

## Розмірна обробка електричною дугою багатошарових листових деталей

Запропоновані технологічні схеми формоутворення отворів і зовнішніх контурів при обробці багатошарових листових деталей способом розмірної обробки електричною дугою. Описані технологічні характеристики продуктивності і якості розмірної обробки електричною дугою багатошарових листових деталей, представлені приклади реалізації процесу, сфери його раціонального застосування і економічна ефективність

**електрична дуга, розмірна обробка, листовий метал, багатошарові деталі, технологія, інструмент, продуктивність**

**Вступ.** Для виготовлення елементів конструкцій, що несуть значні навантаження, зокрема, в деталях гірничого обладнання “Гідрокріплення”, звичайно використовують листовий прокат зі спеціальних легованих конструкційних сталей, наприклад, сталь 16ХГМФТР. Високу міцність забезпечують зварюванням листів по декілька шарів. Проблемою є подальша обробка отворів в цих багатошарових деталях. Традиційно їх отримують за декілька переходів механічною обробкою. Механічна обробка отворів діаметром до 90-110 мм в декілька переходів є трудомісткою, супроводжується значними витратами енергії та інструменту.

Застосувати плазмове різання для чорнового вирізання отворів із подальшим чистовим зенкеруванням неможливо через високу міцність отриманої зони термічного впливу, що вимагає спеціального твердосплавного інструменту, який має високу вартість і низьку стійкість. Враховуючи, що місячна програма виготовлення таких отворів в деталях “Гідрокріплення” складає близько сорока тисяч отворів, постає питання пошуку більш ефективних способів їх обробки.

Високоєфективною альтернативою зазначеним процесам є спосіб розмірної обробки електричною дугою (РОД), який дозволяє високоякісно обробити порожнини, зовнішні та внутрішні контури деталей [1, 2] і порівняно з традиційними методами металообробки (різанням, тиском) забезпечує такі переваги:

– вихідний енергоносій (електроенергія) не перетворюється в силову (відсутні двигун і відповідні ланки кінематичного ланцюга верстата), а реалізується в зоні обробки безпосередньо, виконуючи відповідну операцію в потрібному місці, у визначений час та з необхідними якістю, продуктивністю і точністю обробки;

– відсутнє докладання механічних зусиль до інструмента та заготовки через систему „верстат-пристрій-інструмент-деталь”, що дозволяє помітно спростити та здешевити верстат в цілому;

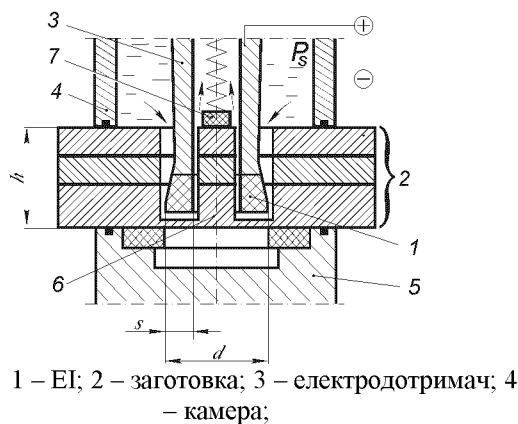
– інструмент для РОД – електрод (ЕІ) помітно простіший та дешевий, ніж інструменти, які застосовуються при традиційних методах металообробки (різець, свердло, фрези), оскільки не перевищує по твердості оброблюваний метал;

– на продуктивність обробки не впливають твердість та в'язкість металу заготовки, яку обробляють. Це важливо в умовах зростаючого застосування важкооброблюваних матеріалів.

Проте вимагають розробки і досліджень технологічні схеми формоутворення та якісні і кількісні технологічні характеристики процесу РОД багат шарових деталей.

**Постановка задачі.** Для ефективної реалізації РОД багат шарових деталей, згідно зазначеного, вимагають опису технологічні схеми формоутворення зовнішніх і внутрішніх контурів та технологічні характеристики процесу, зокрема, продуктивність обробки  $M$ , шорсткість обробленої поверхні  $Ra$ , стійкість і динаміка зносу ЕІ. Для цього доцільно використати математичне моделювання і статистичні методи планування та обробки результатів експериментів.

**Технологічні схеми формоутворення.** Розроблена технологічна схема формоутворення для отворів (рис. 1), дозволяє ефективно реалізувати РОД багат шарових деталей і виконати дослідження технологічних характеристик процесу. Високу продуктивність забезпечує застосування порожнистого тонкостінного ЕІ 1, який руйнує мінімальну кількість металу відповідно до товщини стінки  $s$ , відокремлюючи від ЕЗ 2 відхід 6.

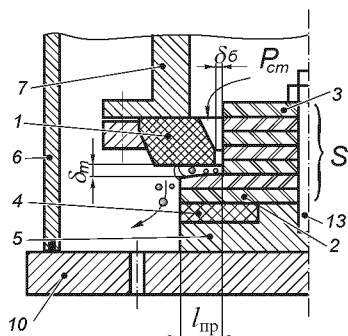


1 – ЕІ; 2 – заготовка; 3 – электродотримач; 4 – камера;  
5 – электрод-опора; 6 – відхід; 7 – притискач  
Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення

ЕІ являє собою вставку із електроерозійного графіту МПГ- 7 загальною висотою 45 мм із робочою частиною 30 мм, закріплену на тримачі 3. Поступальним рухом ЕІ вниз формують отвір в багат шаровій ЕЗ 2, яка лежить на опорі 5. Зона обробки герметизована камерою 4, а відхід утримує притискач 7. Метал заготовки при формуванні отвору руйнує торцева поверхня ЕІ. Відповідно, ЕІ зношується по висоті, а розміри в плані залишаються стабільними. Стабільними є і розміри отримуваних отворів.

Обробку листових деталей пакетом можна реалізувати також по зовнішньому (рис. 2).

Особливості зазначеної схеми полягають в тому, що пластинчатий ЕІ 1 товщиною 15...30 мм кріплять до электродотримача 7 гайкою, що має внутрішній конус і виконує роль обойми для ЕІ, який витримує розтягуючі напруження від статичного тиску  $P_{ст}$  робочої рідини (напрямок руху показано стрілками), який складає від 0,7 до 2 МПа.



1 – ЕІ; 2 – ЕЗ; 3 – деталь; 4 – гумова підкладка; 5 – базовий елемент; 6 – герметизована камера; 7 – электродотримач; 8, 9 – гайки; 10 – підкладна плита;  
11 – дуга; 12 – продукти ерозії; 13 – фіксатор заготовок

Рисунок 2 – Формоутворення при обробці пакетом

Для забезпечення стабільності процесу обробки заготовки 2 щільно набирають на оправку 13, фіксуючи гайкою 9. Контур заготовки розташовують симетрично до формоутворюючого отвору ЕІ за допомогою спеціальних шаблонів чи фіксаторів для забезпечення рівномірності гідравлічного опору по периметру контуру і, відповідно, рівномірного розподілу робочої рідини. Висота пакета  $S$  обмежена лише висотою электродотримача. Для

уникнення зростання гідравлічного опору траси течії робочої рідини при заглибленні ЕІ необхідно, щоб твірна допоміжної поверхні ЕІ 1, на яку надходить робоча рідина (показано стрілкою) при вході в зазор  $\delta_6$ , мала нахил  $14^\circ$  [2] при висоті вертикального робочого пояса 5 мм. Гумова підкладка 4 забезпечує якісне формоутворення нижньої в пакеті деталі.

**Результати досліджень.** Встановлено [3, 4], що за умов визначеної геометрії ЕІ основними керуючими факторами процесу є сила струму  $I$  та статичний тиск робочої рідини  $P_s$  на вході в міжелектродний зазор. Напруга робочого ходу 28-30 В забезпечує оптимальний торцевий міжелектродний зазор.

Керуючі фактори, які визначають якісні і кількісні показники процесу – електричні (сила струму  $I$ , напруга  $U$ ) і гідродинамічні (тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_s$ , який визначає динамічний тиск  $P_d$ ) при експериментальних дослідженнях осцилографувались (рис. 3).

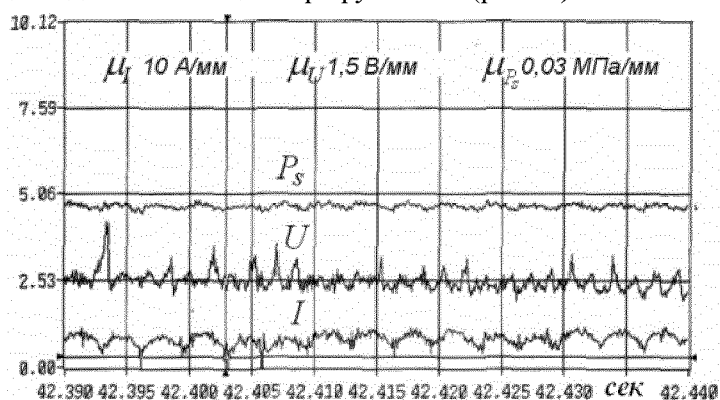


Рисунок 3 – Осцилограма РОД багат шарових деталей

Стабільність цих керуючих факторів характеризує стабільність процесу, а отже забезпечує показники якості і продуктивності. Спостерігається усталеність керуючих факторів при обробці суцільного листа і деякі порушення при переходах між листами, коли щілини заварюються видовженою дугою. Бажано забезпечити максимальне прилягання листів, проте зазори між листами в

межах десятих долей міліметра (до 1 мм) істотно не впливають на процес. При цьому зі збільшенням зазору зона термічного впливу в місці стику листів дещо зростає і може досягати 0,1...0,2 мм, що не впливає на точність обробки і шорсткість обробленої поверхні та не викликає ускладнень при необхідності подальшої механічної обробки.

Проведено серію експериментів при варіюванні зазначених керуючих факторів на трьох рівнях, в діапазоні ( $I = 100-1000A$ ,  $P_d = 0,01-0,5$  МПа). Побудовано експериментальні графіки залежності та методами статистичного аналізу отримано математичні моделі технологічних характеристик РОД отворів багат шарових деталей продуктивності  $M$ , шорсткості  $Ra$ , глибини зони термічного впливу (ЗТВ)  $H$  для умов: ЕЗ – сталь 45, ЕІ – МПГ-7, полярність зворотна, робоча рідина – масло „Індустріальне” (50%) і гас (50%). Продуктивність обробки  $M$  (рис. 4) в зазначених межах варіювання керуючих факторів становить 2-25 тис.  $mm^3/хв$ , прямо пропорційна силі струму і обернено пропорційна динамічному тиску середовища. Шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  (рис. 5) отримано в межах 3-30

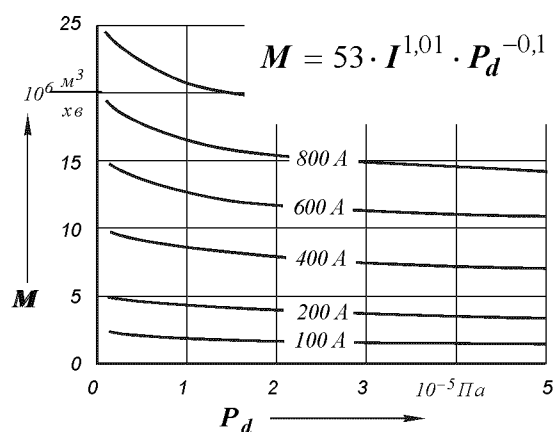


Рисунок 4 – Залежність продуктивності  $M$  від сили струму  $I$  і тиску рідини  $P_d$

мкм: при збільшенні сили струму вона збільшується, при збільшенні динамічного тиску вона зменшується. Глибина ЗТВ  $H$  прямо пропорційна силі струму і обернено пропорційна динамічному тиску (рис. 6): при силі струму близько 1000A і динамічному

тиску 0,01 МПа складає до 250 мкм, а при зростанні динамічного тиску до 0,5 МПа практично відсутня.

Підвищення динамічного тиску призводить до зниження продуктивності, шорсткості, глибини ЗТВ внаслідок зміни енергетичної структури розряду: при нижніх значеннях динамічного тиску видалення металу відбувається переважно за рахунок розмірного плавлення, а при підвищенні – за рахунок випаровування.

Розробку технологічного процесу здійснюють із врахуванням таких особливостей:

- визначають оптимальну товщину стінки ЕІ, виходячи з умов механічної і термічної міцності матеріалу;
- визначають допустиму  $I$  як добуток площі ЕІ в плані на питому густину струму  $j = 1-2 \text{ А/мм}^2$ ;
- розраховують продуктивність  $M$  і тривалість обробки;
- визначають  $I$ ,  $U$ ,  $P_s$ , що забезпечують потрібні значення шорсткості  $R_a$  та допустиму величину ЗТВ;
- передбачають можливість високопродуктивної чорнової обробки при  $I = 800-1000 \text{ А}$ , залишають мінімальний припуск для наступної чистової обробки;
- розрахувати для вибраних режимів обробки знос ЕІ та його необхідні розміри по висоті.

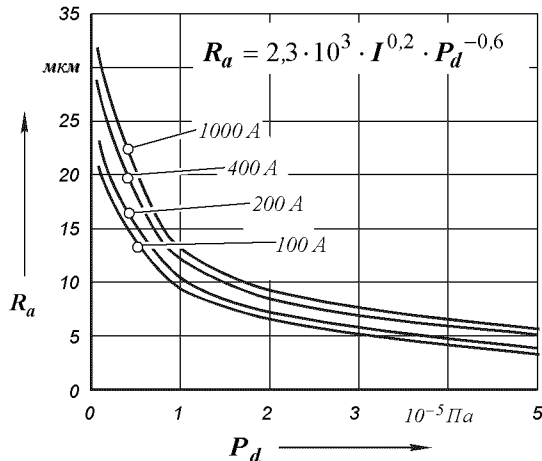


Рисунок 5 – Залежність шорсткості обробленої поверхні  $R_a$  від  $I$  і  $P_d$

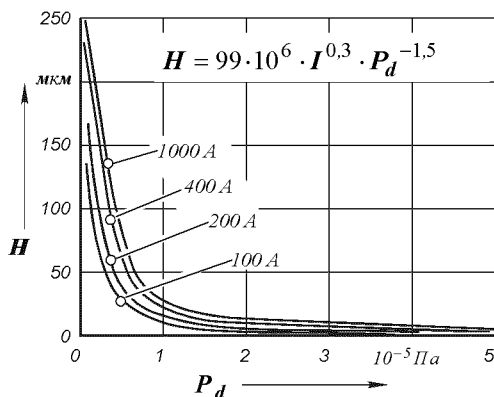


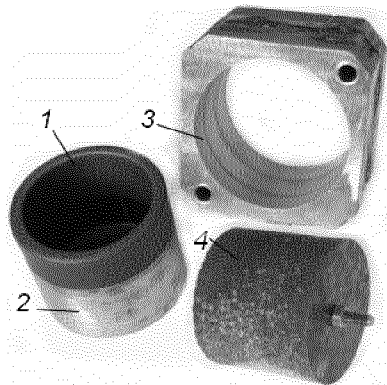
Рисунок 6 – Залежність глибини зони термічного впливу  $H$  від  $I$  і  $P_d$

Конструкція робочої частини ЕІ визначає величину гідравлічного опору міжелектродного зазору [5] і режим руху рідини в ньому, а отже всі технологічні характеристики процесу, які залежать від динамічного тиску робочої рідини. Знос ЕІ при РОД складає не більше 1% товщини обробленої заготовки. При одержанні отвору глибиною 90 мм ЕІ стане коротшим на 0,9 мм. ЕІ довжиною робочої частини 20 мм дозволяє одержати отвори сумарною довжиною 2000 мм. При повторному використанні інструмента стабільність одержання розмірів отворів і контурів отворів забезпечується в межах допуску на виготовлення деталі до повного зносу ЕІ. З однієї графітової заготовки розмірами (мм)  $120 \times 120 \times 40$  можна одержати одночасно інструменти для отворів діаметрами 110, 90, 70, 50 мм (4 інструменти). Середня питома вартість ЕІ складе близько 1 коп. на 1 мм прошитого отвору. Прикладами РОД багат шарових деталей є обробка круглих (рис. 7) і фасонних отворів

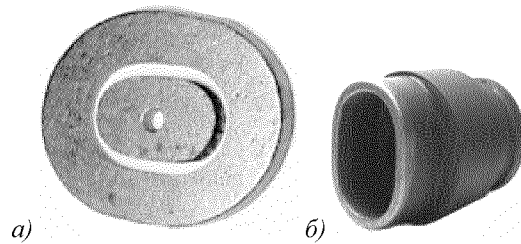
(рис. 8) та деталей по зовнішньому контуру пакетом (рис. 9). На рис. 7 представлено тришарову листову деталь (сталь 16ХГМФТР) товщиною 75 мм з отвором  $\varnothing 110 \text{ мм}$ , оброблену способом РОД, отриманий відхід та ЕІ товщиною стінки 10 мм. Режимі обробки: сила струму – 800 А; напруга – 30 В; тиск робочої рідини – 1 МПа. Результати

обробки: час – 15 хв; продуктивність – 17 тис. мм<sup>3</sup>/хв; питома витрата електроенергії – 3,5 квт·год/кг, шорсткість – Ra 20; зона термічного впливу – до 0,03 мм.

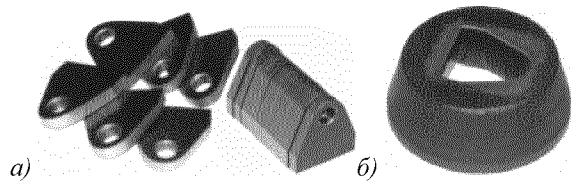
РОД багат шарових деталей тонкостінним ЕІ можна застосувати не тільки для круглих, але і для фасонних отворів (рис. 8). Відходи при цьому можна використати як заготовки для інших деталей (рис. 9).



1 – ЕІ; 2 – електродотримач; 3 – деталь (отвір Ø 110 мм); 4 – відхід  
Рисунок 7 – Результат прошивки отвору в багат шаровій листовій деталі:



а – деталь і відхід; б – ЕІ  
Рисунок 8 – Обробка отворів фасонним тонкостінним ЕІ



а) б)  
Рисунок 9 – РОД багат шарових деталей по зовнішньому контуру

РОД багат шарових деталей порівняно з традиційними процесами металообробки має високу економічну ефективність внаслідок зменшення кількості переходів від 5-6 при механічній обробці до 1 при РОД, зменшення вартості інструменту на 25-50% і трудомісткості із 1,42 годин при механічній обробці до 0,24 годин при РОД. Економічний ефект для деталі „Траверса” становить 1459 тис. грн./рік, при програмі випуску 6000 шт/рік, а термін окупності обладнання складає менше року, а отже запропонований процес має значну інвестиційну привабливість [6].

**Висновки.** Запропоновані і реалізовані технологічні схеми формоутворення отворів і зовнішніх контурів при розмірній обробці електричною дугою багат шарових листових деталей, які дозволяють підвищити продуктивність в 3-5 разів порівняно з традиційною механічною обробкою.

Встановлено, що в умовах РОД багат шарових деталей інструментом із матеріалу МПГ-7 на зворотній полярності в рідині масло „І-12” (50%) та гас (50%) при силі струму 100-1000 А, динамічному тиску 0,01-0,5 МПа, напрузі робочого ходу 25-30 В значення кількісних і якісних характеристик процесу прямо пропорційні струму і обернено пропорційні динамічному тиску. Продуктивність  $M$  складає від 2 до 25 тис. мм<sup>3</sup>/хв, шорсткість  $Ra$  складає від 2 до 35 мкм, глибина зони термічного впливу  $H$  складає від 0 до 250 мкм.

## Список літератури

1. Носуленко В. І., Чумаченко О. С. РОД фасонних отворів в листовому металі // Збірник наукових праць КДТУ.– Вип. 7.– Кіровоград: КДТУ, 2000. – С. 216-221
2. Носуленко В. І., Чумаченко О. С. Розмірна обробка електричною дугою фасонних зовнішніх контурів листових деталей // Вісник НТУУ „КПІ”. – 2002. – № 45. – С. 158-165.
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. – 36 с.
4. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой // Электронная обработка материалов.– 2005.– № 1. – С. 8-17.
5. Чумаченко О. С. Оптимізація гідродинамічних характеристик потоку робочої рідини при обробці стаціонарною дугою отворів із фасками // Вісник НТУУ „КПІ”. – 2008. – № 52. – С. 170-177.
6. Чумаченко О. С. Економічна ефективність розмірної обробки дугою отворів у багат шарових

товстолистових деталях // Наукові праці КДТУ. Економічні науки. –Вип. 13.– Кіровоград: КДТУ, 2005. – С. 67-72.

*В. Носуленко, О. Чумаченко*

**Размерная обработка электрической дугой многослойных листовых деталей**

Предложены технологические схемы формообразования отверстий и внешних контуров при обработке многослойных листовых деталей способом размерной обработки электрической дугой. Описаны технологические характеристики производительности и качества размерной обработки электрической дугой многослойных листовых деталей, представлены примеры реализации процесса, сферы его, рационального применения и экономическая эффективность

*V. Nosulenko, O. Chumachenko*

**Dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc**

The flowsheets of shape formation of openings and external contours are offered at treatment of multi-layered sheet details the method of dimension treatment a voltaic arc. Technological descriptions of the productivity and quality of dimension treatment of multi-layered sheet details a voltaic arc are described, the examples of realization of process, spheres of it, are presented, rational application and economic efficiency

Одержано 02.11.09