

УДК 620.197

В.І. Осипенко, д.т.н., проф.
Л.Г. Полонський, д.т.н., проф.
Д.О. Ступак, к.т.н., доц.
О.Ю. Шитик, аспір.
Є.В. Хижняк, аспір.

Черкаський державний технологічний університет

МЕТОДИКА ВИСОКОТОЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДРОТЯНИХ ЕЛЕКТРОДІВ

У статті запропоновано, теоретично обґрунтовано та експериментально апробовано методику високоточного діагностування механічних характеристик дротяних електродів. Отримані дані дозволяють збільшити точність математичних моделей, що використовуються для програмної компенсації впливу системи ВПД на точність вирізної електроерозійної обробки.

Вступ. Чотирикоординатне електроерозійне дротяне вирізання (ЕЕДВ) широко використовується для виготовлення деталей з високими вимогами до точності розмірів, форми та якості поверхні. При цьому одним з елементів електроерозійного вирізного верстата (ЕЕВВ), що вносить суттєву похибку в точність виготовлення деталі, є дротяний електрод-інструмент (ДЕІ). Проблема полягає в тому, що при формуванні кінчної поверхні, за наявності власної жорсткості дротяного електрода та дії на нього зусилля натягу і розподіленого навантаження від масової дії розрядів та гідродинамічного тиску потоку промивання МЕР, відбувається суттєве зміщення різальної ділянки ДЕІ від ідеалізованого положення. При цьому дріт набуває складної форми, яка відрізняється від прямої лінії [1–3]. Найбільш ефективним методом вирішення цієї проблеми є формування спеціальної траєкторії переміщення вузлів фіксації ДЕІ, що компенсує вплив відхилень та спотворення форми різальної ділянки дроту. Для реалізації даного методу необхідно експериментальним чи розрахунковим шляхом визначити точну величину викривлення дроту в довільному перетині різку при виконанні конкретної технологічної операції вирізання. На практиці розроблено математичні моделі [3, 4], що описують статичні та динамічні параметри системи верстат-присосування-інструмент-деталь (ВПД) для випадку ЕЕДВ, ґрунтуються на феноменологічному методі дослідження. Виходячи з цього, їх точність безпосередньо визначається точністю

© В.І. Осипенко, Л.Г. Полонський, Д.О. Ступак, О.Ю. Шитик,
Є.В. Хижняк, 2007

експериментальних даних відносно коефіцієнтів, що враховують властивості конкретного фізичного середовища чи об'єкта, якими в даному випадку виступають механічні характеристики різнотипних ДЕІ.

Більшість виробників ДЕІ (як закордонних, так і вітчизняних) як правило регламентують лише межу міцності на розрив (σ_b) та максимально допустиме відносне видовження ($\varepsilon < n \%$) [5–7]. Для електродів вітчизняного виробництва характерним є суттєвий розкид (10–30 %) навіть таких обмежених даних.

Мета. З огляду на розвиток електроерозійної технології, появу нових галузей застосування, підвищення вимог до точності форми деталей суттєво зростають вимоги до точності математичного моделювання параметрів системи ВПД, що, в свою чергу, вимагає високої точності даних про механічні характеристики ДЕІ, який використовується в конкретній технологічній операції. Виходячи з цього, було поставлено завдання розробити та адаптувати до вимог сучасного математичного моделювання високоточну методику діагностування механічних характеристик ДЕІ. Проблемі вирішення поставленого завдання та аналізу отриманих результатів і присвячена дана стаття.

Теоретичний аналіз. В умовах електроерозійного вирізання ДЕІ знаходиться під дією сил натягу F_p та розподіленого навантаження q_p від дії сил, що виникають внаслідок проходження електричних розрядів та гідродинамічного тиску потоку промивання МЕП в зоні обробки (рис. 1). При цьому максимальне відхилення \square різальної кромки ДЕІ від заданого положення може сягати $\delta = 0,05$ мм [8]. В адаптовані до фізико-технологічних умов ЕЕДВ рівняння математичної фізики, за допомогою яких можливо розрахувати форму та амплітудно-частотні характеристики віброакустичних коливань ДЕІ, як правило входять:

E – модуль Юнга;

$d_{пр}$, $S_{пр}$ – відповідно діаметр та площа поперечного перетину ДЕІ;

$\sigma_{пл}$ – межа пропорційності;

σ_t – межа текучості;

σ_b – межа міцності;

ε – відносне видовження.

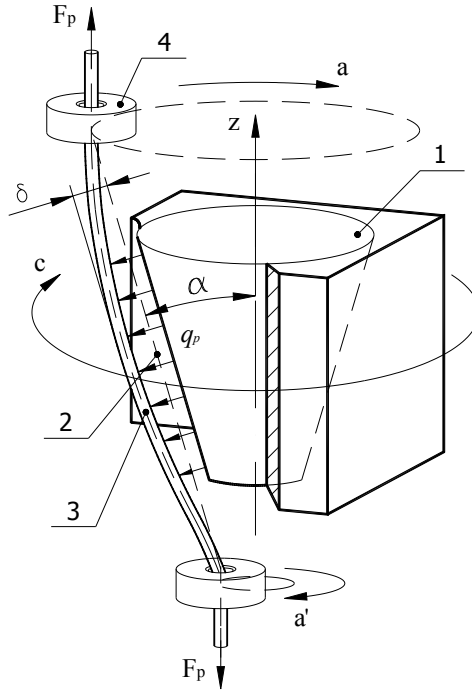


Рис. 1. Схема механічного навантаження та характер деформацій ДЕІ при формоутворенні конічної поверхні: 1 – оброблювана деталь; 2 – ідеалізована форма ДЕІ; 3 – реальна форма ДЕІ; 4 – система навантаження ДЕІ; F_p – зусилля натягу ДЕІ; q_p – розподілене навантаження на різальну ділянку ДЕІ; a , a' , c – траєкторія руху верхньої, нижньої напрямних та ДЕІ відповідно; α – заданий кут нахилу; δ – величина максимального відхилення ДЕІ від ідеалізованого положення

Зрозуміло, що визначити чи уточнити дані механічні характеристики можливо за допомогою стандартної діаграми розтягу. При цьому для задоволення вимог до точності математичного моделювання похибка визначення кожного параметра не повинна перевищувати 1–2 %. Для дротяних електродів діаметром 0,1–0,3 мм та максимальних зусиль натягу 1–30 Н отримати діаграму розтягу ДЕІ відповідної точності, використовуючи лише стандартні методики та обладнання для вимірювань подібного роду, неможливо [9].

Методика вимірювань. З урахуванням наведених вимог, вдосконалена методика була реалізована безпосередньо на електроерозійному вирізному верстаті СЕЛД-02 (рис. 2).



Рис. 2. Електроерозійний вирізний верстат з числовим програмним керуванням моделі СЕЛД-02

Схема експериментальної установки наведена на рис. 3.

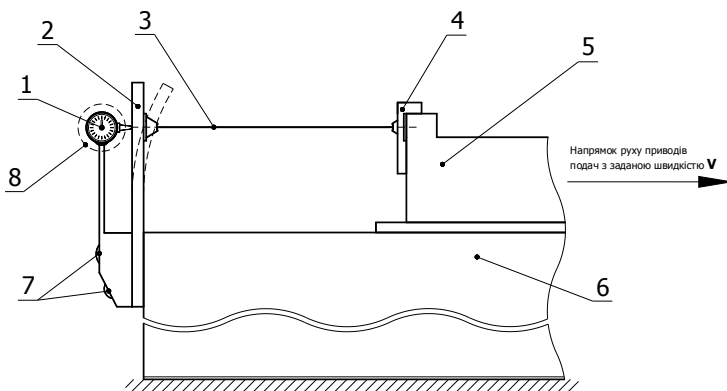


Рис. 3. Схема експериментальної установки:

1 – індикатор годинникового типу; 2 – пластина; 3 – дослідний зразок дротяного електрода інструмента; 4 – нерухома консоль кріплення ДЕІ; 5 – приводи подач електроерозійного верстата;

6 – станина верстата; 7 – жорстке кріплення індикатора і пластини; 8 – місце розташування цифрової відеокамери

Розтягнення дроту (3) здійснюється за допомогою приводів подач верстата (5), з дискретністю переміщення 1 мкм. Чутливим елементом системи вимірювання є пружна металева пластина (2), що прогинається при розтягуванні дроту. Пластину жорстко зафіксовано (7) до нерухокої гранітної станини верстата (6). Величина прогину пластини визначається за шкалою індикатора (1) з ціною поділки 0,01 мм та записується за допомогою цифрової відеокамери, що розташована безпосередньо навпроти шкали. Щуп індикатора встановлюється співвісно ДЕІ. Відхилення пластини пропорційне зусиллю натягу дроту. Тарування вимірювальної системи установки виконується за схемою, наведеною на рис. 4, при цьому використовується динамометр (4) з ціною поділки шкали 0,05 Н. Динамометр і чутлива пластина з'єднані сталевим дротом. Дискретне переміщення приводу викликає прогин чутливої пластини, величина якого визначається за шкалою індикатора, а зусилля – динамометром. Таким чином, розроблена система дозволяє фіксувати зусилля натягу ДЕІ з похибкою $\pm 0,025$ Н, а реальне видовження зразка – з похибкою $\pm 0,005$ мм.

За результатами отриманих значень будується тарувальний графік для чутливого елемента.

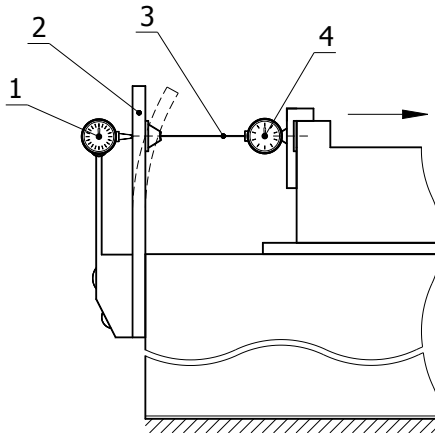


Рис. 4. Схема тарування дослідної системи:
1 – мікрометричний індикатор годинникового типу;
2 – чутлива пластина; 3 – сталевий дріт; 4 – динамометр

Після отримання тарувальних графіків проводиться розтяг підготовлених зразків ДЕІ різного діаметра та матеріалу. Для кожного типу ДЕІ експеримент проводиться не менше 5 разів. Дріт жорстко закріплюється з обох боків (консоль приводів подач верстата – з одного боку та чутлива пластина – з іншого) і попередньо натягується до величини показу індикатора 0,005 мм.

За допомогою стійки числового програмного керування верстата фіксуються координати початкового положення та задається швидкість руху приводів подач, що дає можливість точно визначити довжину випробуваного зразка. Розтяг ДЕІ проводиться до моменту його обриву, при цьому показання індикатора записуються за допомогою цифрової відеокамери в окремий відеофайл (рис. 5).

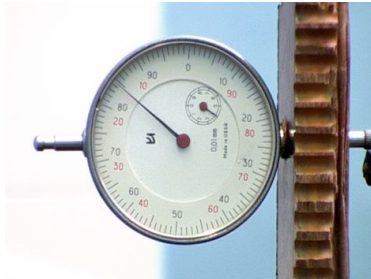


Рис. 5. Стоп-кадр відеофайла показів переміщень мікрометричного індикатора при розтязі ДЕІ

Аналізуючи покадрово на персональному комп'ютері отриманий відео файл, будується високоточна діаграма розтягу, що дає найбільш повне уявлення про механічні характеристики ДЕІ, що використовується в конкретній технологічній операції.

Результати. Для проведення досліджень з визначення характеристик жорсткості ДЕІ були відібрані 4 основні типи сучасних дротяних електродів, що використовуються при ЕЕДВ. Діаметри досліджуваних зразків знаходились в межах 0,15...0,25 мм, що відповідає найбільш поширеним типорозмірам.

На рис. 6 наведено діаграми розтягу досліджених ДЕІ.

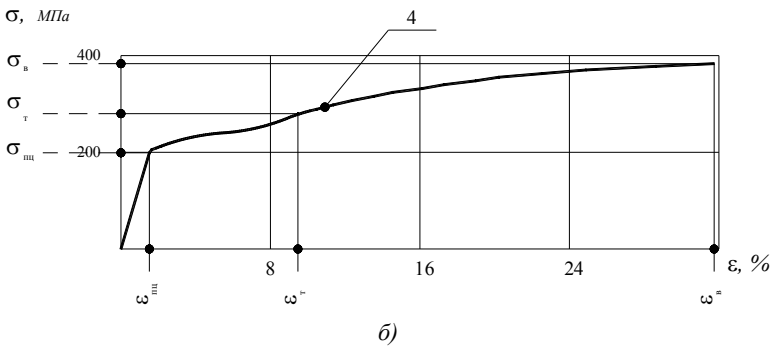
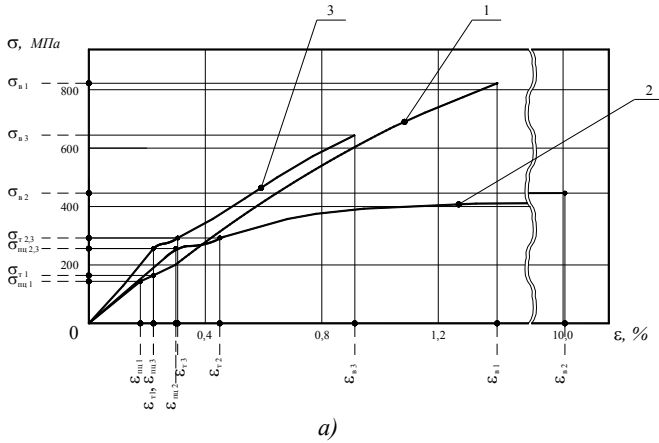


Рис. 6. Діаграми розтягу дріт'яних електродів-інструментів закордонних (а) та вітчизняних (б) фірм виробників:
 1 – Cobra Cut B; 2 – Fanuc-Norm; 3 – Cobra Cut A; 4 –Electra

Визначені за діаграмами механічні характеристики досліджених зразків наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Базові механічні характеристики основних типів дріт'яних електродів

Марка дроту	Cobra Cut A, AGIE, Швейцарія	Fanuc-Norm, Matra, Японія	Cobra Cut A, AGIE, Швейцарія	Electra, ООО "Меганом", Україна
Матеріал	тверда латунь CuZn37	напівтверда латунь CuZn37	тверда латунь CuZn37	м'яка латунь Л63
Діаметр ДЕІ, мм	0,20	0,15	0,15	0,25

Довжина зразка l , мм	181,59	195,17	180,27	194,98
Межа пропорційності $\sigma_{пц}$, МПа	144	256	256	199
$\epsilon_{пц}$, %	0,15	0,27	0,22	1,17
Межа текучості $\sigma_{т}$, МПа	164	292	292	280
$\epsilon_{т}$, %	0,22	0,41	0,30	9,47
Межа міцності $\sigma_{в}$, МПа	823	445	644	384
$\epsilon_{в}$, %	1,40	10,30	0,91	31,74
Модуль пружності E ($tg \square$), МПа	$9,12 \times 10^4$	$9,27 \times 10^4$	1×10^5	$1,69 \times 10^4$
Абсолютне кінцеве видовження зразка $\square l$, мм	2,5465	20,1053	1,6465	61,9030

В порівняльній табл. 2 зведено довідкові числові значення відносного видовження ДЕІ, що надаються фірмами-виробниками та числові значення ϵ_e (%), отримані в ході проведених експериментів.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця довідкових та експериментально отриманих числових значень відносного видовження ДЕІ ϵ_e (%)

Марка дроту	Cobra Cut A AGIE, Швейцарія	Fanuc–Norm Matra, Японія	Cobra Cut A AGIE, Швейцарія	Electra, ООО ”Меганом”, Україна
Довідкове значення відносного видовження ДЕІ, $\epsilon_{в}$, % (не менше)	Не регламентовано	Не регламентовано	Не регламентовано	< 25*
Експериментально отримане точне відносне видовження ДЕІ $\epsilon_{в}$, %	1,40	10,30	0,91	31,74
Довідкове значення межі міцності $\sigma_{в}$, МПа	690 – 930*	Не регламентовано*	740 – 930*	340*
Експериментально отримане точне значення	823	445	644	384

σ_B , МПа				
------------------	--	--	--	--

* за ГОСТ 1066-90 «Проволока латунная. Технические условия»

Експериментальна перевірка показала, що використання уточнених даних про механічні характеристики ДЕІ дозволила зменшити похибки статичного настроювання параметрів верстата та збільшити на 10–15 % точність розрахунку дійсної форми та положення різальної кромки ДЕІ. Отримані результати дозволяють з високою точністю рекомендувати конкретний матеріал ДЕІ з встановленими параметрами жорсткості під конкретні завдання ЕЕО для досягнення максимальної точності виготовлення кінцевого виробу.

Висновки:

1. Створено відносно просту та недорогу методику для побудови діаграми розтягу дротяних електродів діаметром від 0,1 до 0,3 мм, яка дозволяє визначити їх механічні характеристики (межу пропорційності, межу пружності, межу міцності, відносно видовження, модуль пружності Юнга) з похибками, що не перевищують $\pm 2\%$.

2. Використана методика дозволила на 10–15 % збільшити точність математичних моделей, що використовуються для програмної компенсації впливу системи ВПД на точність дво- та чотирикоординатної електроерозійної обробки.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Артамонов Б.А., Волков Ю.С. Анализ моделей процессов электрохимической и электроэрозионной обработки. – Часть II: Модели процессов электроэрозионной обработки. Проволочная вырезка. М.: ВНИИПИ, 1991.
2. Золотых Б.Н., Овсянников Б.Л., Ставицкая Н.Б. Расчет искажений траектории движения инструмента при электроэрозионной обработке электродом-проволокой // Электронная обработка материалов. – 1988. – № 3. – С. 15–19.
3. Осипенко В.И. Повышение производительности и точности размерной электроэрозионной обработки на вырезных станках с ЧПУ: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.07. – К., 1999. – 144 с.
4. Позняк Г.Г., Рогов В.А. Динамическая составляющая погрешности вырезного электроэрозионного станка. – № 4. – СТИН, 2003.
5. http://www.agie.com/english/index_e.html
6. <http://www.fanuc.com/>
7. <http://www.charmilles.com/>

8. Ф.Балле. Скорость и точность электроэрозионной обработки. – Женева (Швейцария), 1994.
9. ГОСТ 10446-80. Проволока. Метод испытания на растяжение.

ОСИПЕНКО Василь Іванович – доктор технічних наук, завідувач кафедри комп'ютеризованих технологій високоєфективної обробки матеріалів Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- процеси електроерозійної обробки;
- розробка конструкцій електроерозійних вирізних верстатів.

Тел.: 8-097-643-90-91.

E-mail: osip5906@rambler.ru.

СТУПАК Денис Олегович – кандидат технічних наук, доцент кафедри комп'ютеризованих технологій високоєфективної обробки матеріалів Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- процеси електроерозійного дротяного різання.

Тел.: 8-0472-38-29-93.

E-mail: stupak@uch.net.

ШИТИК Олександр Юрійович – аспірант кафедри комп'ютеризованих технологій високоєфективної обробки матеріалів Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- моделювання електроерозійного дротяного різання.

ХИЖНЯК Євген Валерійович – асистент кафедри комп'ютеризованих технологій високоєфективної обробки матеріалів Черкаського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- моделювання електроерозійного дротяного різання.

Подано 23.08.2007