

ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 621.9.048.4

**Г.С. Калейніков, аспір.
Ю.М. Небилиця, аспір.
В.І. Осипенко, к.т.н., доц.**

Черкаський інженерно-технологічний інститут

**ВІЗУАЛЬНИЙ МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ
ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОГО ДРОТЯНОГО ВИРІЗАННЯ**

Описано методику фотографування електроерозійного дротяного вирізання. Наведено отримані фотознімки та їх аналіз. Визначено вплив газової фази та ефекту гніздування на перебіг процесу електроерозійного дротяного вирізання.

При електроерозійному дротяному вирізанні (ЕЕДВ) відбувається накладання температурних полів від кожного з розрядів, що призводить до локального перегріву дротяного електроду інструменту (ДЕІ) та утворення газової фази [1]. Рівень перегріву визначається кількістю розрядів, які проходять в локальній зоні та ефективністю відводу тепла із зони. Перший чинник визначає гніздування розрядів, а другий – тепломасообмін в міжелектродному проміжку (МЕП). Зазначені явища на сьогодні залишаються недостатньо вивченими. Тому виявлення початкових даних для побудови фізичної моделі процесу ЕЕДВ є актуальним.

Безпосереднє спостереження не дає можливості всебічного вивчення процесу електроерозійного різання. Для отримання візуальної інформації про явища, що відбуваються в МЕП, проведено фотографування в модельному осередку, схема якого наведена на рис. 1. Це дає можливість накопичити необхідний обсяг фотознімків для аналізу та статистичної обробки. Особливість фотографування полягає в тому, що його ведуть в наскрізному світлі, яке проходить через модельний осередок, де відбувається процес електроерозійного дротяного вирізання.

Модельний осередок (рис. 1) складається з двох прозорих пластин (матеріал – плексиглас, прозорість у видимому світлі – 95 %) 1 та 4, між якими закріплено сталеву пластину 3 (матеріал – холоднокатана сталь 65 Г) висотою 60 мм. Для досліджень використовувались пластини двох типів: суцільні та з дренажними пазами.

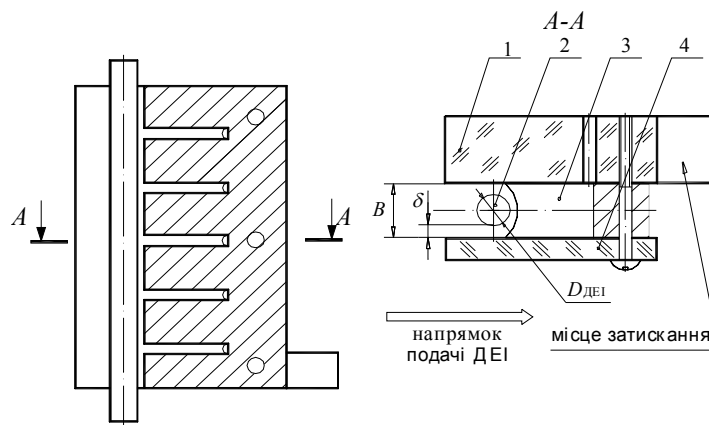


Рис. 1. Схема модельного осередку

Товщина пластини 3 повинна дорівнювати величині пазу, що прорізається при реальних умовах ЕЕДВ, тобто $B = D_{ДЕІ} + 2 \cdot \delta$ (табл. 1). Остання вимога дає можливість найбільш докладно моделювати дійсні умови протікання робочої рідини через МЕП та виносу продуктів ерозії безпосередньо з робочої зони. За один прохід ЕЕДВ пластина 3 вирізається повністю, при цьому прозорість вікон не змінюється.

Фотографування процесу ЕЕДВ проходило за схемою, що наведена на рис. 2. Вирізання проводиться в модельному осередку 4 дротяним електродом 3, який фіксується в направляючих камерах 7. Одночасно через камери 7 подається коаксіально робоча рідина. Отримання точної картини виділення продуктів ерозії та газової фази можливе лише при умові наскрізного проходження світла через модельний осередок, тому лампа освітлення 8 встановлена за модельним осередком. Для уникнення геометричних спотворень зображення фотоапарат 1 (Зеніт–124 М, об'єктив Гелиос-77М–4 М52х0,75 з перехідним кільцем $h = 10$ мм) встановлений на штативі так, що його оптична вісь перпендикулярна до ДЕІ, це можливо лише за умови виконання прозорого

© Г.С. Калейніков, Ю.М. Небилиця, В.І. Осипенко, 2001

віконця 2 в дверцях 5 електроерозійної ванни 9. Для збору газових пухирів на верхній камері 7 закріплено пластикову кришку 6. Модельний осередок фіксується в затискній системі верстату.

Таблиця 1

Товщина пластини В для досліджуваних режимів роботи ГКІ

Режим генератора	Амплітудне значення струму	Частота імпульсів f , кГц	Діаметр дроту $D_{ДЕІ}$, мм	МЕР δ , мм	Товщина пластини B , мм
22	200	22	0,2	0,3	0,26
34	40	44	0,15	0,015	0,18
45	20	88	0,15	0,01	0,17

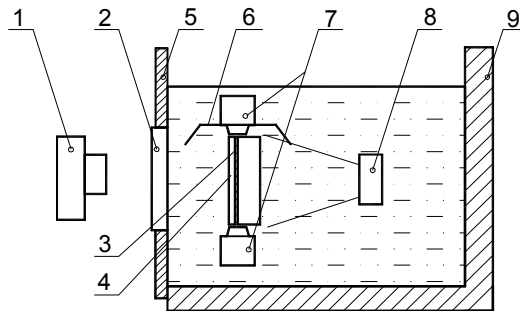


Рис. 2. Схема фотографування процесу ЕЕДВ

Експерименти реалізовувалися на електроерозійному верстаті “СЕЛД–02” з генератором технологічного струму ГКІ 200–300. Робоча рідина – водопровідна вода з міської мережі. Фотоплівка “Кодак GOLD–PR 100”. Дослідження проводилися при зміні параметрів різання: енергія імпульсу 5...40 мДж; частота 22, 44 та 88 кГц; схеми промивки: нижня, верхня, двостороння; тиск промивки 0...4 атм; швидкість подачі ДЕІ 0...1,2 мм/хв.; час експозиції об’єктиву фотоапарата: 1/30, 1/60, 1/125 та 1/250 с.

На рис. 3 представлено фотознімки, що найбільш характерно описують перебіг процесу ЕЕДВ. На них вказано: верхню 1 та нижню 3 камери, ДЕІ 2, пухирі газової фази 4 та треки 7 від них, гніздо розрядів 5, стінки прозорої пластини 6, продукти ерозії 8, металеву пластину 9, одиничний пухир 10.

Аналіз фотознімків проводився в двох напрямках:

- утворення та зміна розміру пухирів газової фази в МЕР;
- гніздування розрядів.

Утворення та зміна розміру пухирів газової фази в МЕР

При проходженні одного розряду утворюється “одиничний” газовий пухир безпосередньо в місці проходженні розряду. Величина пухиря змінна на протязі від його утворення до виносу на поверхню робочої рідини. Зміна розміру одиничного пухиря обумовлена зміною тиску та температури всередині його.

Утворення газових пухирів обумовлено процесами пролізу та гідролізу. Проведено експеримент з метою встановлення домінуючого процесу в газовиділенні. Для цього під час обробки робоча подача ДЕІ зупинялася до зникнення розрядів. Одночасно зі зникненням розрядів проводилося фотографування (рис. 3, а). Така методика дала можливість отримати на фотознімках пухирі, що утворилися лише внаслідок гідролізу робочої рідини. Визначено кількість, геометричні розміри та сукупний об’єм цих пухирів. Отримані дані зіставленні з загальною масою пухирів, що виділяються при проходженні робочих розрядів. Визначено, що газовиділення внаслідок електролізу становить 20...35 % від загальної маси газових пухирів.

РИС. 3

Розмір одиничних пухирів встановлено двома методами:

а) цифрове геометричне збільшення зони обробки (рис. 3, z є збільшеним зображенням зони обробки в 80 разів, воно отримано цифровим методом обробки негативів за допомогою сканера ACER PRISA 1200UT). Часові діаграми зйомки наведені на рис. 4. За рахунок синхронізації в момент часу “0” одночасно вмикаються генератор імпульсів і спуск фотоапарата. Робочий імпульс проходить на протязі часу $t1$ ($t1 = T_{имп}$). Після цього робоча зона стає прозорою, що дає можливість отримати чітке зображення. Шторка фотоапарата відкривається в момент часу $t2$ ($t2 = T_{спр} = 0,001$ с). Зйомка відбувається на протязі часу $t3-t2 = T_{екс}$. На фотознімку при цьому отримуємо одиничний газовий пухир (кадр № 1). Геометричні розміри пухиря відповідають моменту часу $t_{e1} = (t3 + t2)/2$. Для отримання швидкості зміни геометричних розмірів пухиря в часі внаслідок зміни тиску та температури проведено фотозйомку з затримкою на протязі часу (0...0,5 с) після проходження імпульсу. Спуск фотоапарата вмикається в момент часу $t4$ (кадр № 2) і т. д. Результати представлені на рис. 5.

б) підрахунок розміру одиничного пухиря із загальної кількості газу, що виділяється на протязі заданого проміжку часу. Газ, що виділявся на заданому проміжку часу від проходження групи імпульсів, збирався під пластиковою кришкою (рис. 2 поз. 6). Розмір одиничного пухиря визначався діленням загальної кількості газу, що збралася під кришкою, на кількість імпульсів, що пройшли за заданий відрізок часу. При визначенні загальної кількості газу враховувалося розчинення газу в робочій рідині (~3 %) [2], відбивання пухирів від кришки, зміна траєкторії руху та вільний вихід на поверхню (5 %).

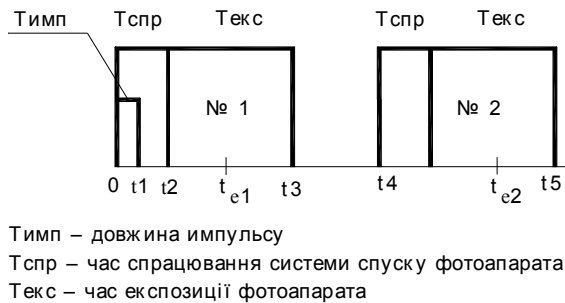


Рис. 4. Часові діаграми зйомки

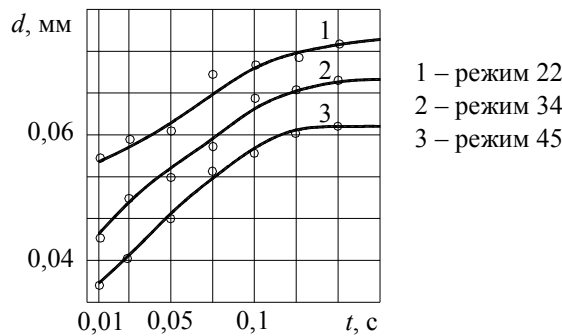


Рис. 5. Зміна розміру газового пухиря в часі

Результати, отримані двома методами, представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Середній діаметр одиничного пухиря

Режим генератора	Середній діаметр одиничного пухиря, мм	
	Метод “а”	Метод “б”
22	0,057	0,067
34	0,041	0,049
45	0,037	0,043

Різниця між результатами, отриманими різними методами, складає не більше 18 %, що вказує на їх достовірність.

Похибка при вимірюванні розміру одиничного пухиря (методом “а” і “б”) та швидкості зміни його розміру в часі складається з таких складових:

- похибка часу експозиції об’єктива (3 %)
 - похибка оптичної системи об’єктива (0,5 %);
 - похибка встановлення фотоапарата (0,5 %);
 - геометричні спотворення при проходженні світла крізь систему лампа – робоча рідина – модельний осередок – робоча рідина – вікно дверці – повітря (1,5 %);
 - оптичні помилки фотоматеріалів (0,5 %);
 - похибка цифрової обробки сканера (5 %) (лише для метода “а”).
- Сумарна похибка для метода “а” дорівнює 11 %; для метода “б” – 6 %.

Гніздування розрядів

Як зазначалось вище, виділення енергії від послідовності розрядів має тенденцію до локалізації, утворюючи при цьому “гніздо” розрядів. На фотознімках добре видно зони виділення енергії у вигляді яскравих плям (рис. 3 поз. 5), які будемо називати гніздом, а сам ефект утворення гнізд – гніздуванням. На фотографіях прояв ефекту залежить від технологічних параметрів ЕЕДВ (частоти, енергії імпульсів струму) та часу експозиції зйомки. Визначено, що для візуального дослідження ефекту гніздування оптимальним є час експозиції 1/125, 1/60, 1/30 для частот до 22 кГц та 1/250, 1/125, 1/60 для частот 44 кГц. При фотографуванні з меншим або більшим часом експозиції утворюється або мала кількість, або суцільний шнур гнізд, що є мало інформативним для статистичного аналізу.

Дослідження ефекту гніздування проводилось за схемою:

- а) визначалась кількість імпульсів, які призвели до виділення енергії в МЕП, а значить, до засвічування плівки:

$$N = f \cdot t_{експ} \cdot k_{ефект} \tag{1}$$

де f – частота імпульсів технологічного струму;

$t_{експ}$ – час експозиції;

$k_{ефект}$ – коефіцієнт використання імпульсів [1];

- б) з фотознімків визначалась довжина $l_{гн}$ і ширина гнізд $b_{гн}$ та відстань між ними;

в) по відношенню довжини гнізда до загальної довжини гнізд визначалась кількість імпульсів в гнізді;

г) проводився середньостатистичний аналіз процесу гніздування за геометричними розмірами та кількістю імпульсів в гніздах.

В експериментах проводилося по п’ять фотографувань із фіксованими параметрами обробки і параметрами зйомки. Такий підхід дозволив встановити стаціонарність процесів гніздування, оскільки на однотипних знімках середньостатистична кількість, геометричні параметри гнізд та відстань між ними мали відхилення 2–5 %, що зіставляється з точністю дослідження.

На рис. 3, б представлена типова фотографія обробки суцільної пластини (частота процесу 44 кГц, середня енергія 5 мДж, коефіцієнт використання імпульсів 0,6...0,65, витримка фотографування 1/60) видно 10 великих, 12 середніх та близько 15 малих гнізд, на які припадає 380...450 розрядів. Встановлено, що великі гнізда містять до 16...20, середні 8...12, малі до 5 імпульсів технологічного струму.

Відстань між гніздами має слабку залежність від частоти підведених імпульсів та коливається в межах 0,2–8 мм при $t_{експ} = 1/125$, 0,1–6 мм при $t_{експ} = 1/60$, 0,1–4 мм при $t_{експ} = 1/30$. Наведені значення отримані при обробці дротяним електродом діаметром 0,2 мм. З фотографій видно, що розподіл гнізд по висоті різку має періодичний характер, тобто гнізда розміщені на однаковій відстані одне від одного. Середньостатистична відстань між гніздами становила 1,6–2,2 мм для 60 % гнізд для всіх фотознімків. Для ЕЕДВ імпульсами з середньою енергією 20 мДж, частотою 22 кГц відстані між гніздами збільшуються в 1,3...1,5 рази, при фотографуванні з однаковим $t_{експ}$. Ця обставина вказує на єдиний механізм утворення гнізд.

Механізм утворення гнізд, на думку авторів, відбувається за такою схемою. В місці виникнення першого розряду виділяється енергія, яка частково йде на іонізаційні процеси в каналі, що сприяє проходженню наступних розрядів біля цього місця. Виділення енергії від групи розрядів на локальній ділянці викликає виділення значної кількості газової фази, яка тисне на ДЕІ і зумовлює його прогин. Цей прогин ДЕІ та розширення газового пухиря зменшує щільність каналного середовища, що зменшує кількість носіїв заряду. При недостатній кількості носіїв заряду ймовірність пробиття МЕП в цьому місці зменшується, що є початком згасання гнізда. Розрядний процес пересувається на іншу ділянку.

Пересування гнізд можна охарактеризувати як процес автостабілізації енерговиділення по висоті МЕП. Такий процес є корисним, оскільки запобігає перегорянню ДЕІ. Але при критичних умовах обробки він припиняється, і тільки дія системи адаптивного керування може запобігти руйнуванню ДЕІ.

Аналіз отриманих даних дає можливість зробити такі висновки:

- для всіх режимів ЕЕДВ має місце виділення газової фази;

– понад 70 % від загального об'єму газових пухирів утворюється внаслідок процесу піролізу робочої рідини;

– геометричні розміри пухирів газової фази становлять 0,03...1,5 мм. Вони залежать від параметрів ЕЕДВ (режиму роботи генератора), умов промивки (тиск, схема промивки), та відстані, на яку віддалився пухир від місця утворення. При недостатній швидкості промивки має місце інтенсивне об'єднання пухирів між собою та налипання їх на бічні пластини конструкції модельного осередку;

– траєкторії руху різних пухирів неоднакові. Пухирі, що покинули МЕР і не об'єдналися з великою швидкістю, виносяться з робочої зони. Частина пухирів завихрюється потоком робочої рідини, вони відриваються від ліній току робочої рідини і виносяться на поверхню лише за рахунок сили об'ємного витиснення;

– для всіх режимів ЕЕДВ мають місце процеси гніздування. Щільність гнізд залежить від часу експозиції фотографування, енергії імпульсів технологічного струму та діаметра й величини натягу ДЕІ. Гнізда довільно розміщені по висоті різь, але взаємне розташування має періодичний характер.

Результати, отримані візуальним методом дослідження електроерозійного дротяного вирізання, вказують на значну роль в перебігу процесу ЕЕДВ ефекту гніздування розрядів, утворення та виносу газової фази. Керування цими ефектами дозволить підняти продуктивність та якість електроерозійної розмірної обробки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Иоффе В.Ф., Коренблюм М.В., Шавырин В.А.* Автоматизированные электроэрозионные станки. – Л.: Машиностроение, 1984. – 231 с.
2. Таблицы физических величин: Справочник / Под ред. акад. И.К. Кикоина. – М.: Атомиздат, 1976. – 1008 с.

КАЛЕЙНИКОВ Геннадій Євгенович – аспірант Черкаського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– інтенсифікація процесів електроерозійного дротяного вирізання.

НЕБИЛИЦЯ Юрій Миколайович – аспірант Черкаського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– електрофізичні процеси та електрофізичні методи обробки.

ОСИПЕНКО Василь Іванович – кандидат технічних наук, доцент Черкаського інженерно-технологічного інституту.

Наукові інтереси:

– процеси електроерозійного дротяного вирізання.

тел.(0472) 42-30-19, 42-21-67, e-mail:cheti@cheti.cherkassy.ua

Подано 06.10.2000

Калейников Г.Є., Небилиця Ю.М., Осипенко В.І. Візуальний метод дослідження електроерозійного дротяного вирізання

Калейников Г.Е., Небылица Ю.Н., Осипенко В.И. Визуальный метод исследования электроэрозионной проволочной резки

Kaleynikov G.E., Nebilica Y.N., Osipenko V.I. Visual method of electro discharge machining study

УДК 621.9.048.4

Визуальный метод исследования электроэрозионной проволочной резки / Г.Е. Калейников, Ю.Н. Небылица, В.И. Осипенко

Описана методика фотографирования электроэрозионного проволочного вырезания. Приведены полученные фотоснимки и их анализ. Определено влияние газовой фазы и эффекта гнездования на ход процесса электроэрозионного проволочного вырезания.

УДК 621.9.048.4

Visual method of electro discharge machining study / G.E. Kaleynikov, Y.N. Nebilica, V.I. Osipenko

In the article described strategy of taking pictures the process fire-cut EDM. Brought received photographic and its analysis. Determined influence upon running the process of gas phase of that effect category localization's.