

В.І. Носуленко, д.т.н., проф. (КНТУ, Кіровоград);
О.С. Чумаченко, к.т.н. (НТУУ „КПІ”, Київ)

ВПЛИВ ГІДРАВЛІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОТОКУ СЕРЕДОВИЩА-ДІЕЛЕКТРИКА НА ПРОЦЕС РОЗМІРНОЇ ОБРОБКИ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ДУГОЮ

АНОТАЦІЯ. Описано вплив гідравлічних параметрів потоку середовища-діелектрика на процес розмірної обробки електричною дугою і запропоновано спосіб забезпечення рівномірної течії робочої рідини при відсутності розривів потоку, відривів його від поверхонь електродів. Це забезпечує високу якість джерел тепла на електродах та можливість отримання регульованої якості обробки за рахунок течії робочої рідини в щілину, що звужується, за наявності бурта на інструменті.

Ключові слова: розмірна обробка дугою, електрод-інструмент, потік робочої рідини.

АННОТАЦИЯ. Описано влияние гидравлических параметров потока среды-диэлектрика на процесс размерной обработки электрической дугой и предложен способ, обеспечивающий равномерное течение рабочей жидкости, отсутствие разрывов потока, отрывов его от поверхностей электродов, соответственно высокое качество источников тепла на электродах и возможность получения регулируемого качества обработки за счет течения рабочей жидкости в сужающуюся щель при наличии бурта на инструменте.

Ключевые слова: размерная обработка дугой, электрод-инструмент, поток рабочей жидкости.

SUMMARY. Influence of hydraulic parameters of through flow of environment-dielectric is described in the conditions of dimension treatment a voltaic arc and a method, providing the even flow of working liquid, absence of breaks of through flow, is offered, tearing away of it from the surfaces of electrodes, accordingly high quality of sources of heat on electrodes and possibility of receipt of the regularly quality of treatment due to the flow of working liquid in a narrowing scissors at presence of clamp on an tool.

Keywords: dimension treatment by arc, electrode-tool, stream of working liquid.

Вступ

Спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД) дозволяє виконувати розділові операції металу по внутрішньому і зовнішньому контуру [1] при формоутворенні за принципом прошивання із об'ємним копіюванням форми електрода-інструмента (ЕІ). В основу розробки технології зазначених процесів покладено підвищення економічної ефективності, розширення меж їх раціонального застосування та конкурентоспроможності за рахунок оптимального поєднання кількісних і якісних характеристик обробки. Останні, такі як продуктивність, шорсткість, глибина зони термічного впливу, для визначених матеріалу, полярності електродів, складу робочої рідини, визначаються такими факторами як сила струму та динамічний тиск потоку робочої рідини і можуть бути визначені за відомими степеневими залежностями [2]:

$$y = k \cdot I^a \cdot P_d^b,$$

де y – відповідний технологічний параметр (шорсткість, глибина зони термічного

впливу та ін.); k – коефіцієнт розмірності; I – технологічна сила струму обробки, А; a і b – показники степеню; P_d – динамічний тиск потоку робочої рідини в зазорі, Па.

Проте, в кінцевому підсумку, зазначені якісні і кількісні технологічні характеристики процесу визначаються його енергетичними характеристиками, зокрема напруженістю електричного поля та густиною струму, які в свою чергу, визначаються динамічним тиском потоку рідини. В цьому зв'язку треба зазначити, що важливі також такі характеристики потоку як ламінарний режим течії рідини, відсутність завихрень, розривів потоку, відривів потоку від поверхонь електродів, турбулентності. В кінцевому підсумку, якість потоку стає визначальною для вирішення проблеми якісної обробки. Так, наприклад, за одних і тих же значень сили струму та статичного тиску потоку робочої рідини на вході в міжелектродний зазор шорсткість поверхні

залежно від характеру течії рідини в зоні обробки може коливатись в межах Ra від 1,6 до 50 (або поза класом). Отже, якість джерел тепла на електродах, яка визначає якісні характеристики процесу обробки, визначається якістю потоку – ламінарний він чи турбулентний.

Встановлено, що продуктивність, шорсткість (рис. 1), глибина зони термічного впливу (рис. 2) прямо пропорційні силі струму і обернено пропорційні динамічному тиску потоку робочої рідини. Проте потребують дослідження гідравлічні параметри потоку робочого середовища для підвищення якості за максимальній продуктивності в умовах реалізації технологічних задач. Звичайно застосовують високопродуктивний чорновий режим при $I=200-500A$ і чистовий режим при $I=50A$ для прошиван-

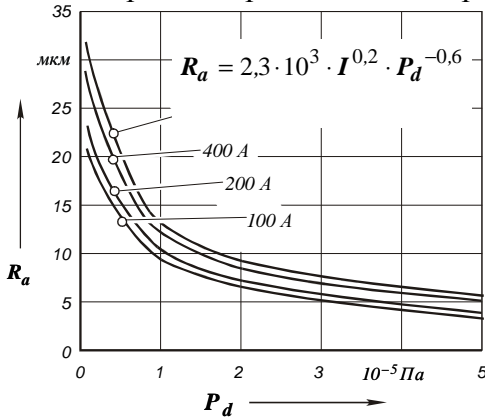


Рис. 1. Залежність шорсткості обробленої поверхні R_a від I і P_d

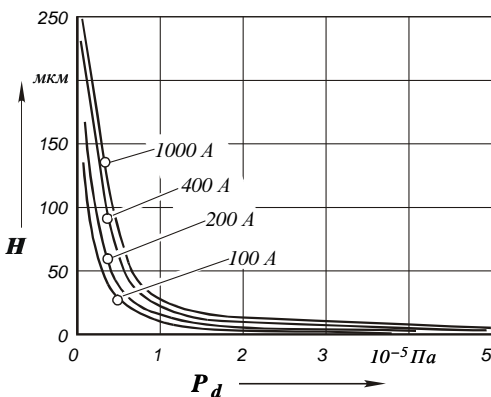


Рис. 2. Залежність глибини зони термічного впливу H від I і P_d

ня отворів, обробки стрижнів, листових штучних і багат шарових деталей.

Метою роботи є дослідження та описання способів керування гідравлічними

параметрами потоку робочого середовища в зоні обробки для забезпечення рівномірної течії, відсутності розривів потоку, відривів від поверхні електродів та турбулентності та реалізації високопродуктивної РОД із одночасним забезпеченням якості обробки (яка включає шорсткість обробленої поверхні Ra і зону термічного впливу H) та її високої регульованості.

Виклад основного матеріалу

В умовах РОД отворів і деталей малої товщини h використовують ЕІ з вертикальними стінками (табл. 1, п. 1). Динамічний тиск потоку робочої рідини P_d в міжелектродному зазорі визначає енергетичні характеристики дуги, а, отже, і технологічні характеристики процесу. В свою чергу, динамічний тиск P_d визначається статичним тиском робочої рідини на вході в міжелектродний зазор, гідравлічним опором траси евакуації продуктів ерозії в межах міжелектродного зазора та місцевими гідравлічними опорами і є функцією координати зони обробки [3]:

$$P_{d \text{ II-II}} = \frac{\rho v_{\text{II-II}}^2}{2} = \frac{P_{s \text{ I-I}}}{1 + F_e^2 \left[\sum_{i=1}^n \lambda \frac{l_i}{d_i} \left(\frac{1}{L_i \delta_i} \right)^2 + \sum_{k=1}^m \xi_k \left(\frac{1}{L_k \delta_k} \right)^2 \right]}$$

де ρ – густина робочої рідини, кг/м^3 , наприклад, для суміші гас (50%) і масло “Індустріальне –12” (50%), $\rho = 820 \text{ кг/м}^3$; P_s – статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор, Па ; $v_{\text{II-II}}$ – швидкість потоку на виході із зазору (в кінці траси), м/с ; λ – коефіцієнт гідравлічного тертя відповідної ділянки траси; l_i – довжина відповідної траси, м ; d_i – гідравлічний діаметр кільцевого зазору, $d_i = D_o - d = 2\delta$, м [4]; δ – односторонній міжелектродний зазор (0,05-0,1 мм), м ; v_i та v_k – швидкість потоку на відповідних ділянках траси (залежно від режиму 10-50 м/с), м/с ; ξ_k – коефіцієнт

місцевого опору (вхід в зазор, поворот, вихід); $F_{i,k}$ – площа поперечного перерізу знаходиться задана точка; $L_{i,k}$ – розгортка лінії (еквідистанти) рівного гідравлічного опору, на якій знаходиться задана точка i, k ; $\delta_{i,k}$ – зазор відповідно в точках i, k .

За умов прошивання заготовки I електродом 2 з вертикальними стінками при збільшенні глибини прошивання h (табл. 1, п. 1) збільшується траса прокачування робочої рідини, що приводить до втрат тиску по довжині ділянок міжелектродного зазору I, II, III. Тому на ЕІ доцільно виконати бурт (табл. 1, п. 2). Втрати тиску по довжині ділянки I зазору за таких умов зменшуються, але з'являються місцеві збурення потоку (вихорові зони) внаслідок його раптового звуження. Місцеві втрати тиску характеризує коефіцієнт опору $\xi_m = 0,5$ (табл. 2, п. 1), а для виконання процесу обробки в динамічний тиск переходить 50% статичного створеного на вході в зону обробки. В умовах процесу, де продуктивність (швидкість видалення металу) і якість обробки залежать від швидкості прокачування робочої рідини в міжелектродному зазорі (об'ємів її розходу) стає актуальним пошук способу зменшення втрат тиску.

Скруглені бурти ЕІ (табл. 2, п. 2) дозволяють мінімізувати опір входу рідини в бічний міжелектродний зазор ($\xi_m = 0,03-0$), проте, такий інструмент нетехнологічний у виготовленні.

Уникнути місцевого збурення потоку і зменшити втрати тиску дозволяє виконання такого бурта на ЕІ, який утворить із поверхнею заготовки звужуючу щілину (табл. 1, п. 3), але кут звуження має бути оптимальним (табл. 2, п. 5), оскільки в інших випадках (табл. 2, п. 3, 4) місцевий опір звуження суттєво не зменшується.

При виході потоку із міжелектродного зазору (табл. 2, п. 1-5) має місце раптове розширення каналу ($\xi_m = 1$), де швидкість падає до нуля в результаті чого утворюється видовжена дуга і втрачається якість обробки. Застосування гумових підкладок забезпечує збереження швидкості потоку. Для запобігання розривів суцільності пото-

щілини рівного гідравлічного опору, на якій

ку при обробці зовнішніх контурів внаслідок збільшення периметра зазору (табл. 1, перехід від розміру d до D) у зливній магістралі передбачають протитиск в межах 1 ... 10 атм.

Перелік зазначених прийомів забезпечує підвищення якості на 2-3 класу, регульовану шорсткість обробленої поверхні та регульовану, рівномірну і якісну зону термічного впливу. Дослідження зони термічного впливу (табл. 3) показують, що зі збільшенням динамічного тиску якість обробленої поверхні практично не залежить від потужності електричного розряду і при 1000А, і при 100А можна отримати однако-ву якість, забезпечивши потрібні гідравліч-

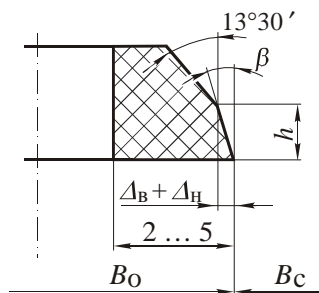


Рис. 3. Схема виконавчих розмірів ЕІ та полів допусків

ні параметри потоку.

Враховуючи, що знос графітового ЕІ по висоті становить 1% товщини обробленої заготовки, необхідно, щоб інструмент вистачило на обробку деталей в межах поля допуску. В цьому зв'язку запропоновано наступну конструкцію і розрахунок виконавчих розмірів ЕІ із врахуванням величини поля допуску на виготовлення деталі з метою забезпечення максимальної стійкості і раціонального використання ЕІ до його повного зносу (рис. 3).

Робочий поясок висотою $h \approx 5 \dots 6$ мм виконують вертикальним або під кутом β , величина якого визначається полем допуску на виготовлення деталі Δ_d і залежно від габаритів L_n та вимог до точності деталі становить $1 \dots 6^\circ$.

Розрахунок виконавчих розмірів ЕІ для РОД листових деталей полягає в наступно-

му. Визначають кут нахилу робочої поверхні пояска

$$\beta = \arctg \frac{\Delta_B + \Delta_H}{h},$$

де Δ_B і Δ_H – верхнє та нижнє відхилення поля допуску деталі; h – висота робочого пояска,

$$h = \frac{s}{100} \gamma,$$

s – товщина оброблюваного матеріалу; γ – відносний лінійний знос ЕІ.

При обробці отворів розрахункова формула має вигляд:

- для чистової обробки

$$B_o = (A + 0,7\Delta_B - 2\delta_2)^{+0,3\Delta_B};$$

- для чорнової обробки

$$B_o \leq [A + 0,7\Delta_B - 2(\delta_1 + z_{\min})]^{+0,3\Delta_B}.$$

При обробці зовнішніх контурів (стрижнів) розрахункова формула має вигляд:

- для чистової обробки

$$B_c = (A - 0,7\Delta_H + 2\delta_2)^{-0,3\Delta_H};$$

- для чорнової обробки

$$B_c \geq [A - 0,7\Delta_H + 2(\delta_1 + z_{\min})]^{-0,3\Delta_H},$$

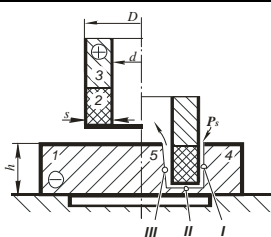
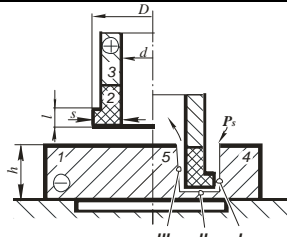
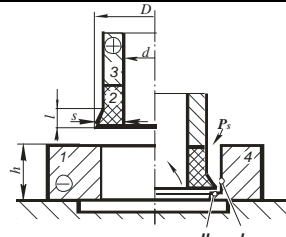
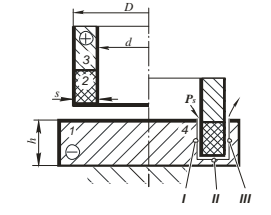
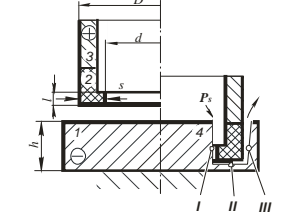
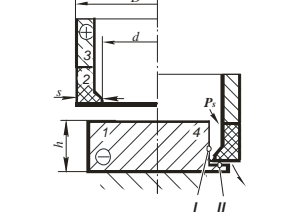
де A – номінальний розмір деталі; δ_1 і δ_2 – міжелектродний зазор, відповідно, при чорновій і чистовій обробці; z_{\min} – мінімальний припуск на обробку

$$z_{\min} = (H_a + T_a) + (\bar{\rho}_a + \bar{\epsilon}_a);$$

$$\rho_a = \sqrt{(\rho_1 s)^2 + \Delta_o^2 + (\rho_2 h)^2}.$$

Таблиця 1

Технологічні схеми формоутворення контурів листових деталей в умовах РОД

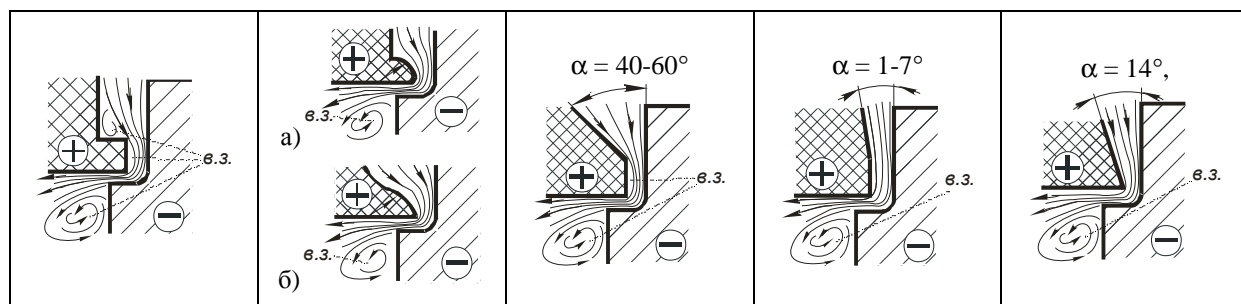
Характер обробки	1. Формоутворення тонкостінним ЕІ постійного перерізу	2. Формоутворення тонкостінним ЕІ з буртом	3. Калібрування (чистова обробка, зняття припуску) ЕІ із загостреним буртом
Отвори			
Зовнішні контури			

1 – заготовка, 2 – електрод-інструмент, 3 – електродотримач, 4 – оброблена деталь, 5 – відхід; * – зліва – початок обробки, справа – проміжна стадія обробки; I – поверхня, на яку надходить робоча рідина; II – основна ділянка роботи дуги; III – ділянка, через яку рухається відпрацьована рідина

Таблиця 2

Місцевий опір залежно від форми бурта ЕІ за критеріями подібності потоків [4, 5]

1. Бурт ЕІ та раптове звуження потоку при вході в зазор $\xi_M = 0,5$	2. Закруглений бурт ЕІ $\xi_M = 0,03$ (а) $\xi_M = 0$ (б)	3. Звуження потоку під кутом, більшим оптимального $\xi_M = 0,06-1,19$	4. Звуження потоку під кутом, меншим оптимального $\xi_M = 0,12-0,07$	5. Звуження потоку під оптимальним кутом $\xi_M = 0,05$
---	---	---	--	--



Таблиця 3

**Вплив динамічного тиску ламінарного потоку середовища
на глибину зони термічного впливу**

Pd, МПа	Сила струму, А			
	1000	400	200	100
0,07				
0,1				
0,2				
0,3				
0,4				
<p align="center">Заготовка – загартована сталь У8, ЕІ – МПГ-7, зворотна полярність, рідина – масло "Індустріальне-12" (50%) + гас (50%); ширина фото – 0,3 мм</p>				

Висновки

Запропоновано прийоми регулювання гідравлічних параметрів потоку робочої рідини в умовах розмірної обробки електри-

чною дугою, які забезпечують ламінарний режим течії робочої рідини в міжелектродному зазорі, відсутність розривів потоку та завихрень, а отже високу якість джерел тепла на електродах, можливість одержання регульованої шорсткості в межах до 6 класу та зони термічного впливу регульованої

Запропоновано геометричні характеристики робочої частини ЕІ, а саме: бурт ЕІ має нахил в межах поля допуску 1-6°, при висоті бурта до 6 мм; оптимальний нахил твірної ЕІ, на яку надходить робоча рідина, становить 14°.

Література

1. *Носуленко В. І.* Розмірна обробка металів електричною дугою: Автореф. ис. д-ра техн. наук: 05.03.07 / Кіровоградський держ. техн. ун-т.– К., 1999.– 36 с.
2. *Носуленко В. І.* Размерная обработка металлов электрической дугой // *Электронная обработка материалов*, 2005, № 1.– С. 8...17.
3. *Носуленко В. І., Чумаченко О. С.* Визначення факторів та обґрунтування математичних моделей процесу РОД // *Збірник наукових праць КДТУ*. Вип. 9. Кіровоград: КДТУ, 2001.– С. 22...27.

та рівномірної за рахунок забезпечення течії рідини у звужуючу щілину за рахунок бурта на ЕІ. Збереження швидкості рідини на виході з міжелектродного зазору забезпечують за рахунок гумових підкладок і протитиску у зливній магістралі.

4. *Идельчик И. Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям.– М.: Машиностроение, 1975.– 559 с.
5. *Чумаченко О. С.* Особливості гідродинаміки в умовах розмірної обробки металів електричною дугою // *Збірник наукових праць КДТУ*. . 13. Кіровоград: КДТУ, 2003.– С. 275...281.

Рецензент: В.М. Турик, к.т.н., доцент (НТУУ „КПІ”)

Отримано: 28.06.2010 р.