

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ОБРОБКИ МЕТАЛІВ ТИСКОМ ТА СПЕЦТЕХНОЛОГІЙ**

РОЗМІРНА ОБРОБКА МЕТАЛІВ ЕЛЕКТРИЧНОЮ ДУГОЮ

Методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньо-професійної програми «Прикладна механіка» спеціальності 131 «Прикладна механіка»

Кропивницький
ЦНТУ
2021

Розмірна обробка металів електричною дугою: метод. рекомендації до виконання лабораторних робіт: для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка» спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / [уклад. : В. Шмельов] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. обробки металів тиском та спецтехнологій. – Кропивницький : ЦНТУ, 2021 – 29 с.

Затверджено на засіданні кафедри
обробки металів тиском та спецтехнологій.
Протокол № 1 від 30.08.2021 р.

Укладач: Віталій Шмельов канд. техн. наук, доцент, завідувач
кафедри обробки металів тиском та спецтехнологій;

Рецензент: В. Носуленко, доктор техн. наук., професор, професор
кафедри обробки металів тиском та спецтехнологій

Методичні рекомендації до лабораторних робіт здобувачів освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» розроблені у відповідності до освітньо-професійної програми підготовки магістрів та робочої програми дисципліни «Розмірна обробка металів електричною дугою» для усіх форм навчання.

Здобувачі освіти денної і заочної форм навчання (дисципліна викладається на 1 курсі магістрів у 1 семестрі), у відповідності до даних методичних рекомендацій, виконують лабораторні роботи на практичних заняттях.

Зміст лабораторних робіт та засоби контролю, у відповідності до структури викладання дисципліни «Розмірна обробка металів електричною дугою», наведено на сайті дистанційного навчання ЦНТУ <http://moodle.kntu.kr.ua/course/view.php?id=1019>

© Розмірна обробка металів
електричною дугою

Укладач: В. Шмельов, 2021

© ЦНТУ, м. Кропивницький

Лабораторна робота №1

ВИВЧЕННЯ І ОПИС ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕКТРИЧНОЇ ДУГИ В УМОВАХ РОД

Мета роботи - вивчити, визначити і описати енергетичні характеристики дуги в поперечному потоці середовища-діелектрика в умовах РОД

Загальні відомості

[1, С.33...41, 47...55]

Теоретичні відомості

Основними електричними характеристиками електродної дуги є напруга $U(B)$ і сила струму $I(A)$, які звичайно визначаються за осцилограмами. Основними енергетичними характеристиками дуги є густина струму $j (KA/cm^2)$, напруженість електричного поля в стовпі дуги $E (B/cm)$, об'ємна густина теплової потужності $K (кВА/cm^3)$, концентрація елементарних часток в стовпі дуги $n (cm^{-3})$, температура плазми в стовпі дуги $T(K)$, тиск плазми в стовпі дуги $P (МПа)$, які визначаються розрахунками на підставі експериментальних досліджень.

Типова осцилограма напруги U і сила струму I електричної дуги в умовах РОД [1, рис. 1.2] відрізняється постійним у часі протіканням струму, на відміну від електроіскрової обробки, і за цим показником не відрізняється від типових осцилограм зварювальної дуги. Густина струму j визначають, звичайно, на підставі замірів сили струму I за осцилограмами та замірів площ, відбитків $S (cm^2)$ короткочасної дуги на металевих електродах і розраховують за формулою:

$$j = \frac{I}{S} \quad (1)$$

Напругу електричного поля в стовпі дуги $U_c(B)$ визначають, звичайно, на підставі замірів напруги дуги U за осцилограмами та значеннями сумарного падіння напруги катодного і анодного джерел тепла $U_{k+a}(B)$, яке визначають методом зближення електродів до короткого замикання, і розраховують за формулою:

$$U_c = U - U_{k+a} \quad (2)$$

Напруженість електричного поля в стовпі дуги розраховують за формулою:

$$E = \frac{U_c}{L_c} \quad (3)$$

де L_c - довжина (висота) стовпа дуги, яка дорівнює міжелектродному зазору δ (см), і який визначають безпосередніми замірами, і, отже, напруженість електричного поля в стовпі дуги визначають за формулою:

$$E = \frac{U_c}{\delta} \quad (4)$$

Об'ємну густину теплової потужності в стовпі дуги визначають за формулою:

$$k = j \cdot E \quad (5)$$

Концентрацію елементарних часток в стовпі дуги визначають за формулою:

$$n = C_1 \cdot j \quad (6)$$

де $C_1 = 3(10^{15} \dots 10^{16}) \text{ I/cm}^3 (\text{кА/см}^2)$

Температуру плазми в стовпі дуги розраховують за формулою:

$$T = C_2 \cdot E \quad (7)$$

де $C_2 = 166 \dots 200 \text{ K/(В/см)}$

Тиск плазми в стовпі дуги розраховують на формулою:

$$P = C_3 \cdot E \quad (8)$$

де $C_3 = 1/900 (\text{кВЛ/см}^3) \text{ МПа}$

Обладнання, інструмент, матеріали

Експерименти виконуються на верстаті "Дуга-8Д" з використанням електрода-інструмента діаметром 30 мм, виготовленого з електроерозійного графіту та електрода-заготовки зі сталі 45. Осцилографування електротехнологічних характеристик процесу (напруги дуги U , сили струму I , статичного тиску робочої рідини P) здійснюють з використанням плати «*m-DAK12*», під'єднаної до ПЕОМ, та пакета програмного забезпечення «*NLabVIEW7.1*».

Порядок виконання роботи

1. Верстат "Дуга-8Д" вмикають на робочий режим і за умов стабільного протікання процесу одержують послідовно дві порожнини в сталевих заготовках на таких режимах обробки:

Напруга дуги $U = 28 \dots 30 \text{ В}$

Сила струму $I = 200 \text{ А}$

Тиск робочої рідини $P = 0,8 \text{ МПа}$ (для першої порожнини)

$P = 1,6 \text{ МПа}$ (для другої порожнини)

За цих умов записують осцилограми U , I , P при зближенні електродів до короткого замикання в кількості трьох - п'яти разів.

2. На підставі отриманих осцилограм визначають U , I , P , сумарне значення падіння напруги на катоді і аноді: $U_{\kappa+a}$ та за формулою (3.2) визначають напругу стовпа дуги U_c .

3. За результатами опрацювання отриманих зразків (а це в сукупності електрод-інструмент і електроди-заготовки) визначають площі відбитків S короткочасної дуги та міжелектродний зазор δ по бічній та торцевій поверхнях порожнин.

4. За формулами (3.4...3.8) визначають енергетичні характеристики дослідної електричної дуги в поперечному потоці середовища-діелектрика.

5. Порівнюють отримані енергетичні характеристики дослідженої електричної дуги з тими, що наведені на рис. 2.9 [і, с.55].

Зміст звіту

1. Навести теоретичні відомості до роботи.
2. Навести принципову схему процесу РОД за умов експерименту.
3. Навести осцилограми U , I , P при зближенні електродів до коротких замикань.
4. Навести місця замірів відбитків короткочасної дуги та їх значення S .
5. Навести значення міжелектродного зазору δ на місцях відбитків.
6. Навести значення $U, I, P, U_{\kappa+a}, U_c$.
7. Навести розрахунки та значення енергетичних характеристик електричної дуги у, E, K, n, T, p .
8. Навести результати порівнянь отриманих енергетичних характеристик електричної дуги з тими, що приведені на рис. 2.9 [1, с.55].
9. Порівняти енергетичні характеристики дослідженої дуги з енергетичними характеристиками зварювальної дуги.

Література.

1. Носуленко В.І., Шмельов В.М. Розмірна обробка металів електричною дугою // Навчальний посібник, Кропивницький, 2017 р.

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РОД

Мета роботи – навчитись виконувати дослідження технологічних характеристики процесу РОД

Загальні відомості

Задача адекватного опису процесу РОД з відображенням всієї різноманітності явищ електричної ерозії є досить складною. Для вибору оптимальних режимів і забезпечення необхідних параметрів обробки енергетичні характеристики дуги та технологічні характеристики процесу потребують математичного опису. Звичайно це характеристики, які визначають економічну ефективність, зокрема, продуктивність, шорсткість обробленої поверхні, зона термічного впливу та знос ЕІ.

Установимо основні фактори, які впливають на зазначені характеристики і повинні бути використані в математичних моделях та обґрунтуємо особливості останніх.

Якісні та кількісні характеристики процесу в умовах РОД визначаються, як відомо, силою струму I та динамічним тиском P_d потоку робочої рідини на вході в МЕЗ.

На відміну від параметрів процесу, які визначаються залежно від координати обробки, наприклад, шорсткості та зони термічного впливу, продуктивність обробки визначається інтегральним ефектом процесу ерозії на заданій площі зони обробки в одиницю часу. Для спрощення розрахунків вона може бути досить точно визначена як функція P_S та геометричних характеристик і розмірів робочої частини ЕІ.

Динамічний тиск потоку робочої рідини в довільній точці визначається статичним тиском, формою робочої частини ЕІ, його розмірами та співвідношенням останніх, перш за все, l_i та ξ_c , а отже відповідний параметр процесу може бути визначений залежністю

$$(2.1)$$

В умовах РОД звичайно використовують електроди з отвором. Форма поперечного перерізу електроду може бути як круглою, так і будь-якою фасонною. Прийmemo до уваги, що для складного контуру визначальною є максимальна довжина траси руху робочої рідини в межах МЕЗ l_{max} (рис. 2.1) та співвідношення максимальної і мінімальної довжини трас l_{max}/l_{min} . Практикою експлуатації електродів встановлено, що відношення максимальної довжини траси МЕЗ до мінімальної повинно бути в межах:

$$1 < l_{max}/l_{min} < 3...4 \quad (2.2)$$

Враховуючи вище сказане, можемо записати:

$$y = f(I, P_s, l_{\max}, l_{\min} / l_{\min} \cdot \xi_k) \quad (2.3)$$

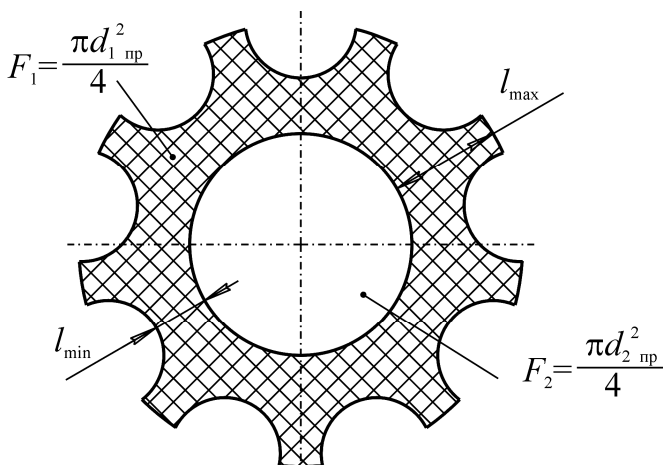


Рис. 2.1. Вид в плані ЕІ довільної форми

Для випадку, коли фасонний контур обробки залишається незмінним по висоті, доцільно ввести поняття умовної складності контуру обробки по периметру C_n , яку визначають

$$C_n = \Pi / \Pi_k < 1 \quad (2.4)$$

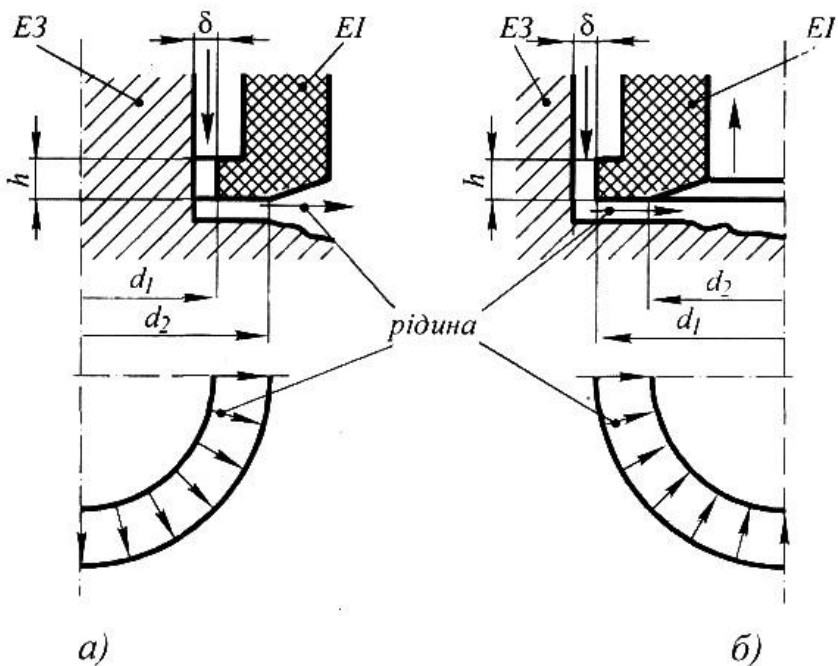
де Π_k - реальний периметр контуру обробки в плані, м; Π - периметр кола, діаметр якого дорівнює максимальному розміру контуру обробки, м.

Якщо контур обробки по висоті змінюється, умовну об'ємну складність C_v можна визначити як відношення об'єму металу V , який підлягає видаленню до об'єму описаного циліндра $V_{ц}$:

$$C_v = V / V_{ц} < 1 \quad (2.5)$$

Довжина периметра Π_k оброблюваного контуру та його площа F можуть бути важливими масштабними факторами, наприклад, в умовах багатоелектродного прошивання чи прошивання секціонованими електродами.

Для електродів круглого поперечного перерізу визначальними є розміри внутрішнього і зовнішнього контурів d_1, d_2 та їх співвідношення d_1/d_2 (рис. 2.2).



а – пряме прокачування; б – зворотне прокачування.
 Рис. 2.2. Схеми прокачування рідини в МЕЗ для ЕІ круглого поперечного перерізу

Якщо позначити діаметр робочого контуру, на поверхню якого надходить робоча рідина, d_1 , а діаметр через який рідина залишає МЕЗ – d_2 , то для прямого прокачування (рис.2.2.а) величина $d_1 - d_2 < 0$ (має від'ємне значення). При цьому має місце зменшення швидкості робочої рідини по довжині МЕЗ і утворення розривів швидкостей потоку, так званої струминності, що негативно впливає на умови процесу.

При зворотному прокачуванні величина $d_1 - d_2 > 0$ (має додатне значення). При цьому, на відміну від прямого прокачування, процес можна вести із отриманням високої якості обробленої поверхні при співвідношенні $d_1/d_2 \gg 1$. Отже ця схема дозволяє створити більш сприятливі умови течії рідини, швидкість якої збільшується по довжині траси l .

Загальна довжина траси евакуації продуктів ерозії l для ЕІ круглого поперечного перерізу може бути визначена для обох способів прокачування як

$$l = h + 0,5(d_1 - d_2), \quad (2.6)$$

де h – висота робочого пояска або глибина прошивання, м.

Таким чином, основними параметрами електрода, які визначають режим течії рідини в зазорі, є:

- для прямого прокачування $d_1/d_2 < 1$ та $d_1 - d_2 < 0$; (2.7)

- для зворотного прокачування $d_1/d_2 > 1$ та $d_1 - d_2 > 0$. (2.8)

Отже, враховуючи (2.3, 2.4, 2.5), в загальному вигляді можемо записати

$$y = f(I, P_s, l_{\max}, l_{\min} / l_{\min}, h, C_{II}, C_v, \Pi_k, F) \quad (2.9)$$

В залежності від реалізації конкретної технологічної схеми формоутворення окремі із наведених факторів мають вирішальне значення, а інші зовсім не впливають (п. 4.2 – 4.4). Так, наприклад, зазначена залежність (2.9) може бути використана при реалізації технологічної схеми формоутворення за принципом прошивання з об'ємним копіюванням форми ЕІ.

Планування експерименту та статистична обробка результатів

Експериментальні дані, отримані на основі планування та реалізації багатофакторного експерименту із елементами аналізу дисперсії та регресії являють помітний практичний інтерес. Побудовані за результатами експериментів моделі дозволяють визначити ступінь та характер впливу технологічних факторів на параметри, що досліджуються і, таким чином, створити передумови для керування процесом. В таких випадках важливо отримати максимально компактну адекватну модель, яка не містить зайвих членів та факторів.

Звичайно для відокремлення факторів, які суттєво впливають на досліджуваний параметр (відгук) проводять так звані експерименти для відсіювання, наприклад, на основі методів випадкового балансу або планів Плакетта-Бермана, а потім переходять до реалізації основного плану.

При дослідженні технологічних характеристик процесу РОД основних технологічних схем формоутворення – продуктивності, якості, точності обробки, стійкості ЕІ та гідродинаміки виконаємо математичне планування експериментів. Крім точок, визначених планами, при отриманні експериментальних партій деталей необхідно перевіряти точність побудованих моделей роботою на інших режимах в рамках меж варіювання керуючих факторів. Це дозволить побудувати також емпіричні графіки, які добре апроксимуються моделями, отриманими в результаті реалізації планів.

Розглянемо приклад планування експерименту та розрахунок математичної моделі продуктивності обробки ступінчатого пуансона. На підставі імперичної інформації відберемо ряд факторів, що впливають на функцію відгуку: технологічний струм $I(X_1)$, А; статичний тиск робочої рідини на вході в зазор $P_S(X_2)$, МПа; висота робочого пояса (X_3) , мм.

Регулювання сили струму I і тиску P_s в зазначених далі межах обумовлені можливостями техніки, що при цьому використовувалась, та технологічною доцільністю. Зокрема, в якості джерел живлення для РОД використовують стандартні зварювальні випрямлячі з зовнішньою падаючою характеристикою ВДУ-504, розраховані на максимальний струм $I_{max} = 500$ А, які при безперервній роботі працюють при $I_{max} = 400$ А. Робоча напруга U в межах 22...30 В, яку забезпечують зазначені джерела живлення, відповідає мінімальній необхідній величині МЕЗ.

Повний факторний експеримент для трьох факторів (k) і трьох рівнів (p) включає себе наступне число експериментів (n): $n = p^k = 3^3 = 27$ експериментів.

Межі варіювання факторів і план експерименту представлено в табл. 2.1 і табл. 2.2. Вигляд заготовки показано на рис.2.3.

Таблиця 2.1. Межі варіювання факторів при виготовленні безступеневого пуансона

Фактори	X_{max}	X_{min}	X_0	ΔX
Сила технологічного $I (X_1)$, А	400	100	250	150
Статичний тиск рідини на вході в зазор $P_s (X_2)$, МПа	1,4	1	1,2	0,2
Висота робочого пояса ЕІ $h (X_3)$, мм	1,5	0,5	1,0	0,5

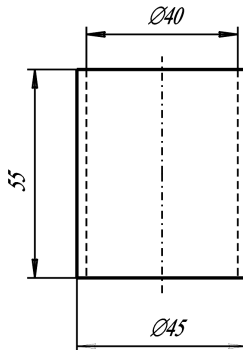


Рис. 2.3. Заготовка для виготовлення безступеневого пуансона

Всі зазначені фактори задовольняють умові керованості та однозначності. Інші параметри процесу РОД (склад робочої рідини, полярність, матеріал інструменту) обумовлені і зафіксовано на відповідних рівнях. Планування експерименту, статистична обробка отриманих результатів, побудова та аналіз математичних моделей виконаємо за допомогою програмного пакету STATISTICA, зокрема таких модулів як Планування експерименту, Основні статистики і таблиці, Множинна регресія, Нелінійне оцінювання.

Таблиця 2.3 Матриця планування експерименту

Номер експерименту	x1 (I)	x2 (P _S)	x3 (h)	Y1 (M) мм ³ /хв	Y2 (ψ) мм/мм	Y3 (Ra) МКМ
1	+	+	+	5740,858	0,01	12,1
2	-	+	-	1679,463	0,023	3,8
3	+	-	+	8062,942	0,0034	12,8
4	-	-	-	1711,365	0,00971	4,8
5	-	-	+	1914,301	0,00123	11,5
6	-	+	+	2277,061	0,00997	10,7
7	+	+	-	8366,3	0,0095	4,8
8	+	-	-	4661,9	0,00968	5,6
9	+	-	0	6947,594	0,00611	9,2
10	-	+	0	2358,5	0,013	6,7
11	-	-	0	1896,666	0,00342	7,8
12	+	+	0	8432,586	0,00725	8,4
13	0	0	-	5074,614	0,01017	4,8
14	0	0	+	5265,191	0,00395	12,5
15	0	+	+	4308,960	0,00999	12,0
16	+	0	+	6901,9	0,0056	12,5
17	0	+	0	5695,543	0,01	7,6
18	+	0	0	7690,090	0,00668	8,6
19	-	0	0	2127,583	0,00837	7,1
20	0	-	0	4622,13	0,00977	8,3
21	0	-	-	3286,632	0,0097	5,2
22	-	0	-	1695,414	0,01645	4,0
23	0	+	-	5322,880	0,016	4,3
24	+	0	-	6514,1	0,00959	5,1
25	0	-	+	5188,622	0,00232	12,7
26	-	0	+	2095,681	0,0056	11,0
27	0	0	0	5543,084	0,00743	7,9

В найзагальнішому випадку технологічних характеристик РОД можуть бути представлені у вигляді функціональної степеневі залежності від вище зазначених факторів:

$$y = k \cdot I^{\beta_1} \cdot P_S^{\beta_2} \cdot h^{\beta_3}. \quad (2.10)$$

Застосувавши до виразу (2.10) перетворення логарифма, яке стабілізує дисперсію і досить поширене в статистиці, отримаємо:

$$\lg y = \lg k + \beta_1 \lg I + \beta_2 \lg P_S + \beta_3 \lg h. \quad (2.11)$$

Тепер задача зводиться до побудови лінійної моделі виду

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \cdot X_i, \quad (2.12)$$

де $Y = \lg y$; $b_0 = \lg k$ ($k = 10^{b_0}$); $b_1 = \beta_1$; $X_1 = \lg I$; $b_2 = \beta_2$; $X_2 = \lg P_S$ і т. д.

Формула переходу від натуральних значень факторів до кодованих (+1, 0, -1) має вигляд:

$$x_i = \frac{X_i - \lg X_0}{\lg X_{\max} - \lg X_0} \quad (2.13)$$

У відповідності з вибраним планом (3³) було проведено двадцять сім експериментів, кожний з яких виконувався один раз. Розрахунок моделі виконують згідно відомих методик і застосуванням програмного пакету STATISTICA 6.0. В табл. 2.4 представлено значення оцінок коефіцієнтів регресії (BETA) та значення коефіцієнтів регресії (B), значення критерію Стьюдента (t) для коефіцієнтів регресії та рівні його значимості (p).

Таблиця 2.4 Розрахунок та оцінка коефіцієнтів регресії в модулі Множинна регресія

STAT. MULTIPLE REGRESS						
Regression Summary for Dependent Variable: lg_M (NEW_VIT00)						
R= ,96913126 R²= ,93921541 Adjusted R²= ,93128698						
F(3,23)=118,46 p<,00000 Std.Error of estimate: ,06437						
N=27	BETA	St. Err. of BETA	B	St. Err. of B	t(23)	p-level
Intercpt			1,426936	0,117349	12,15975	0,000000
lg_I	0,956771	0,051408	0,922209	0,049551	18,61124	0,000000
lg_P _s	0,109564	0,051408	0,442042	0,207409	2,13126	0,043977
lg_h	0,108626	0,051408	0,132872	0,062883	2,11300	0,045662

Dep. Var. - Ім'я залежної змінної. В нашому випадку LG_M; *Number of cases* - Кількість експериментів, за якими побудована регресія; *Multiple R* - Коефіцієнт множинної кореляції; *R-square* - *RI* - Квадрат коефіцієнта множинної кореляції, що зветься коефіцієнтом детермінації; *Adjusted R-square* - Скоригований коефіцієнт детермінації; *Standard Error of Estimate* - Стандартна похибка оцінки, що є мірою розпорошування результатів спостереження відносно кривої регресії; *Intercpt* - Оцінка вільного члена регресії; *Std.Error* - стандартна похибка оцінки вільного члена; *t(df)* and *p-value* - значення t-критерія і рівня p. t-критерій використовують для перевірки гіпотези про рівність 0 вільного члена регресії; *F* - значення F-критерія; *df* - число ступенів свободи F-критерія; *p* - рівень значимості; *SS*- квадратичне відхилення середнього експерименту; *BETA* - оцінка коефіцієнта регресії; *B* - значення коефіцієнта регресії.

На рис. 2.6 показано степінь впливу на продуктивність *M* обробки пуансона змінних факторів: сили струму *I* = 100...400 А, статичного тиску *P_s* = 1...1,4 МПа, висоти робочого пояса *h* = 0,5...1,5 .

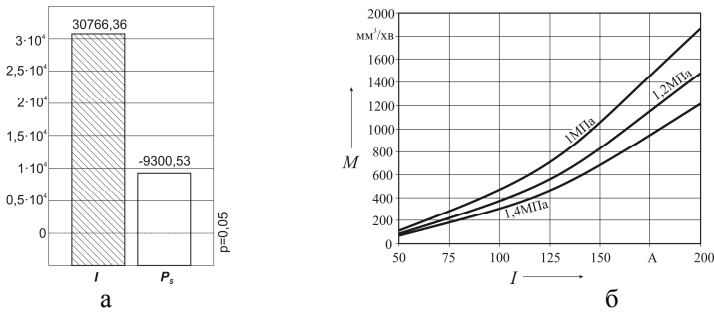


Рис. 2.6. Степень впливу факторів на продуктивність процесу M (а), залежність M від I та P_s (б)

Математична модель в функції трьох факторів, $\text{мм}^3/\text{хв}$:

$$M = 26,73 \cdot I^{0,922} \cdot P_s^{0,442} \cdot h^{0,133} \quad (2.14)$$

Обладнання, інструмент, матеріали

Експерименти виконуються на верстаті "Дуга-8Д" з використанням електрода-інструмента діаметром 40 мм, виготовленого з електроерозійного графіту і сталі 45 та електрода-заготовки зі сталі 45.

Для визначення розмірів отриманих деталей, а також між електродного зазору та зносу ЕІ використовують штангенциркуль і мікрометр. Для визначення шорсткості отриманої поверхні використовують еталонні зразки шорсткості поверхні.

Порядок виконання роботи

1. У відповідності до завдання розробити матрицю планування експерименту за умов обробки графітовим і металевим електрод-інструментом.
2. Провести експериментальні дослідження, зафіксувати отримані результати.
3. Виконати статистичну обробку отриманих результатів, побудувати та проаналізувати математичні моделі за допомогою програмного пакету STATISTICA.
4. Побудувати графіки залежності досліджуваних параметрів процесу РОД.

Зміст звіту

1. Навести теоретичні відомості до роботи.
2. Навести матриці планування експериментів.
3. Навести отримані математичні моделі досліджуваних характеристик процесу.
4. Навести аналіз математичних моделей.
5. Навести графіки залежностей досліджуваних параметрів процесу РОД

Лабораторна робота №3

РОЗРАХУНОК ВИКОНАВЧИХ РОЗМІРІВ ЕЛЕКТРОД-ІНСТРУМЕНТА ЗА УМОВ РОД

Мета роботи – ознайомитись з методикою розрахунків виконавчих розмірів електрод-інструментів за умов РОД

Загальні відомості

Вартість і стійкість ЕІ значною мірою визначають ефективність і економічну доцільність реалізації процесу РОД. ЕІ для РОД виготовляються з тих же матеріалів і забезпечують таку ж стійкість, як і при відомих способах ЕРО. Зокрема, ЕІ можуть бути виготовлені із графітізованих матеріалів, наприклад, марки МПГ-7, сталі, сірого чавуну, міді, латуні, алюмінієвих сплавів і т. і., а їх об'ємний знос може коливатись в межах від сотих і десятих часток відсотка до 100% і більше.

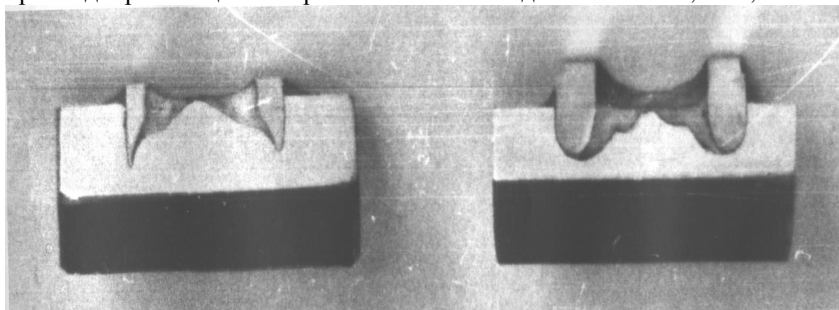
Зупинимось на деяких особливостях зносу ЕІ в умовах РОД стосовно копіювально-прошивних операцій. Стійкість ЕІ є функцією таких параметрів процесу, як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний тиск потоку робочої рідини, напруга і струм розряду, міжелектродний зазор, форма і розміри електродів, гідродинамічний режим течі робочої рідини, який змінюється на різних ділянках електрода і т. і.

Звичайно металеві електроди мають порівняно невисоку стійкість (за виключенням електродів на основі вольфраму), їх об'ємний знос звичайно не менше 20...30% і тому застосування таких електродів доцільне лише в тих випадках, коли їх знос не впливає на точність отриманих деталей, наприклад, при прошиванні наскрізних отворів, або ж коли це викликано технологічною необхідністю. Так, наприклад, при обробці твердих сплавів ЕІ із сірого чавуну забезпечують добру якість і високу продуктивність процесу.

Зазначимо, що на стійкість і на характер зносу металевих електродів значно впливає полярність електродів. Наприклад, стійкість латунних електродів при обробці сталей при прямій полярності приблизно в три рази вища, ніж при зворотній. Різним при зміні полярності є також характер зносу металевих ЕІ. Це відображено на рис. 3.1, де показано металеві ЕІ в оброблених заготовках при прошиванні наскрізних отворів при прямій (*a*) і зворотній (*б*) полярності.

Найбільш високу стійкість, аналогічно як і при відомих способах ЕРО, забезпечують ЕІ із графітізованих матеріалів типу МПГ-7 при застосуванні в якості робочих середовищ нафтопродуктів (масло, гас і т. і.) і при зворотній полярності електродів. За цих умов об'ємний знос ЕІ залежить від струму обробки I , напруги дуги U , динамічного тиску робочого середовища P_d , геометрії та розмірів ЕІ і т.і., являє собою складну функцію зазначених параметрів, визначається для конкретних

прикладів реалізації експериментально і складає звичайно 0,5...1,5%.



а.

б.

Рис. 3.1. Металеві ЕІ в оброблених заготовках при прямій (а) і зворотній (б) полярності

При реалізації технологічної схеми формоутворення за принципом прошивання з об'ємним копіюванням форми ЕІ останній за визначених умов отримує нерівномірний знос. Залежно від режимів обробки слід розрізняти три основні схеми зносу ЕІ із матеріалу МПГ-7 при застосуванні в якості робочого середовища нафтопродуктів:

1. При порівняно невеликих значеннях динамічного тиску потоку робочої рідини 3.2, а).

2. При досить великих значеннях динамічного тиску потоку робочої рідини ($P_d > 0,1\text{МПа}$) при застосуванні в якості робочого середовища масла типу “Індустріальне-12” спостерігається закруглення кутів ЕІ (рис. 3.2, б), причому чим більший струм, тим більше це себе виявляє.

3. При досить великих значеннях динамічного тиску потоку робочої рідини ($P_d > 0,1\text{МПа}$) при застосуванні в якості робочого середовища суміші типу гас (50%) і масло “Індустріальне-12” (50%) кути закруглюються незначно, проте спостерігається нерівномірний знос та помітно змінюється робочий контур ЕІ (рис. 3.2, в), причому тим більше, чим більше P_d , що пояснюється різними гідродинамічними режимами течії робочої рідини як по довжині, так і по висоті міжелектродного зазору, особливо на ділянках переходу від вертикальних поверхонь до горизонтальних.

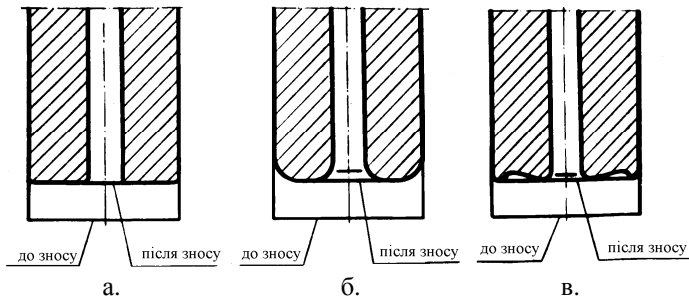


Рис.3.2. Основні схеми зносу ЕІ із матеріалу МПГ-7

Зазначимо, що приведені три основні схеми зносу ЕІ із матеріалу МПГ-7 знаходять пояснення, якщо звернутись до відомої моделі ерозійної стійкості ЕІ, згідно якої, зокрема, “відомий факт підвищення зносу при наявності прокачки може бути пояснено не тільки механічним руйнуванням півки частками, що рухаються, але й порушенням в районі “гнізда” балансу необхідних продуктів ерозії”.

Профіль формуютьуючої поверхні ЕІ будується згідно технологічних схем формоутворення, режимів обробки та схеми утворення міжелектродних зазорів. Розрахунок геометричної (розмірної) корекції ЕІ з врахуванням міжелектродного зазору, шорсткості поверхні та товщини зони термічного впливу здійснюється згідно існуючих методик ЕРО. При реалізації технологічної схеми формоутворення по принципу прошивання з об’ємним копіюванням форми ЕІ можна виділити дві характерні групи ЕІ: для отримання наскрізних отворів і для профілювання поверхонь об’ємного фасонного профілю. ЕІ для отримання наскрізних отворів виготовляються в вигляді стержнів, поперечні перерізи яких являють собою еквідистанти відповідних січень отвору, який отримують; при цьому відстань між поверхнею ЕІ та стінками отвору, що отримують, дорівнює міжелектродному зазору. При одержанні фасонних об’ємних поверхонь контури профілю ЕІ є еквідистантами відповідних контурів оброблених поверхонь, окреслених на відстані міжелектродного зазору.

Міжелектродний зазор в умовах РОД є функцією таких параметрів, як матеріал і полярність електродів, склад і динамічний тиск потоку робочої рідини, напруга і струм розряду, гідравлічний режим течі робочої рідини. На рис. 3.3 показано залежність величини міжелектродного зазору δ від I і P_d при обробці сталі 5ХНТ ЕІ із матеріала МПГ-7 при напрузі на дузі $U_d = 40\text{В}$, при використанні в якості робочої рідини гасу (50%) і масла “Індустріальне-12” (50%), при $I = 100\dots 400\text{А}$, $P_d = 0,01\dots 0,5\text{МПа}$ і при зворотній полярності електродів.

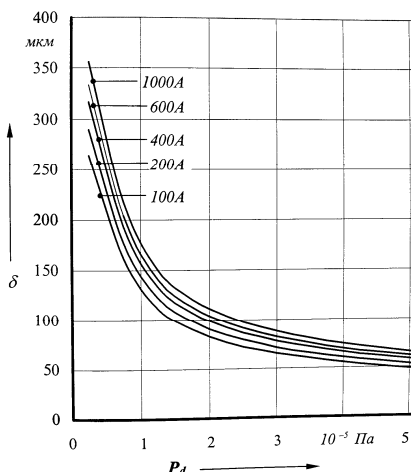


Рис. 3.3. Залежність міжелектродного зазору δ від I і P_d

Для прокачування робочої рідини в ЕІ передбачаються спеціальні отвори. При отриманні наскрізних отворів поперечні розміри отворів в ЕІ треба приймати по можливості більшими з тим, щоб зменшити об'єм матеріалу, що руйнується, і таким чином підвищити економічність і продуктивність процесу. Проте, при цьому зменшується товщина стінок ЕІ, яка не може бути менше 3...5мм, оскільки помітно знижується стійкість останнього.

При отриманні фасонних поверхонь поперечні розміри отворів в ЕІ повинні бути по можливості мінімальними. Проте при занадто малих розмірах отворів різко зростає потрібний тиск робочої рідини, що не бажано. Тому розміри цих отворів приймаються такими, щоб їх гідравлічний опір при визначених витратах робочої рідини не був значним, а статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор не перевищував 1,5...2МПа. Отвори треба, по можливості, розташовувати по центру ЕІ, що забезпечує сприятливий гідродинамічний режим течі робочої рідини і оптимальні умови протікання процесу.

За формою отвори ЕІ можуть бути круглими (рис. 3.4. а), прямокутними (рис. 3.4. б) і фасонними (рис. 3.4. в). Перевагу мають круглі отвори, оскільки їх легко отримати. Проте їх можна застосовувати лише для ЕІ круглих і квадратних в плані та близьких до них за формою, коли два поперечних розміри ЕІ приблизно однакові або ж відрізняються незначно (не більше ніж в 1,5...2 рази). Прямокутні отвори (щілини) застосовують для ЕІ видовжених в плані форм. Фасонні отвори застосовують для фасонних в плані ЕІ, коли для забезпечення приблизно однакового гідравлічного режиму течі рідини на різних ділянках отвору чи порожнини, що отримують, контур отвору в ЕІ повинен, хай спрощено, повторити контур останнього.

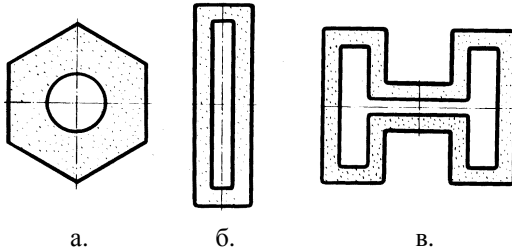


Рис. 3.4. Отвори в ЕІ

Розрахунки та виготовлення ЕІ для РОД здійснюється, певною мірою, як при відомих способах ЕРО. Так, наприклад, виконавчі розміри ЕІ для внутрішніх контурів (отворів) B_o та зовнішніх контурів (стержнів) B_c визначають за формулами:

- чистова обробка $B_o = (A + 0,7\Delta_e - 2\delta_2)^{+0,3\Delta_e}$

- чорнова обробка $B_o \leq (A + 0,7\Delta_e - 2(\delta_1 + z_{\min}))^{+0,3\Delta_e}$

- чистова обробка $B_c = (A - 0,7\Delta_n + 2\delta_2)^{-0,3\Delta_n}$

- чорнова обробка $B_c \leq (A + 0,7\Delta_n + 2(\delta_1 + z_{\min}))^{-0,3\Delta_n}$

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

Порядок виконання роботи

1. Проаналізувати креслення деталі.
2. Виконати ескіз електрод-інструмента для чорнової та чистової обробки з виконавчими розмірами у вигляді умовних позначень B_o і B_c .
3. Виконати розрахунок виконавчих розмірів електрод-інструмента для чорнової та чистової обробки.
4. На розробити креслення електрод-інструмента для чорнової та чистової обробки.

Зміст звіту

1. Навести короткі теоретичні відомості.
2. Навести ескізи електрод-інструментів для чорнової та чистової обробки.
3. Навести розрахунок виконавчих розмірів електрод-інструмента для чорнової та чистової обробки.
4. Навести креслення електрод-інструментів для чорнової та чистової обробки..

Література

1. Носуленко В.І., Шмельов В.М. Розмірна обробка металів електричною дугою // Навчальний посібник, Кропивницький, 2017 р.

Лабораторна робота №4

ОЗНАЙОМЛЕННЯ ТА ОПИС УНІВЕРСАЛЬНИХ КОПІЮВАЛЬНО-ПРОШИВНИХ ВЕРСТАТІВ РОД

Мета роботи - ознайомитись та описати призначення, будову і конструктивні особливості копіювально-прошивних верстатів моделей "Дуга-8Д" і "АМ-1" та скласти їх технічні характеристики і описати переваги і недоліки

Загальні відомості

Універсальний копіювально-прошивний верстат "Дуга-8Д" [1, с.181...189]

Універсальний копіювально-прошивний верстат "АМ-1" [1, с.203...209]

Обладнання, інструмент, матеріали

Для ознайомлення, експериментальної перевірки і відповідних замірів використовується верстат "Дуга-8Д". Інструментом є графітові електроди-інструменти. Експерименти виконуються з використанням сталевих заготовок.

Порядок виконання роботи

5. На основі наведених загальних відомостей та на підставі експериментальної перевірки роботи верстата "Дуга-8Д" ознайомитись з його призначенням, технічною характеристикою, будовою та конструктивними особливостями.

6. На основі наведених загальних відомостей по верстату "АМ-1" ознайомитись з його призначенням, технічною характеристикою, будовою і конструктивними особливостями та визначити його переваги порівняно з верстатом "Дуга-8Д".

Зміст звіту

5. Описати призначення і область застосування верстата "Дуга-8Д", його технічну характеристику, комплект установки, кінематичну схему, інструментальну головку та конструктивні особливості.

6. Описати призначення та область застосування верстата "АМ-1", його технічну характеристику, комплект установки, конструктивні особливості порівняно з верстатом "Дуга-8Д", його переваги порівняно з останнім.

Література.

1. Носуленко В.І., Шмельов В.М. Розмірна обробка металів електричною дугою // Навчальний посібник, Кропивницький, 2017 р.

Лабораторна робота №5

ОЗНАЙОМЛЕННЯ ТА ОПИС ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИХ ГОЛОВОК РОД ДО МЕТАЛОРИЗАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

Мета роботи - ознайомитись та описати призначення, область застосування, будову і конструктивні особливості електроерозійних головок (ЕЕГ) розмірної обробки металів електричною дугою (РОД) до металорізальних верстатів і скласти їх технічні характеристики

Загальні відомості

Електроерозійні головки РОД до металорізальних верстатів" [1, с.200...203]

Обладнання, інструмент, матеріали

Для ознайомлення, експериментальної перевірки і відповідних замірів використовується електроерозійна прошивна головка АМН-1 до настільного свердлувального верстата та установка в цілому на базі останнього. Інструментом є графітові електроди-інструменти. Експерименти виконуються з використанням сталевих заготовок.

Порядок виконання роботи

На основі наведених загальних відомостей та на підставі експериментальної перевірки роботи ЕЕГ АМН-1 та установки в цілому на базі настільного свердлувального верстата ознайомитись з призначенням та областю застосування такої установки, її технічною характеристикою, будовою, конструктивними особливостями та скласти принципову гідравлічну схему установки з системою прота-тиску для зрівноваження зусиль від дії робочої рідини.

Зміст звіту

1. Описати призначення і область застосування ЕЕГ АМН-1 та установки в цілому на базі настільного свердлувального верстата, описати комплект і навести технічну характеристику останньої, описати конструктивні особливості і навести ескіз головки АМН-1.
2. Скласти принципову гідравлічну схему установки з системою протитиску для зрівноваження зусиль від дії робочої рідини.

Література.

Носуленко В.І., Шмельов В.М. Розмірна обробка металів електричною дугою // Навчальний посібник, Кропивницький, 2017 р.

Лабораторна робота №6

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОД СПРЯЖЕНИХ ПАР

Мета роботи – навчитись виконувати розробку технології виготовлення спряжених пар, на прикладі штампу суміщеної дії, та виконувати розрахунок виконавчих розмірів електрод-інструментів.

Загальні відомості

Для одержання спряжених пар з необхідним зазором поміж пуансоном і матрицею використовують спосіб РОД в сукупності зі способом керованого зносу електрод-інструмента СКЗ ЕІ, коли пуансон-інструмент і проміжний пуансон-електрод виготовляють методом зворотного копіювання із застосуванням первинного графітового ЕІ, а матрицю отримують методом прямого копіювання проміжним пуансон-електродом, забезпечуючи необхідний зазор між пуансоном і матрицею. При цьому, використовуючи факт зносу графітового ЕІ, отримують безступеневий пуансон змінного по довжині поперечного перерізу з укладом ψ , з якого одержують пуансон-інструмент та пуансон-електрод, виконавчі розміри якого визначаються як сума відповідних розмірів пуансон-інструмента та величини, яка являє собою різницю штампувального та міжелектродного зазору.

На рис.6.1 показано умовна схема для розрахунку виконавчих розмірів ЕІ для одержання спряженої пари “пуансон-матриця,, з умовним розташуванням пуансонів-інструментів і проміжних пуансонів-електродів, відповідно до отриманих зазорів у спряженій парі, на яку накладається шкала “Товщина матеріалу s – Зазор z ,..

$$a_B^B = a_{MB}^3 + 2\delta_{11} - \gamma_l^B$$

Рис.6.1. Умовна схема для розрахунку виконавчих розмірів ЕІ

При цьому потрібний розмір пуансон-електрода:

$$a_e = a_m - 2\delta_2, \quad (1)$$

де a_m – розмір матриці, δ_2 – міжелектродний зазор між металевим ЕІ та матрицею.

Виконавчий розмір пуансон-інструмента:

$$a_i = a_e - (z - \delta_2), \quad (2)$$

де z – односторонній зазор між пуансоном і матрицею.

Виконавчий розмір графітового ЕІ:

$$\text{коли } z < \delta_2, \text{ то } A_i = a_e + 2\delta_1; \quad (3)$$

$$\text{коли } z > \delta_2, \text{ то } A_i = a_i + 2\delta_1, \quad (4)$$

де δ_i – міжелектродний зазор між графітовим ЕІ та безступеневим стержнем.

Для розширення діапазону регулювання зазорів способу РОД СКЗ ЕІ запропоновано такі форми і розміри робочого пояса: графітовий ЕІ з робочим пояском прямокутного перерізу (рис.2,а), графітовий ЕІ з робочим пояском, що має похилу поверхню з кутом α (рис.2,б), графітовий ЕІ з похилою поверхнею, кут якої визначається з урахуванням торцевого зносу γ_r графітового ЕІ для забезпечення постійної висоти робочого пояса (рис.2,в).

На умовній схемі (рис.2) показано характер зносу графітового ЕІ залежно від форми робочого пояса і його вплив на форму твірної поверхні пуансона.

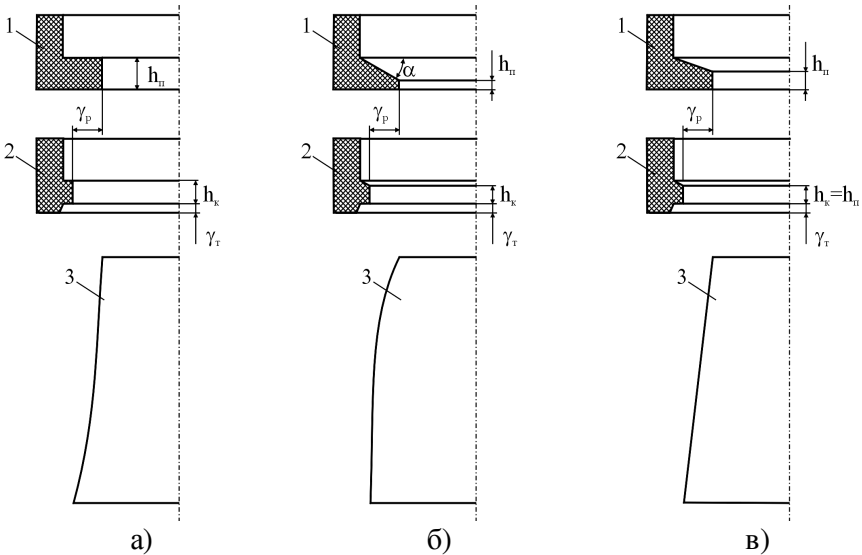


Рис. 2. Форми робочого пояса ЕІ та їх вплив на геометрію торцевої поверхні безступеневого пуансона

З урахуванням технологічної складності виготовлення робочих поясів графітових ЕІ найбільш простою формою робочого пояса є прямокутна. Для визначення висоти останнього необхідно виконати розрахунок оптимального уклону безступеневого пуансона ψ (згідно умовної схеми на рис.1), що залежить від величини зазору z .

Оптимальне значення уклону безступеневого пуансона ψ , мм/мм:

$$\text{коли } z < \delta_2, \text{ то } \psi = \frac{\delta_2 - z}{l_e} = \frac{\delta_2 - z}{2h_M}; \quad (5)$$

$$\text{коли } z > \delta_2, \text{ то } \psi = \frac{z - \delta_2}{l_i + l_e} = \frac{z - \delta_2}{l_i + 2h_M}, \quad (6)$$

де l_i – висота пуансона-інструмента, l_e – висота пуансона-електрода.

На рис.3 та рис.4 показано, відповідно, графіки впливу змінних факторів: сили струму $I(x1)=100\dots400\text{A}$, статичного тиску $P_S(x2)=1\dots1,4\text{МПа}$, висоти робочого пояса ЕІ $h(x3)=0,5\dots1,5\text{мм}$ на уклон безступеневого пуансона ψ та залежність зносу графітового ЕІ γ_n .

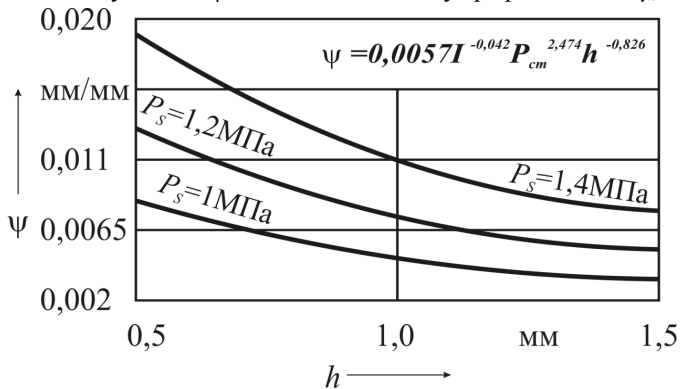


Рис. 3. Графік впливу змінних факторів h та P_S на уклон пуансона ψ ($I = 100\text{A}$)

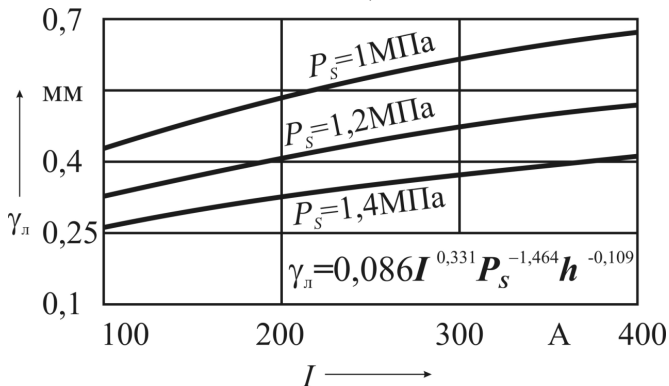


Рис. 4. Графік впливу змінних факторів I та P_S на знос графітового ЕІ γ_n ($h = 0,5\text{мм}$)

Отримані залежності дозволяють зробити висновок, що уклон пуансона ψ (див. рис.3) визначається перш за все статичним тиском робочої рідини P_s , другим по степеню впливу фактором є величина робочого пояса електрод-інструмента h , третім – сила технологічного струму I , а знос графітового ЕІ γ_l (див. рис.4) визначається перш за все статичним тиском робочої рідини P_s , другим по ступеню впливу фактором є сила технологічного струму I , третім – величина робочого пояса електрод-інструмента h .

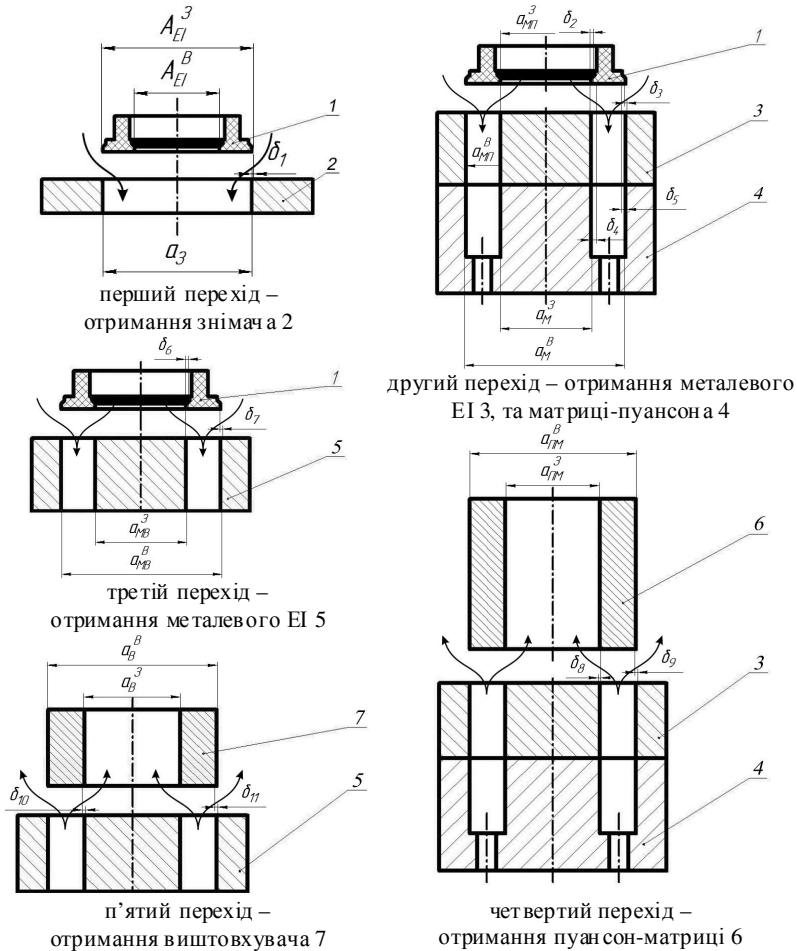


Рис.5. Технологічна схема виготовлення комплексу робочих спряжених пар штампів сумщеної дії

Отримані залежності дозволяють керувати основним технологічними факторами процесу РОД СКЗ ЕІ для отримання необхідних значень уклону пуансона ψ та зносу графітового ЕІ γ .

Для штампів суміщеної дії для вирубування-пробивання, є необхідним забезпечити спряження чотирьох взаємопов'язаних деталей (пуансон-матриці, матриці-пуансона, знімача та виштовхувача) по семи спряжених поверхнях, з цією метою запропоновано спосіб електроерозійної обробки робочих спряжених пар штампів суміщеної дії (рис.5), виготовлення яких відбувається в певній послідовності за декілька переходів з використанням одного графітового ЕІ.

Розрахунок виконавчих розмірів ЕІ здійснюють в такій послідовності:

1) по заданим кресленням пуансон-матриці 6 та матриці-пуансона 4 визначити величину зазору z між спряженими поверхнями цих деталей;

2) залежно від того $z > \delta_2$ чи $z < \delta_2$ вибирають послідовність виготовлення металевого ЕІ 3 та матриці-пуансона 4 за методикою наведеною на рис.1, тобто, якщо $z > \delta_2$ то спочатку виготовляють металевий ЕІ 3, а потім матрицю-пуансон 4, при $z < \delta_2$ навпаки;

3) залежно від того $z > \delta_2$ чи $z < \delta_2$ визначають величину уклону ψ за формулами (5), (6);

4) Визначають переходи виготовлення спряжених пар робочих деталей. Для випадку, коли $z > \delta_2$: перший перехід – графітовим ЕІ 1 виготовляють знімач 2; другий перехід – графітовим ЕІ 1 виготовляють металевий ЕІ 3 потім матрицю-пуансон 4; третій перехід – графітовим ЕІ 1 виготовляють металевий ЕІ 5; четвертий перехід – металевим ЕІ 3 виготовляють пуансон-матрицю 6; п'ятий перехід – металевим ЕІ 5 виготовляють виштовхувач 7. Для випадку, коли $z < \delta_2$ послідовність переходів зберігається тільки в другому переході спочатку графітовим ЕІ 1 виготовляють матрицю-пуансон 4 потім металевий ЕІ 3;

5) Залежно від послідовності виготовлення металевого ЕІ 3 та матриці-пуансона 4 (див. другий перехід) розраховують розміри графітового ЕІ. Для випадку, коли $z > \delta_2$ розмір графітового ЕІ 1:

- для зовнішнього контуру

$$A_{EI}^3 = A_{MPI}^3 + \gamma_{MEI}^6 + \gamma_3, \quad (7)$$

де $A_{МП}^3$ – зовнішній початковий розмір графітового ЕІ 1 для виготовлення матриці-пуансона 4, $\gamma_{МЕІ}^6$ – величина лінійного зносу графітового ЕІ 1 при виготовленні внутрішнього контуру металевого ЕІ 3, γ_3 – величина лінійного зносу графітового ЕІ 1 при виготовленні знімача 2.

- для внутрішнього контуру

$$A_{ЕІ}^B = A_{МП}^6 - \gamma_{МЕІ}^3, \quad (8)$$

де $A_{МП}^6$ – внутрішній початковий розмір графітового ЕІ 1 для виготовлення матриці-пуансона 4, $\gamma_{МЕІ}^3$ – величина лінійного зносу графітового ЕІ 1 при виготовленні зовнішнього контуру металевого ЕІ 3.

Для випадку, коли $z < \delta_2$ розмір графітового ЕІ 1:

- для зовнішнього контуру

$$A_{ЕІ}^3 = A_{МП}^3 + \gamma_3, \quad (9)$$

- для внутрішнього контуру

$$A_{ЕІ}^B = A_{МП}^6. \quad (10)$$

6) Розраховують розмір робочої частини знімача 2

$$a_3 = A_{ЕІ}^3 + 2\delta_1 - \gamma_l^3, \quad (11)$$

де δ_1 – величина міжелектродного зазору, γ_l^3 – відносний діаметральний знос графітового ЕІ 1 при виготовленні знімача 2.

7) Для випадку, коли $z > \delta_2$ розраховують:

Зовнішній розмір робочої частини металевого ЕІ 3

$$a_{МП}^3 = A_{ЕІ}^B - 2\delta_2 + \gamma_l^3 + \gamma_l^{МП}, \quad (12)$$

де δ_2 – величина міжелектродного зазору, $\gamma_l^{МП}$ – відносний діаметральний знос графітового ЕІ 1 при виготовленні металевого ЕІ 3.

Внутрішній розмір робочої частини металевого ЕІ 3

$$a_{МП}^B = A_{ЕІ}^3 + 2\delta_3 - \gamma_l^{МП}, \quad (13)$$

де δ_3 – величина міжелектродного зазору.

Зовнішній розмір робочої частини матриці-пуансона 4

$$a_M^3 = A_{EI}^B - 2\delta_4 + \gamma_l^3 + \gamma_l^{MPI} + \gamma_l^M, \quad (14)$$

де δ_4 – величина міжелектродного зазору, γ_l^M – відносний діаметральний знос графітового ЕІ 1 при виготовленні матриці-пуансона 4.

Внутрішній розмір робочої частини матриці-пуансона 4

$$a_M^B = A_{EI}^3 + 2\delta_5 - \gamma_l^{MPI} - \gamma_l^M, \quad (15)$$

де δ_5 – величина міжелектродного зазору.

Для випадку, коли $z < \delta_2$ розраховують:

Зовнішній розмір робочої частини матриці-пуансона 4

$$a_M^3 = A_{EI}^B - 2\delta_4 + \gamma_l^3 + \gamma_l^M. \quad (16)$$

Внутрішній розмір робочої частини матриці-пуансона 4

$$a_M^B = A_{EI}^3 + 2\delta_5 - \gamma_l^M. \quad (17)$$

Зовнішній розмір робочої частини металевого ЕІ 3

$$a_{MPI}^3 = A_{EI}^B - 2\delta_2 + \gamma_l^3 + \gamma_l^{MPI} + \gamma_l^M. \quad (18)$$

Внутрішній розмір робочої частини металевого ЕІ 3

$$a_{MPI}^B = A_{EI}^3 + 2\delta_3 - \gamma_l^{MPI} - \gamma_l^M. \quad (19)$$

8) Розраховують зовнішній розмір робочої частини металевого ЕІ 5 для виготовлення виштовхувача 7

$$a_{MB}^3 = A_{EI}^B - 2\delta_6 + \gamma_l^3 + \gamma_l^{MPI} + \gamma_l^M + \gamma_l^{MB}, \quad (20)$$

де δ_6 – величина міжелектродного зазору, γ_l^{MB} – відносний діаметральний знос графітового ЕІ 1 при виготовленні металевого ЕІ 5 для виготовлення виштовхувача 7.

Внутрішній розмір робочої частини металевого ЕІ 1 для виготовлення виштовхувача 7

$$a_{MB}^B = A_{EI}^3 + 2\delta_7 - \gamma_l^{MPI} - \gamma_l^M - \gamma_l^{MB}, \quad (21)$$

де δ_7 – величина міжелектродного зазору.

9) Розраховують зовнішній розмір робочої частини пуансон-матриці

6

$$a_{ПМ}^3 = a_{МП}^B - 2\delta_8 + \gamma_{л}^{ПМ}, \quad (22)$$

де δ_8 – величина міжелектродного зазору, $\gamma_{л}^{ПМ}$ – відносний діаметральний знос металевого ЕІ 3 при виготовленні пуансон-матриці 6.

Внутрішній розмір робочої частини пуансон-матриці 6

$$a_{ПМ}^B = a_{МП}^3 + 2\delta_9 - \gamma_{л}^{ПМ}, \quad (23)$$

де δ_9 – величина міжелектродного зазору.

10) Розраховують зовнішній розмір робочої частини виштовхувача 7

$$a_B^3 = a_{MB}^B - 2\delta_{10} + \gamma_{л}^B, \quad (24)$$

де δ_{10} – величина міжелектродного зазору, $\gamma_{л}^B$ – відносний діаметральний знос металевого ЕІ 5 при виготовленні виштовхувача 7

Внутрішній розмір робочої частини виштовхувача 7

$$a_B^B = a_{MB}^3 + 2\delta_{11} - \gamma_{л}^B, \quad (25)$$

де δ_{11} – величина міжелектродного зазору.

Порядок виконання роботи

1. За індивідуальним завданням розробити технологію виготовлення спряжених пар, і виконати розрахунок виконавчих розмірів електрод-інструментів за наведеною методикою.
2. Розробити креслення графітового і металевого електрод інструмента

Зміст звіту

1. Навести короткі теоретичні відомості.
2. Креслення деталей спряжених пар штампу суміщеної дії
3. Розроблений технологічний процес виготовлення спряжених пар і виконанні розрахунки.
4. Креслення графітового і металевого електрод-інструментів.

Зміст

1	Лабораторна робота № 1 Визначення і опис енергетичних характеристик електричної дуги в умовах РОД	3
2	Лабораторна робота № 2 Дослідження технологічних характеристик процесу РОД	6
3	Лабораторна робота № 3 Розрахунок виконавчих розмірів електрод-інструмента за умов РОД	14
4	Лабораторна робота № 4 Ознайомлення та опис універсальних копіювально-прошивних верстатів РОД	19
5	Лабораторна робота № 5 Ознайомлення та опис електроерозійних головок РОД до металорізальних верстатів	20
6	Лабораторна робота № 6 Розробка технологічного процесу РОД спряжених пар.....	21