електроерозійне дротяне вирізання, аналітична модель, форма поверхні, експрес-контроль, флуктуація енергії, параболічна апроксимація.

Вступ

Електроерозійне дротяне вирізання (ЕЕДВ) відноситься до групи фізико-технічних методів розмірної обробки. Основним технологічним спрямуванням такої обробки є зміна форми заготовки. Ряд таких переваг, як висока точність, можливість обробки струмопровідних матеріалів довільної твердості, отримання виробу складної форми із заданими властивостями поверхні без перебазування і, навіть, в один прохід, зумовили широке застосування електроерозійних вирізних верстатів (ЕЕВВ) в інструментальному та в дрібносерійному виробництві.

Фізичне старіння систем та вузлів ЕЕВВ зумовлює зниження продуктивності, точності та збільшує шорсткість обробленої поверхні [1]. За таких обставин ефективність електроерозійної обробки суттєво знижується, а в ряді випадків – до неприйняттого рівня. Встановлення якості деталі протягом технологічного циклу є неможливим внаслідок малої ширини пазу, занурення заготовки у технологічну рідину, закриттям зони обробки елементами конструкції верстату. Процес формування поверхні тривалий, інколи, вирізання здійснюється протягом декількох діб. За такий значний відрізок часу умови перебігу обробки та стан систем верстату можуть суттєво змінитися. Тому здійснення контролю якості тільки по завершенні процесу обробки приводить лише до констатації наявного стану, що часто робить неможливим упередження технологічного браку або економічно недоцільним його виправлення. На жаль, програмно-апаратне забезпечення сучасних ЕЕВВ не дозволяє здійснювати прогнозування результатів обробки, що зумовлено багатofакторністю протіканням технологічного процесу електроерозійної розмірної обробки та недостатнім рівнем його формалізації. З цих причин, актуальність даної роботи полягає в отриманні математичних моделей відхилення форми та шорсткості поверхні за флуктуацією енергії, яка виділяється в міжелектродному проміжку (МЕР).

Метою проведення даних наукових досліджень було отримання методу прогнозування показників якості деталі за даними процесу електроерозійної розмірної обробки. Практична цінність представленої роботи полягає у підвищенні експлуатаційної ефективності електроерозійного устаткування. Об'єктом досліджень є методи цифрової обробки сигналів технологічних процесів. Предметом дослідження є застосування методів статистичної обробки даних в задачах прогнозування показників якості електроерозійного вирізання.

Постановка задачі

Проведення оперативного контролю повинне відповідати ряду критеріїв: не чинити впливу на перебіг процесу формоутворення, забезпечувати комплексність діагностичних даних, мати добру узгодженість з динамікою та базовими параметрами процесу обробки. Для досягнення зазначених критеріїв доцільно в якості вхідних даних обрати величину імпульсів технологічного струму. Такий вид сигналу має добру кореляцію із енергетикою процесу та показниками зняття матеріалу заготовки [2; 3].

Виходячи із мети роботи, в задачу досліджень ставилося:

- отримання аналітичних моделей оцінки таких відхилень форми поверхні, як хвилястість, конусоподібність, бочкоподібність, сідлоподібність, в діапазоні 0..50 мкм;
- визначення похибки оцінки показників якості поверхні;
- розробка методики проведення експрес-контролю процесу ЕЕ вирізання;
- проведення перевірки на адекватність отриманих моделей та ефективності методу шляхом чисельного моделювання та натурних досліджень.

При синтезі моделей необхідно забезпечити мінімізацію витрат обчислювальної потужності та обсягу пам'яті, можливість проведення експрес-контролю на всіх режимах електроерозійної розмірної обробки.

Особливості формування вхідних даних

Незважаючи на те, що поставлені задачі можуть бути вирішені у більш формалізованій спосіб, з огляду на потребу знаходження більш зручного підходу до представлення вхідних даних та використання отриманих результаті, доцільно описати основні фізично-технічних аспекти процесу ЕЕДВ, вигляд перебігу якого відображено на рис. 1а. Для здійснення процесу до МЕП, який утворений тілом заготовки п. 1 та натягнутим дротяним електродом п. 2 малого діаметру $d_e=0,1..0,25$ мм, підводяться імпульси напруги 40..150 В. У більшості випадків, підведення напруги спричиняє пробиття проміжку і, як наслідок, проходження імпульсу технологічного струму I_m та виділення енергії $E_m^{(1)}$ (верхній індекс вказує, що мова йде про енергію одиничного імпульсу). Внаслідок того, що витримка часу фіксації зображення становила 1/60 с, на рис. 1а серія розрядів проявляється у вигляді множини яскравих цяток вздовж дротяного електроду інструменту (ДЕІ) по всій висоті пази H_0 , що зумовлено ефектом групування розрядів. Формоутворення при дротяному вирізання здійснюється за рахунок ерозії матеріалу заготовки від виділення $E_m^{(M)}$ послідовності імпульсів I_m . Для здійснення ЕЕДВ використовують ряд конструктивних елементів, наведених на рис. 1б. До таких елементів відносяться верхня та нижня камера, які мають струмопідводи п. 3 та сопло формування промивки п. 4. Зазначене технологічне забезпечення спричиняє подовження ділянки проходження I_m по ДЕІ на величину $l_{н.м}$. В подальшому, з метою спрощення викладок, буде вважатися, що зазначені ділянки для верхньої та нижньої камер однакові, в цьому випадку технологічна довжина ДЕІ становить $L_m = L_0 + 2 \cdot l_{н.м}$. За початок відліку обрано нижню поверхню заготовки.

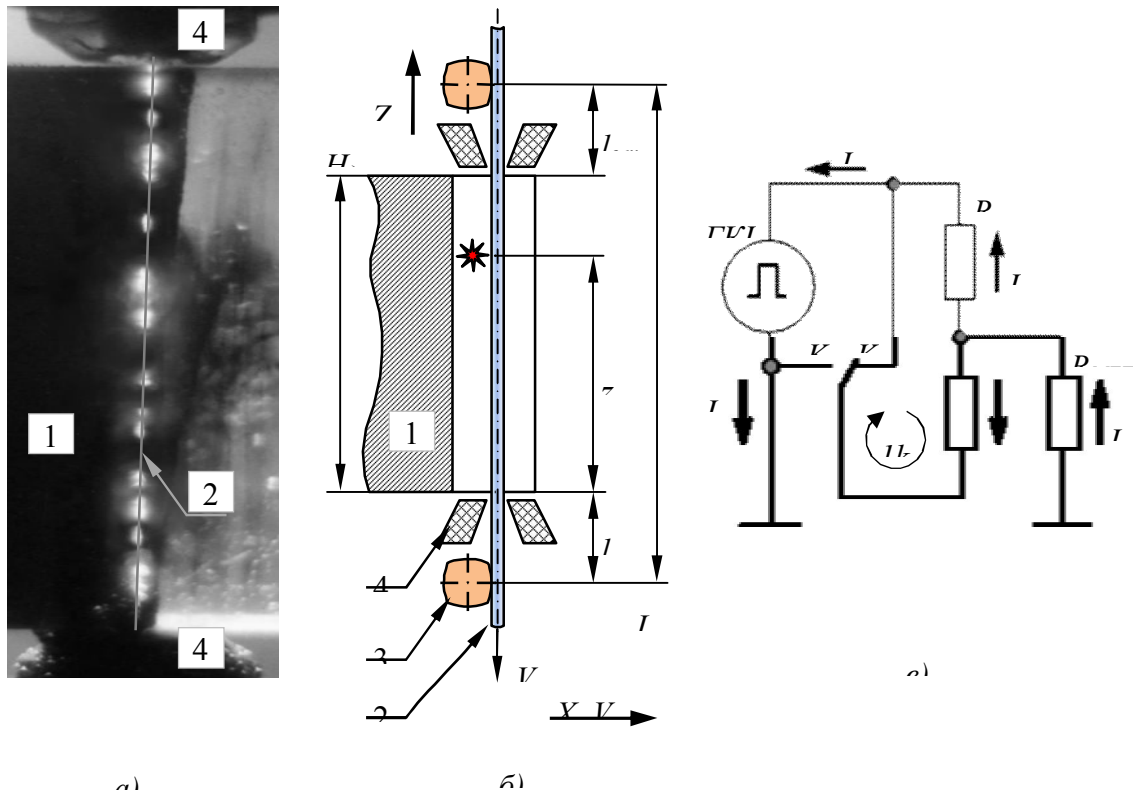


Рис. 1 Зображення перебігу процесу ЕЕДВ, розрахункова

Пропонується визначати місце проходження імпульсу струму на поточний момент часу за диференціальним методом, який реалізується за принциповою електричною схемою рис. 1в. Згідно схеми вважається, що генератор коротких імпульсів (ГКІ) підключено до заготовки позитивним полюсом, до ДЕІ – негативним. Такий вид підключення забезпечує асиметрію виділення енергії, і відповідно, співвідношення рівня ерозії матеріалу деталі до ДЕІ $k_a \in [3; 8]$. Струми I_n та $I_в$, які протікають, відповідно, через нижню та верхню ділянки ДЕІ, доцільно визначати за допомогою імпульсних одновиткових трансформаторів, які надіті на силові дроти в місці підключення до струмопідводів п. 3. За допомогою комутатора K схему збору даних можна переводити в режим калібрівки чи поточного вимірювання, останній режим буде вважатися за основний.

За другим законом Кірхгофа рівняння для контуру lk буде мати наступний вид:

$$R_n \cdot I_n - R_в \cdot I_в = 0. \quad (1)$$

Якщо прийняти за усереднений лінійний питомий опір електроду $\bar{\rho}_{ДЕІ}$, то, з урахуванням довжини нижньої та верхньої ділянок ДЕІ, рівняння (1) набуде виду:

$$\bar{\rho}_{ДЕІ} \cdot l_n \cdot I_n - \bar{\rho}_{ДЕІ} \cdot l_в \cdot I_в = 0. \quad (2)$$

Виразивши струм I_n через сумарний струм, підставивши L_m у вираз (2) та провівши спрощення, було отримано формулу визначення положення розряду:

$$z(I_n, I_g) = L_m \cdot (I_n / I_g + 1)^{-1} - l_{n,m}. \quad (3)$$

Похибка визначення положення проходження розряду більшою мірою залежить від величини розрядності АЦП m і може знаходитись за формулою:

$$z_{error} = \pm L_m \cdot 2^{-(m+1)}. \quad (4)$$

Вибір обсягу вибірки для проведення експрес-контролю процесу ЕЕ вирізання слід здійснювати у відповідності до вимог теорії цифрової обробки сигналів [4], у більшості випадків – це вимога забезпечення умови стаціонарності сигналу. В подальших викладках вимоги до формування вибірки будуть уточнені.

Первинна обробка вхідних даних полягає в перетворенні величини енергії, яка була підведена до зони обробки, у значення характерного розміру зняття матеріалу. Таке перетворення можливо реалізувати, знаючи коефіцієнт ефективності використання енергії імпульсу k_v , діаметр ДЕІ $d_{ДЕІ}$ та величину міжелектродного проміжку $\delta_{МЕП}$.

Припустимо, що внаслідок виділення енергії M імпульсів відбулося вирізання l_g пазу, еквівалентне видаленню об'єму матеріалу $V_g = l_g \cdot (d_{ДЕІ} + 2 \cdot \delta_{МЕП}) \cdot H_d$, тоді $k_v = V_g / E_m^{(M)}$. Виходячи із міркувань, що на формування бокової поверхні деталі припадає лише частина загальної енергії $E_m^{(M)}$, а розбиття висоти заготовки здійснено на інтервали $\Delta z = H_d \cdot 2^{-m}$, отримуємо величину зняття матеріалу на довільному інтервалі за формулою:

$$h_i = 2^m \cdot \frac{2 \cdot \delta_{МЕП}}{d_{ДЕІ}} \cdot (d_{ДЕІ} + 2 \cdot \delta_{МЕП}) \cdot M^{-1} \cdot K_i, \quad (5)$$

де K_i – кількість ефективних імпульсів, які зумовили ерозію на ділянці z_i . Якщо прийняти за базу вимірювання фіксовану кількість імпульсів M , тоді вираз (5) можна суттєво спростити. Наприклад, для більш типового випадку ЕЕДВ $d_{ДЕІ} = 0,2$ мм і $\delta_{МЕП} = 0,02$ мм при $M = 10\,000$ і $m = 5$ формула для визначення величини зняття матеріалу ділянки z_i буде мати вигляд:

$$h_i = 1,536 \cdot 10^{-4} \cdot K_i. \quad (6)$$

Моделі оцінки відхилень форми поверхні

При ЕЕДВ таке відхилення форми поверхні, як конусоподібність, утворюється з причини високого рівня зносу ДЕІ. Так, внаслідок переміщення ДЕІ від верху до низу заготовки, величина його ерозії збільшується, що, як правило, зумовлює звуження утвореного в процесі вирізання пазу в нижній частині деталі. Внаслідок гідравлічних збурень МЕП чи коливання ДЕІ можливі випадки, коли вигляд спотворень форми утвореної поверхні має інший вид. Враховуючи, що вигляд спотворення априорно невідомий, при оперативній оцінці необхідно визначати як вид, так і величину відхилення форми поверхні.

Допуски форми та розташування поверхні регламентує ДСТУ 2498-94 [5]. В межах цього нормативного документу виділяються такі основні види відхилень форми як конусоподібність та овальність. Конусоподібність – таке відхилення профілю поверхні, при якому опорна і базова лінія є прямолінійними, але не паралельними. Овальність, з іншої сторони, характеризується таким відхиленням від базової лінії профілю, при якому реальна лінія є кривою другого порядку. У свою чергу, овальність може мати як бочкоподібний, так і сідлоподібний вигляд. Бочкоподібність – таке відхилення, при якому опорна лінія профілю є випуклою. При сідлоподібності опорна лінія профілю являє собою криву з явно вираженою впадиною. У кількісному відношенні конусоподібність, бочкоподібність і сідлоподібність визначаються як максимальне відхилення між реальною та базовою лініями профілю поверхні.

Вивчення поверхні деталей, отриманих ЕЕДВ, дозволило висунути гіпотезу, що більш загальним випадком представлення форми поверхні є модель у вигляді параболи, яка представлена поліномом:

$$y(z) = a_0 + a_1 \cdot z + a_2 \cdot z^2. \quad (7)$$

Обчислення коефіцієнтів поліному проводиться на основі отриманих в процесі ЕЕДВ даних на контрольованому інтервалі різки, а саме множини $\mathbf{H}=\{h_i\}$, яка знаходиться шляхом використання формул (5) або (6) за значеннями розподілу енергії по висоті пази, вираженого у формі інтервального динамічного ряду $\mathbf{Z}=\{z_i\}$. Операцію параболічної апроксимації доцільно здійснювати за методом найменших квадратів [6]. У цьому випадку коефіцієнти поліному (7) можливо знайти матричним способом:

$$\begin{pmatrix} a_0 \cdot n & a_1 \cdot \sum_{i=0}^N z_i & a_2 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^2 \\ a_0 \cdot \sum_{i=0}^N z_i & a_1 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^2 & a_2 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^3 \\ a_0 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^2 & a_1 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^3 & a_2 \cdot \sum_{i=0}^N z_i^4 \end{pmatrix}^{-1} \times \begin{pmatrix} \sum_{i=0}^N h_i \\ \sum_{i=0}^N (h_i \cdot z_i) \\ \sum_{i=0}^N (h_i \cdot z_i^2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

де n – довжина динамічного ряду \mathbf{Z} , а $N=n-1$.

З метою спрощення обчислення коефіцієнтів полінома (7) та враховуючи достатньо низький ранг матриць, доцільно її розв'язок провести методом Крамера, що дозволить шляхом заміни

$$\begin{aligned} z_0 &= n, \quad z_1 = \sum_{i=0}^N z_i, \quad z_2 = \sum_{i=0}^N z_i^2, \quad z_3 = \sum_{i=0}^N z_i^3 \\ h_0 &= \sum_{i=0}^N h_i, \quad h_1 = \sum_{i=0}^N (h_i \cdot z_i), \quad h_2 = \sum_{i=0}^N (h_i \cdot z_i^2) \end{aligned} \quad (9)$$

записати визначники матриць у вигляді:

$$\Delta A = \begin{vmatrix} z_0 & z_1 & z_2 \\ z_1 & z_2 & z_3 \\ z_2 & z_3 & z_4 \end{vmatrix}, \Delta a_0 = \begin{vmatrix} h_0 & z_1 & z_2 \\ h_1 & z_2 & z_3 \\ h_2 & z_3 & z_4 \end{vmatrix},$$

$$\Delta a_1 = \begin{vmatrix} z_0 & h_0 & z_2 \\ z_1 & h_1 & z_3 \\ z_2 & h_2 & z_4 \end{vmatrix}, \Delta a_2 = \begin{vmatrix} z_0 & z_1 & h_0 \\ z_1 & z_2 & h_1 \\ z_2 & z_3 & h_2 \end{vmatrix}. \quad (10)$$

Коефіцієнти параболічної апроксимації знаходяться за виразами:

$$a_0 = \Delta a_0 / \Delta A, \quad a_1 = \Delta a_1 / \Delta A, \quad a_2 = \Delta a_2 / \Delta A. \quad (11)$$

З метою спрощення програмної реалізації обчислень, доцільно отримати скалярні вирази дискримінантів (10):

$$\begin{aligned} \Delta A &= z_0 \cdot (z_4 \cdot z_2 - z_3^2) + z_1 \cdot (2 \cdot z_2 \cdot z_3 - z_4 \cdot z_1) - z_2^3; \\ \Delta a_0 &= h_0 \cdot (z_4 \cdot z_2 - z_3^2) + hz \cdot (z_2 \cdot z_3 - z_1 \cdot z_4) + hz_2 \cdot (z_1 \cdot z_3 - z_2^2); \\ \Delta a_1 &= h_0 \cdot (z_2 \cdot z_3 - z_1 \cdot z_4) + hz \cdot (z_0 \cdot z_4 - z_2^2) + hz_2 \cdot (z_1 \cdot z_2 - z_0 \cdot z_3); \\ \Delta a_2 &= h_0 \cdot (z_3 \cdot z_1 - z_2^2) + hz \cdot (z_1 \cdot z_2 - z_0 \cdot z_3) + hz_2 \cdot (z_0 \cdot z_2 - z_1^2) \end{aligned} \quad (12)$$

Всі члени виразів (12), крім h_0 , hz , hz_2 , є константами, оскільки довжина вектора \mathbf{Z} апіорно відома з апаратно-програмної реалізації. Дана обставина дозволяє розрахунок констант провести на етапі ініціалізації чи задати у табличному виді, при таких підходах обчислення коефіцієнтів поліному проводиться за наступними формулами:

$$\begin{aligned} a_0 &= h_0 \cdot k_{00} + hz \cdot k_{01} + hz_2 \cdot k_{02}; \\ a_1 &= h_0 \cdot k_{10} + hz \cdot k_{11} + hz_2 \cdot k_{12}; \\ a_2 &= h_0 \cdot k_{20} + hz \cdot k_{21} + hz_2 \cdot k_{22} \end{aligned} \quad (13)$$

де константи k_{XY} розраховуються за виразами:

$$\begin{aligned} k_{00} &= \frac{z_2 \cdot z_4 - z_3^2}{\Delta A}, \quad k_{01} = \frac{z_2 \cdot z_3 - z_1 \cdot z_4}{\Delta A}, \quad k_{02} = \frac{z_1 \cdot z_3 - z_2^2}{\Delta A}; \\ k_{10} &= k_{01}, \quad k_{11} = \frac{z_0 \cdot z_4 - z_2^2}{\Delta A}, \quad k_{12} = \frac{z_1 \cdot z_2 - z_0 \cdot z_3}{\Delta A}; \\ k_{20} &= k_{02}, \quad k_{21} = k_{12}, \quad k_{22} = \frac{z_0 \cdot z_2 - z_1^2}{\Delta A}. \end{aligned} \quad (14)$$

Визначення виду відхилень форми поверхні проводиться шляхом порівняння значень ефективних розмірів профілю оцінки $y(0)$, $y(H_\delta/2)$ та $y(H_\delta)$ за аналітичними моделями:

$$\begin{aligned} p(K \mid (y(0) > y(H_\delta/2) \& y(H_\delta/2) > y(H_\delta)) \vee \\ (y(0) < y(H_\delta/2) \& y(H_\delta/2) < y(H_\delta))) &= 1; \\ p(B \mid y(0) < y(H_\delta/2) \& y(H_\delta/2) > y(H_\delta)) &= 1; \\ p(C \mid y(0) > y(H_\delta/2) \& y(H_\delta/2) < y(H_\delta)) &= 1 \end{aligned} \quad (15)$$

де $p(K)$, $p(B)$, $p(C)$ – ймовірності наявності виду відхилення форми поверхні, відповідно, конусоподібності, бочкоподібності та сідлоподібності. Визначення овальності може проводитись з виразів $p(O \mid K \vee C) = 1$ або $p(O \mid K) = 0$.

Величину відхилень форми поверхні слід розраховувати за формулою:

$$\delta_\phi = \underset{z \in [0, H_\delta]}{\text{Argmax}}(y(z)) - \underset{z \in [0, H_\delta]}{\text{Argmin}}(y(z)) \quad (16)$$

На практиці зручно максимальне і мінімальне значення функції $y(z)$ вибирати із ряду $y(0)$, $y(H_\delta/2)$ та $y(H_\delta)$ у відповідності до умов (15) за видом спотворення форми.

Моделювання процесу оцінки відхилень форми поверхні

В задачу даного етапу науково-дослідних робіт ставилось: здійснення перевірки ефективності використання отриманих математичних моделей визначення виду та величини відхилення форми поверхні за методом параболічної апроксимації; встановлення оптимального рівня дискретизації висоти різку; оцінка чутливості методики до характеру зміни висот профілю h_i . Перевірка проводилась шляхом варіації коефіцієнтів поліному (7) таким чином, щоб відповідна йому крива більшою мірою відображала типові відхилення форми поверхні, які мають місце при ЕЕДВ. З метою відтворення мікронерівності поверхні, на криву адитивно накладався шум, який відповідає нормальному, експоненціальному розподілу та розподілу Пуассона, а також у вигляді синусоїдального сигналу. Амплітуда шуму варіювалась в межах від 0,1 до 0,5 заданого значення відхилення форми. Точність апроксимації визначалась як сума відношень відповідних коефіцієнтів заданого полінома та отриманого в результаті обчислень. Моделювання здійснювалось у середовищі Mathcad 7, його результати для випадку накладання шуму у вигляді синусоїдального сигналу амплітудою $A_m = 6 \cdot 10^{-4}$ і частотою $\omega_m = 7 \cdot \pi / 10$ приведені на рис. 2. Перевага, яка надавалась у дослідженнях синусоїдальному шуму, зумовлена характером перебігу ЕЕДВ, зокрема – наявністю коливання ДЕІ внаслідок локального виділення енергії імпульсів, що спричиняє появу мікронерівності поверхні у вигляді хвилястості.

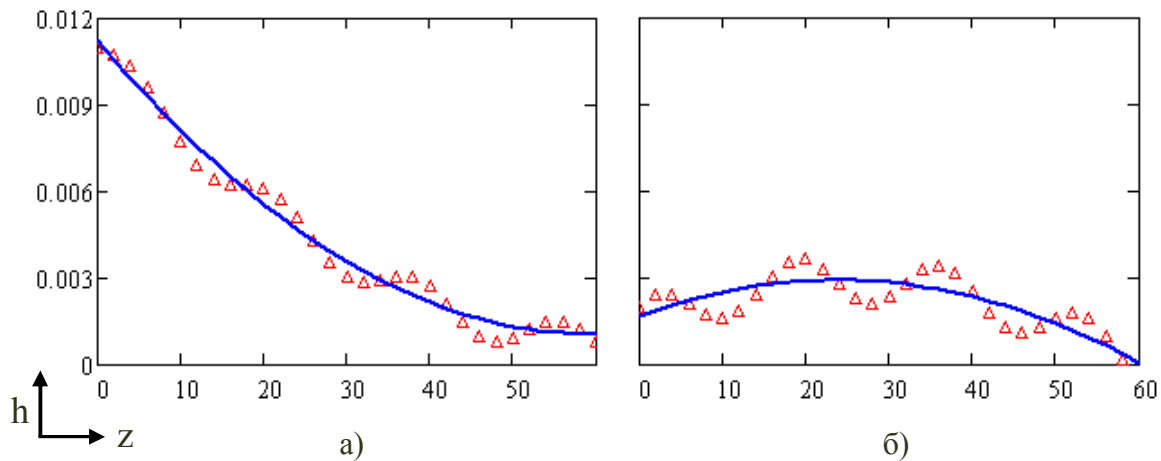


Рис. 2 Результати моделювання оцінки форми поверхні
 ▲▲▲ – вхідні даних; — результати апроксимації.

Моделювання відхилення виду конусоподібність, яка задана поліномом $y(z) = 10^{-5} \cdot z^2 - 6,4 \cdot 10^{-4} \cdot z + 0,011$, приведено на рис. 2а. Випадок спотворення форми поверхні типу бочкоподібність визначений поліномом $y(z) = -10^{-5} \cdot z^2 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot z + 0,0014$ та відображений на рис. 2б. Отримані результати засвідчують добрий рівень апроксимації. Так, на всьому інтервалі моделювання відносна похибка не перевершувала величину 12,5%, що є прийнятним рівнем при проведенні оперативного контролю якості поверхні.

Необхідність проведення апроксимації для встановлення виду і величини спотворення форми демонструє рисунок 2б. З нього видно, що локалізація мінімального та максимального відхилень профілю поверхні шляхом співставлення значень з множини вхідних даних є неоднозначною.

Результати натурних досліджень

Апробація запропонованої методики оперативного контролю відхилень форми поверхні проводилась на верстаті «СЕЛД-02», укомплектованому генератором технологічного струму ГКИ-200. Обробка проводилась на чорнових режимах 2.2 та 2.3, частота імпульсів 22 кГц, напруга імпульсів 60 і 100 В, відповідно. Регулятором подачі змінювалось відношення кількості робочих імпульсів до їх загального числа в межах 0,7..0,9. Швидкість подачі ДЕІ задавалась 50 та 80 мм/с. В якості матеріалу заготовки обрано сталь 20, сталь ХВГ та дюралюміній Д16.

Перевірка ефективності оперативно контролю відхилень форми поверхні при ЕЕДВ проводилась наступним чином. Із заготовок висотою 30 та 60 мм при незмінному режимі обробки вирізались квадрати 10x10 мм. Нижній бік деталі та напрям обробки маркувалися. Для сталевих зразків відкладення на поверхні продуктів ерозії, матеріалу ДЕІ та білого шару видалялись шляхом протраву отриманих зразки в 20% розчині азотної кислоти. Після такої обробки зразки промивались дистильованою водою та просушувались в потоці стисненого повітря. Вимірювання проводилось за допомогою багатооборотної індикаторної головки 2-МИГ модель 05102 (1 клас точності (ГОСТ 9696), діапазон вимірювання 2,0 мм, ціна поділки 0,002 мм, допустима похибка 2 поділки). Заміри проходили на шліфованій гранітній плиті, на яку клалися отримані зразки обробленою стороною. З протилежної сторони (теж обробленої) зразка підводився шуп індикаторної головки. Зразок переміщувався відносно шупа від

нижньої сторони до верхньої. Покази індикаторної головки ділились на два та фіксувалися. На фінальній стадії перевірки результати оперативного контролю порівнювались із результатами стендових вимірювань. В ході досліджень встановлено, що достовірність визначення величини відхилень шляхом апроксимації вхідних даних слід приймати на рівні 0,87.

Висновки

За результатами проведених науково-дослідних робіт встановлено наступне. Характер флуктації енергії, яка виділяється в МЕП, сильно корелює з коливальними, гідродинамічними і тепловими процесами ЕЕДВ, являє собою відображення перебігу технологічного процесу та стану підсистем ЕЕВВ. Аналіз статистичних даних виділення енергії у МЕП дозволяє прогнозувати показники якості обробки. Так, із розподілу енергії вздовж ДЕІ можливо, з прийнятним рівнем достовірності, за методом параболічної апроксимації визначити відхилення форми поверхні, а саме: конусо-, сідло- та бочкоподібність. Отримані результати досліджень є підґрунтям для створення підсистеми експрес-діагностики технологічного процесу та підвищення на їхній основі експлуатаційної ефективності ЕЕВВ.

Література

1. Фотеев Н. К. Качество поверхности после электроэрозионной обработки. – СТИН. –1997. – С. 43-48.
2. Небилиця Ю. М. Методика реєстрації енергії імпульсів технологічного струму в процесах електроерозійної обробки / Небилиця Ю. М., Осипенко В. І. // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник (за напрямом «Інженерна механіка»). – 2001. – Випуск 8. – С.183-190.
3. Небилиця Ю. М. Методика визначення прогину дротяного електрода без зупинки процесу електроерозійного вирізання / Небилиця Ю. М., Осипенко В. І. // Вісник Черкаського інженерно-технологічного інституту. – 2001. – №3. – С.205-210.
4. Шрюфер Э. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизированных сигналов: Учебник / Под ред. проф. В. П. Бабака. – К.: Либідь. – 1995. – 320 с.
5. Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхні. Терміни та визначення ДСТУ 2498-94 – [Чинний від 01.01.1995]. – К. Держспоживстандарт України 2012. – 113 с. – (Національний стандарт України).
6. Линник Ю.В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. – М.: Физматгиз. – 1958. – 334 с.

Стаття надійшла 07 . 10 . 2014
 Прийнято до друку 04 . 11 . 2014

Аннотация

Ю. Н. Небылиця

Оперативный контроль отклонений формы поверхности при электроэрозионном вырезании методом параболической аппроксимации

Нашли развитие методы экспресс-контроля технологического процесса электроэрозионной размерной обработки. Получены аналитические модели оценки уровня отклонений формы поверхности исходя из характера флуктуаций энергии импульсов при электроэрозионном вырезании. Определены технологические особенности применения предложенного метода при прогнозировании показателей качества.

Ключевые слова: электроэрозионное проволочное вырезание, аналитическая модель, форма поверхности, экспресс-контроль, флуктуация энергии, параболическая аппроксимация.

Summary

Yu. M. Nebylytsia

The rapid control of the form rejections of surface at electro-erosive cutting using the parabolic approximation method

The rapid control method of wire cutting electro-erosion technological process has purchased subsequent development. The estimation analytical models of surface form level rejections from character of energy fluctuations of impulses at electro-erosive cutting are got coming. The technological features of the use of the offered method in the receipt of quality indexes prognosis are described here.

Key words: *electro-erosive wire cutting, analytical model, form of surface, rapid control, energy fluctuation, parabolic approximation.*