

УДК 621. 9. 048. 4

В.М.Шмельов, канд. техн. наук*Кіровоградський національний технічний університет, м. Кіровоград, lshvm@mail.ru*

Розмірна обробка електричною дугою ступінчастих стержнів

Запропоновано технологію виготовлення ступінчастих стержнів розмірною обробкою електричною дугою (РОД). Визначено вплив технологічних характеристик на показники процесу РОД. Отримані математичні моделі продуктивності процесу РОД ступінчастих стержнів, бічного міжелектродного зазору (МЕЗ), відносного лінійного зносу електрод-інструменту (ЕІ), шорсткості бічної поверхні стержня, відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів.

шорсткість поверхні, технологічний струм, статичний тиск потоку робочої рідини, ступінчастий стержень

В.Н.Шмелев, канд. техн. наук*Кировоградский национальный технический университет, г. Кировоград***Размерная обработка электрической дугой ступенчатых стержней**

Предложена технология изготовления ступенчатых стержней размерной обработкой электрической дугой (РОД). Определено влияние технологических характеристик на показатели процесса РОД. Полученные математические модели производительности процесса РОД ступенчатых стержней, бокового межэлектродного зазора (МЭЗ), относительного линейного износа электрод-инструмента (ЭИ), шероховатости боковой поверхности стержня, относительной шероховатости торцевой поверхности стержней.

шероховатость поверхности, технологический ток, статическое давление потока рабочей жидкости, ступенчатый стержень

Постановка проблеми. Для виготовлення стержнів, що важко оброблюються різанням матеріалів застосовують методи електроерозійної обробки (ЕЕО). До них відносяться електроіскровий та електроімпульсний методи [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В теперішній час найпоширенішим на виробництві є електроімпульсний метод обробки [2].

При електроімпульсній обробці робочим середовищем є непровідна рідина (гас, мастило, вода та інше), що заповнює міжелектродний зазор (МЕЗ). Коли імпульсна напруга U між анодом та катодом досягає певної величини, відбувається електроерозійний пробій рідини. В останньому виникає плазменний канал розряду, де проходять процеси нагрівання, розпаду та іонізування речовини робочого середовища. Між електродами крізь канал переноситься електричний розряд, в плазмі виділяється джоулева теплота, а перехід зарядів крізь границю між плазмою і електродами супроводжується надходженням імпульсних теплових потоків на анод і катод. Матеріал електрода-заготовки (ЕЗ) із лунки викидається в МЕЗ. Завдяки виділенню джоулевої теплоти, канал розряду оточується газоподібними продуктами розпаду робочого середовища – газовою порожниною. Стінки порожнини, що розширюються виштовхують із МЕР робоче середовище, потік якої зтягує частинки, раніше викинуті з лунки, та виводить їх із проміжку.

Проте процеси електроіскрової та електроімпульсної обробки забезпечують порівняно невисоку продуктивність обробки.

Альтернативою таким процесам є спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД) [3], який, порівняно з електроіскровою обробкою, дозволяє підвищити продуктивність в 5-10 разів, і отримати ступінчасті стержні, зокрема, пуансони з високими показниками економічної ефективності.

Постановка завдання. Особливістю процесу РОД є наявність в МЕЗ потужного гідродинамічного потоку робочої рідини який взаємодіє з електричною дугою підвищуючи її енергетичні параметри та зменшуючи її геометричні параметри. Таким чином чим більше швидкість потоку в зазорі тим більш локальна електрична дуга як джерело тепла.

Спосіб РОД дозволяє якісно оброблять стержні із співвідношенням $D/d < 2$, де D – діаметр заготовки; d – діаметр стержня після РОД, при цьому рівномірність шорсткості, яка характеризується відношенням $Ra_{max}/Ra_{min} < 2$.

З метою зменшення шорсткості обробленої поверхні обробку здійснюють при зменшеній силі технологічного струму. Але при цьому продуктивність обробки зменшується, а час обробки підвищується;

Виклад основного матеріалу. При РОД стержнів із співвідношенням $D/d \geq 2$ спостерігається значне збільшення шорсткості торцевої поверхні. Нерівномірність шорсткості збільшується $Ra_{max}/Ra_{min} \gg 2$. Це пов'язано з різким зниженням швидкості потоку в напрямку вилучення робочої рідини з торцевого МЕЗ з утворенням на периферійній частині так званих довгих (мало стиснутих) дуг, які за своїми параметрами не можуть вести розмірну обробку. При цьому швидкість потоку в торцевому МЕЗ знижується за двома причинами:

- за геометрією торцевого МЕЗ (лінії течії в торцевому МЕЗ при використанні прямого способу прокачування розходяться);
- за рахунок збільшення торцевого МЕЗ в напрямку евакуації продуктів ерозії з нього, що пов'язано з вторинним диспергуванням продуктів ерозії.

При РОД ступінчастих стержнів із співвідношенням $D/d \geq 2$ з використанням зворотного способу комбінованого прокачування проблема значного зниження шорсткості торцевої поверхні стержня в деякій мірі вирішується, але все одно спостерігається нерівномірність шорсткості обробленої поверхні яка лежить в межах від 1 до 2.

Запропонований [4] спосіб розмірної обробки стержнів електричною дугою з однозонним комбінованим зворотним (зустрічним) прокачуванням робочої рідини крізь торцевий МЕЗ під технологічним тиском, який відрізняється тим, що статичні тиски робочої рідини на входах в МЕЗ P_{cm1} , P_{cm2} регулюють із умови досягнення рівності середніх швидкостей потоків на даних ділянках, і визначають із співвідношення.

$$\frac{P_{cm1}}{P_{cm2}} = \frac{\xi_1 \frac{\rho \cdot V^2}{2}}{\xi_2 \frac{\rho \cdot V^2}{2}} = \frac{\xi_1}{\xi_2}, \quad (1)$$

де ξ_1 , ξ_2 – коефіцієнти гідравлічного опору ділянок течії зустрічних (відповідно, внутрішнього та зовнішнього) потоків в МЕЗ;

ρ - густина робочої рідини.

Для реалізації технічного рішення що пропонується відносно обробки стержнів (рис. 1) ЕІ 1 закріплюють нерухомо на столі електроерозійного верстата, а ЕЗ 2 – на нерухомому шпинделі (на схемі не показано). Поперед обробки робочу зону герметизують. Робочу рідину (наприклад, органічне середовище) від двох автономних насосів, або від одного насосу з використанням спеціального дільника потоку,

одночасно подають в бічний МЕЗ 3 під статичним тиском P_{cm1} та в торцевий МЕЗ 4 під статичним тиском P_{cm2} . Зазначені тиски регулюють із умови досягнення рівності середніх швидкостей потоків V в даних зазорах, тобто пропорційно гідравлічним опорам течії потоків на ділянках, і визначають із співвідношення (1).

Незалежність регулювання швидкості обох потоків за вказаним вище принципом, шляхом зміни статичних тисків на входах в МЕЗ дозволяє наблизити радіус R розташування кільцевого конала в ЕІ безпосередньо по межі торцевого та бічного зазорів і тим самим забезпечити горіння електричної дуги б в будь-якій точці торцевого МЕЗ практично в однакових гідродинамічних умовах, а отже забезпечити рівномірну якість (шорсткість) всіх поверхонь що обробляється. При цьому постійна швидкість потоку в радіальному напрямку торцевого МЕЗ досягається за рахунок на постійному площі живого перерізу потоку шляхом звуження ширини каналу в даному зазорі (завдяки геометрії торцевого МЕЗ потік сходиться), з одного боку, та збільшення висоти каналу (тобто зазору) в тому ж напрямку за рахунок вторинного диспергування в ньому продуктів ерозії, з другого боку.

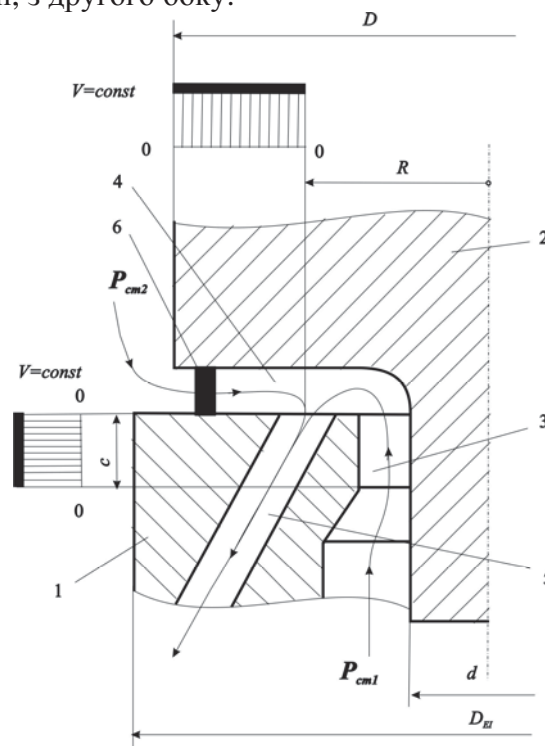


Рисунок 1 – Схема обробки

Використання запропонованого способу розмірної обробки стержнів електричною дугою, порівняно з відомим, суттєво розширює його технологічні можливості, і при застосуванні ЕІ з невеликим робочим пояском, принаймні з боку внутрішнього потоку, дозволяє підвищити верхню межу діапазону обробки стержнів за відносним діаметром D/d з 2 до 10 при забезпеченні рівномірної шорсткості всіх поверхонь, що обробляються.

З метою виявлення закономірностей технологічних характеристик та їх взаємозв'язків з процесу формоутворення стержнів сплановано матрицю планування експерименту.

Вибрані фактори, що впливають на технологічні характеристики процесу РОД стержнів, це:

- фактор, що характеризує електричний режим обробки - сила технологічного

струму I ;

– фактор, що характеризує гідродинамічний режим обробки – статичний тиск робочої рідини P_{cm} ;

– фактори, що характеризують геометричні параметри електродів – довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , та висота пояска на ЕІ c .

Об'єктом дослідження були такі технологічні характеристики процесу РОД стержнів, як:

- продуктивність обробки M ;

- бічний МЕЗ δ_b ;

- відносний лінійний знос ЕІ γ_l ;

- шорсткість бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$;

- відносна шорсткість торцевої поверхні стержня $Ra_{(c)}/Ra_{(m)}$.

Отримано математичну модель продуктивності процесу РОД ступінчастих стержнів M . Показано, що найбільший вплив на M виявляє сила технологічного струму I із підвищенням якої продуктивність збільшується. Виявлено, що з підвищенням довжини лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , продуктивність обробки зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту продуктивність процесу РОД стержнів M змінювалася в межах від 92 до 3847 мм³/хв.

Математична модель продуктивності процесу РОД стержнів M має наступний вигляд, мм³/хв:

$$M = 1,16 \cdot I^{0,367} \cdot P_{cm}^{0,418} \cdot l^{-0,509} \cdot c^{0,249} \quad (2)$$

Отримано математичну модель бічного МЕЗ δ_b . Показано, що головним керуючим фактором, який обумовлює зміну бічного МЕЗ δ_b є висота пояска на ЕІ c , із підвищенням якої δ_b збільшується.

Виявлено, що не менш суттєво, але негативно впливає на бічний МЕЗ δ_b довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l . Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту δ_b змінювався в межах від 0,0325 до 0,1 мм.

Математична модель бічного МЕЗ δ_b має наступний вигляд, мм:

$$\delta_b = 8,6 \cdot I^{0,055} \cdot P_{cm}^{-0,135} \cdot l^{-0,089} \cdot c^{0,227} \quad (3)$$

Отримано математичну модель відносного лінійного зносу ЕІ γ_l . Показано, що найбільш впливовим фактором на відносний лінійний знос ЕІ γ_l є статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ P_{cm} , який треба розглядати як головний керуючий фактор.

Виявлено, що три фактори (струм I , висота пояска c та довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l) з однаковою мірою та досить суттєво визначають відносний лінійний знос ЕІ γ_l при РОД стержнів. Однак з підвищенням фактору I знос збільшується, а з підвищенням факторів c та l – зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту відносний лінійний знос γ_l змінювався в межах від 0,735 до -20 %.

Математична модель відносного лінійного зносу ЕІ γ_l має наступний вигляд, мм:

$$\gamma_l = 9,92 \cdot I^{-0,101} \cdot P_{cm}^{-2,789} \cdot l^{0,301} \cdot c^{0,288} \quad (4)$$

Отримано математичну модель шорсткості бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$. Показано, що найбільш впливовим фактором, що визначає шорсткість обробленої

поверхні стержня $Ra_{(c)}$ є сила технологічного струму I , із підвищенням якої шорсткість збільшується. Саме тому фактор I слід розглядати як головний керуючий. Трохи з меншою силою впливає на $Ra_{(c)}$ висота пояса на ЕІ c із підвищенням якої $Ra_{(c)}$ збільшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експерименту шорсткість бічної поверхні стержня $Ra_{(c)}$ змінювалася в межах від 2,6 до 25,925 мкм.

Математична модель шорсткості поверхні матриці при обробці на зворотній полярності електродів має наступний вигляд, мкм:

$$Ra_{(c)} = 8,23 \cdot I^{0,162} \cdot P_{cm}^{-1,197} \cdot l^{-0,212} \cdot c^{-0,004} \quad (5)$$

Отримано математичну модель відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$. Показано, що найбільш впливовим фактором є довжина лінії течії робочої рідини в торцевому МЕЗ l , з підвищенням якої $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ збільшується. Таким чином, фактор l слід розглядати як головний керуючий. Виявлено, що з підвищенням сили технологічного струму відносної шорсткості торцевої поверхні процесу РОД стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ зменшується. Встановлено, що в діапазоні варіювання факторів в рамках експериментальних досліджень параметр $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ змінюється в межах від 1,2 до 5.

Математична модель відносної шорсткості торцевої поверхні стержнів $Ra_{(m)}/Ra_{(c)}$ має наступний вигляд:

$$Ra_{(m)}/Ra_{(c)} = 3,8 \cdot I^{-0,272} \cdot P_{cm}^{-0,061} \cdot l^{0,538} \cdot c^{-0,065} \quad (6)$$

Висновки. Використання способу РОД ступінчастих стержнів дозволить виготовлення їх з високою продуктивністю та необхідними показниками якості обробленої поверхні.

Список літератури

1. Фотеев Н. К. Технология электроэрозионной обработки. – М.: Машиностроение, 1980. – 184 с.
2. Артамонов Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов. Учеб. пособие (в 2-х томах). Т.1. Обработка металлов с применением инструмента / Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков, В.И. Дрожалова и др. – М.: Высш. шк.– 1983. – 247 с., ил.
3. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07. /Кіровоградський держ. техн. ун-т. – К., 1999. – 32 с.
4. Деклар. пат. на винахід № 50415 А Україна, МПК 7 В23Р1/00, В23Р1/02. Спосіб розмірної обробки стрижнів і порожнин електричною дугою. / Боков В. М., Шмельов В. М.; заявник і патентовласник Кіровоградський державний технічний університет. - №2002010119; Заявл. 03.01.2002; Опубл. 15.10.2002. Бюл. №10.

Vitaliy Shmelyov

Kirovograd National Technical University, Kirovograd, Ukraine

Dimensional processing the electric arc of step rods

The paper purpose - the development of manufacturing techniques step rods of dimensional processing the electric arc.

In a paper the analyzes the impact of the technical characteristics on process of dimensional processing the electric arc on its index. Identified the main factors influencing the performance of dimensional processing the electric arc.

The received mathematical models of productivity of the manufacturing process of step rods, side-electrode gap, the relative linear wear of the electrode-tool, the roughness of the side surface of the rod, the relative roughness of the end surface of the rod.

Using the method of dimensional processing the electric arc step rods allow their manufacture with high productivity and quality of the treated surface.

surface roughness, current technology, static pressure the working fluid flow, step rod

Одержано 29.04.15