

УДК 621.9.048.4

В.І. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.В. Юр'єв, асп.*Кіровоградський національний технічний університет, м.Кіровоград, Україна*

Розмірна обробка електричною дугою складних за зовнішнім контуром деталей

Описано технологічну схему формоутворення розмірної обробки електричною дугою складних за зовнішнім контуром деталей та запропоновано конструкцію електрода-інструмента, що дозволяє визначити запропонований спосіб, як високоефективну альтернативу традиційним технологіям.
електрична дуга, РОД, складний контур, ЕІ, заготовка, формоутворення

В.И. Носуленко, проф., д-р техн. наук, В.В. Юрьев, асп.*Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина***Размерная обработка электрической дугой сложных по внешнему контуру деталей**

Описана технологическая схема формообразования размерной обработки электрической дугой сложных по внешнему контуру деталей и предложена конструкция электрода-инструмента, что позволяет определить предложенный способ, как высокоэффективную альтернативу традиционным технологиям.
электрическая дуга, РОД, сложный контур, ЭИ, заготовка, формообразование

Постановка проблеми. В сучасному машинобудуванні широко використовують деталі зовнішнього складного контура типу «зірочка». В загальному випадку зовнішній контур може бути елементом конструкції машини або технологічного оснащення. При дрібносерійному виробництві для отримання деталей зі складним зовнішнім контуром частіше використовують механічну обробку та штампування. Механічна обробка доцільна при індивідуальному виробництві, оскільки є малопродуктивним процесом, а штампування не завжди ефективне, оскільки не компенсується вартість штампа. Тому помітного поширення знаходять електрофізичні способи обробки, а саме плазмова і лазерна обробки та електроерозійна обробка, різновидом якої є електроіскрова обробка та розмірна обробка електричною дугою (РОД).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Плазмове різання [1] не дозволяє отримати деталі зовнішнього фасонного контура, перш за все габаритами приблизно до 100 мм з дрібними елементами та гострими кутами при підвищених вимогах по якості і точності обробки. Товстолистові деталі, отримані плазмовим різанням, мають дещо оплавлену і неперпендикулярну площині деталі поверхню різку. Суттєвий недолік плазмового різання – порівняно велика (до 1 мм) зона термічного впливу при обробці вуглецевих сталей, що ускладнює подальшу механічну обробку. Тому деталь в цьому випадку підлягає відпалу. При різанні металу товщиною до 2 мм термічні напруження призводять до викривлення деталей. Вузькі щілини шириною менше товщини листа, дрібні прямокутні і квадратні отвори в товстолистовому металі є проблемою. Наступний недолік методу – досить жорсткі вимоги до відхилення від перпендикулярності різку. Залежно від товщини деталі кут відхилення не повинен перевищувати 10-50°. При виході за ці межі спостерігається значне розширення різку і, як один із наслідків, швидкий знос витратних матеріалів.

Лазерне різання дозволяє отримати деталь складного контуру. Недолік лазерної технології – її вартість [2], та наявність зони термічного впливу при обробці вуглецевих сталей. Нові технологічні рішення та збільшення об'ємів випуску продукції поступово знижують вартість одиниці потужності лазера, проте, для багатьох областей лазер порівняно з альтернативними технологіями все ще залишається занадто дорогим, навіть в тих випадках коли його застосування може забезпечити кращу якість. Враховуючи високу вартість лазерів, їх вигідно застосовувати в тих випадках, коли складно чи неможливо застосувати звичайні технології.

Електроіскрова обробка дозволяє уникнути вищезазначених недоліків плазмового та лазерного різання, але відрізняється низькою продуктивністю. Спосіб РОД порівняно з електроіскровою обробкою забезпечує значно більш високу продуктивність (в 5...10 разів і більше) та менші питомі витрати електроенергії (приблизно вдвічі) [3].

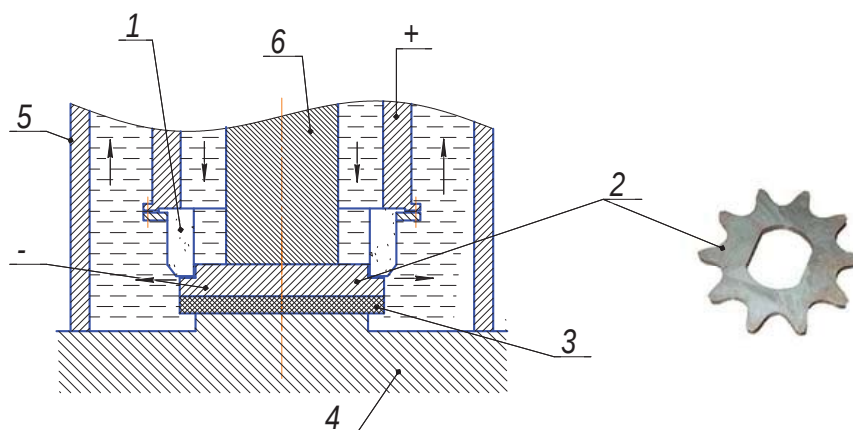
Отже, згідно зазначеного РОД є найбільш ефективним способом обробки складних за зовнішнім контуром деталей [4].

Постановка завдання – підвищення технологічних можливостей процесу РОД складних за зовнішнім контуром деталей.

Поставлена задача реалізується шляхом:

- обґрунтування технологічної схеми формоутворення деталей «Зірочка» способом РОД;
- розробка та аналіз математичних моделей, що обумовлюють технологічні характеристики продуктивності обробки, шорсткості обробленої поверхні, відносного лінійного зносу та бічного міжелектродного зазору;

Виклад основного матеріалу. При РОД складних за зовнішнім контуром деталей реалізують технологічну схему формоутворення при прямому прокачуванні робочої рідини (рис.1) через тонкостінний електрод-інструмент (ЕІ) 1 (рис. 2), стінки якого витримують внутрішній тиск робочої рідини і дозволяють руйнувати мінімальну кількість металу при формоутворенні зовнішнього контуру. Для зменшення впливу довгих дуг під заготовку 2 підкладено гумову підкладку 3, що забезпечує якісний вихід електрода та збереже швидкість потоку при виході ЕІ із заготовки. Заготовка разом з гумовою підкладкою утримується гідравлічним притискачем 6, який працює від робочої рідини, що надходить в верхню камеру електродотримача і надалі направляється в зону обробки.



1 – ЕІ; 2 – деталь «Зірочка»; 3 – гумова підкладка; 4 – підкладна плита; 5 – гідрокамера;
6 – гідравлічний притискач

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення при прямому прокачуванні робочої рідини

Джерело: розроблено автором

При РОД складних за зовнішнім контуром деталей, наприклад «зірочка», необхідно забезпечити рівномірну течію робочої рідини по контуру обробки, оскільки саме гідромеханічні характеристики визначають якість обробки.

В зв'язку з цим, приймаємо до уваги, що енергетичні характеристики дуги в умовах РОД, а отже і технологічні характеристики процесу регулюються легко, плавно і в широкому діапазоні за рахунок зміни динамічного тиску потоку та струму обробки. При цьому фізична модель процесу РОД описується простим співвідношенням:

$$y = k I^a P d^b, \quad (1)$$

де y – будь-який технологічний показник (характеристика) процесу, наприклад, продуктивність, шорсткість, глибина зони термічного впливу і інше;

k – коефіцієнт розмірності;

I – сила струму, А, приймається в межах від декількох ампер до декількох тисяч ампер, визначає продуктивність обробки і таким чином, по суті, відображає кількісну сторону процесу;

Pd – динамічний тиск потоку, Па, вибирається в межах від 1...2 кПа до 1 МПа і більше, визначає якісну обробку (шорсткість, глибину зони термічного впливу, точність) і таким чином, по суті, відображає якісну сторону процесу;

a і b – показники степені, різноманітні для різних технологічних характеристик:

Як наслідок, в умовах РОД, з однієї сторони можна ввести в зону обробки, практично, будь які потужності, від найменших до найбільших, а отже забезпечити будь-яку потрібну продуктивність, а, з іншого боку, можливо реалізувати обробку в самому широкому діапазоні режимів, від розмірного плавлення і аж до тонкого розмірного випаровування при відповідній зміні якості обробки і це незалежно від сили струму. І досягається це мобільно, в потрібний час, і потрібному місці простим регулюванням I і Pd . Таким чином, в умовах РОД динамічний тиск потоку робочої рідини в міжелектродному зазорі визначає енергетичні характеристики дуги, а отже, і технологічні характеристики процесу.

За зазначених умов необхідно забезпечити оптимальні умови течії робочої рідини в зоні обробки, а отже відповідний гідродинамічний опір течії по всій торцевій робочій поверхні ЕІ. Для цього на вході в міжелектродний зазор забезпечують рівномірну течію робочої рідини в звужуючу щілину за рахунок нахилу внутрішньої стінки ЕІ в межах $\alpha = 0,5...1^\circ$ (рис.2), а від нього по робочій торцевій поверхні передбачають робочий поясок (еквідистанту) в межах 3...5 мм. Окрім того, від робочого пояса в напрямку периферії ЕІ передбачають нахил $\beta = 3...5^\circ$, який сприяє руйнуванню відходу за рахунок плавлення видовженими дугами, що зменшує енергоємність процесу ерозії.

Як наслідок, зазначена конструкція ЕІ забезпечує оптимальні характеристики процесу, а саме: продуктивність обробки M [мм³/хв], шорсткість обробленої поверхні Ra [мкм], відносний лінійний знос ЕІ γ [%] та бічний міжелектродний зазор δ мм, що доведено експериментальними дослідженнями. Останні виконувались з застосуванням програмного пакету STATISTICA 6.0, зокрема модулів математичних методів планування експерименту. На підставі апріорної інформації було вибрано фактори, що визначають режими обробки (сила технологічного струму $I = 50...400$, А, статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор $P_{cm} = 0,8...1,6$, МПа та напруги на електродах $U = 28...32$, В. Усі вибрані фактори задовольняють умовам керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні. В якості робочої рідини використовувалося органічне середовище – масло «Індустріальне 1-20А» – 50 % та гас освітлювальний – 50 %, полярність обробки – зворотня, матеріал ЕІ електроерозійний графіт марки МПГ – 7. Експерименти виконувались на електроерозійному копіювально-прошивному верстаті моделі «Дуга-8Г».

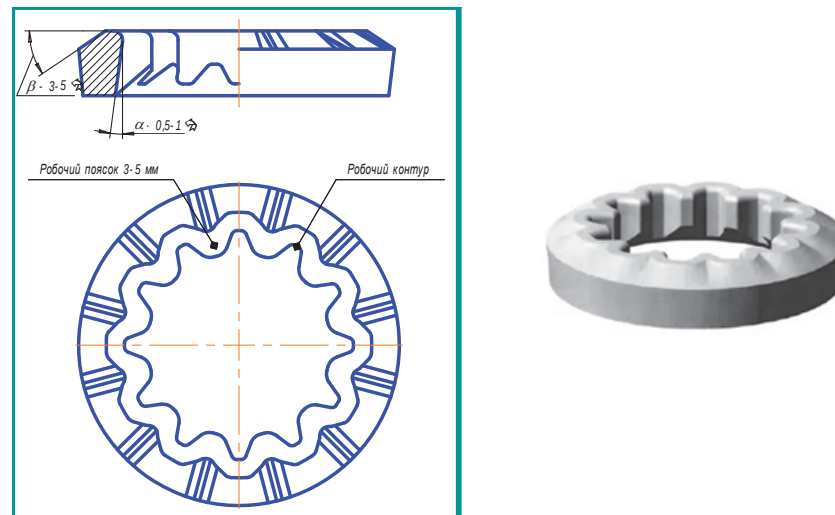
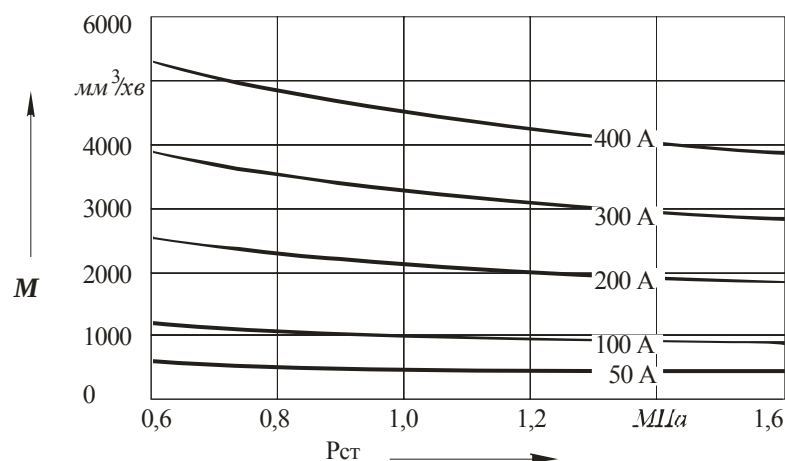


Рисунок 2 – Електрод-інструмент для обробки зовнішнього контуру

Джерело: розроблено автором

На рис. 3 показано залежність продуктивності M від сили технологічного струму I та статичного тиску $P_{ст}$, що визначається за формулою, $\text{мм}^3/\text{хв}$:

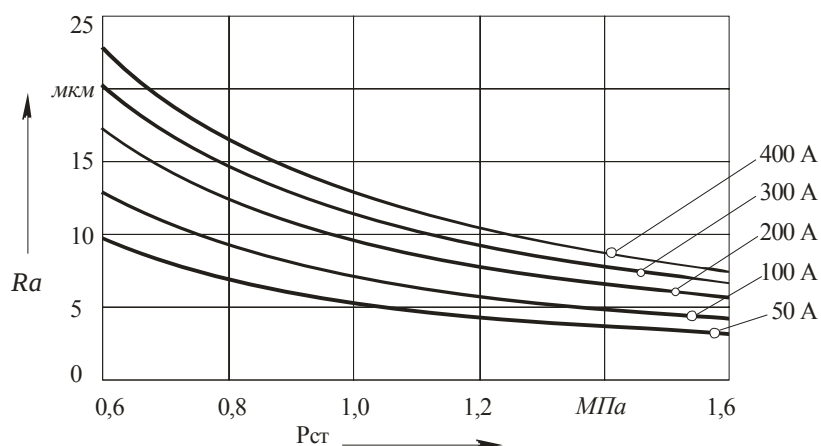
$$M = 7,41 I^{1,07} P_{ст}^{-0,32} \quad (2)$$

Рисунок 3 – Залежність продуктивності M від I та $P_{ст}$.*Джерело: розроблено автором*

Отримана залежність дозволяє зробити висновок, що на продуктивність обробки M найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а статичний тиск $P_{ст}$ суттєвого впливу не створює.

На рис. 4 показано залежність шорсткості обробленої поверхні R_a від I та $P_{ст}$, що визначається за формулою, мкм :

$$Ra = 1,08 I^{0,41} P_{ст}^{-1,12} \quad (3)$$

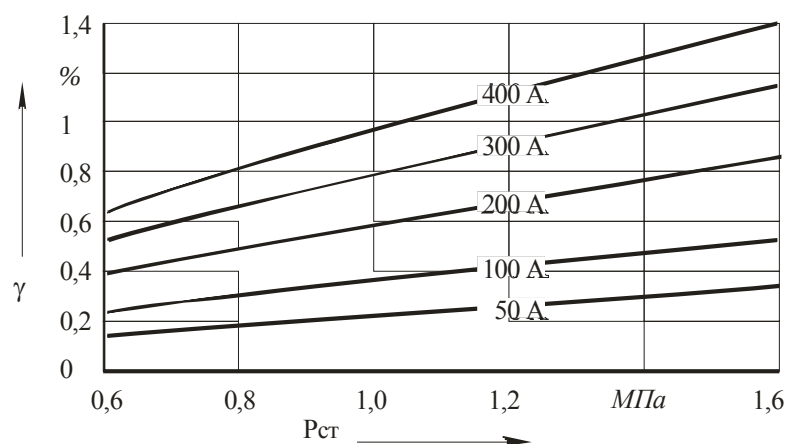
Рисунок 4 – Залежність шорсткості обробленої поверхні Ra від I та $P_{ст}$

Джерело: розроблено автором

Отже, факторами, що впливають на шорсткість обробленої поверхні – сила технологічного струму I та статичний тиск $P_{ст}$ і тому їх слід визнати головними, керуючими.

На рис. 5 показано залежність відносного лінійного зносу $EI \gamma$ від I та $P_{ст}$, що визначається за формулою, %:

$$\gamma = 0,001 I^{1,26} P_{ст}^{0,53}. \quad (4)$$

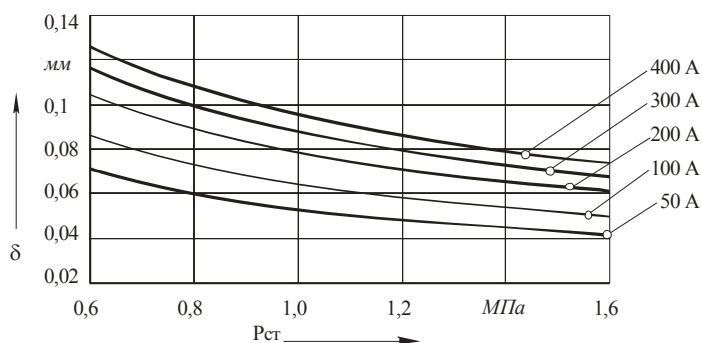
Рисунок 5 - Залежність відносного лінійного зносу $EI \gamma$ від I та $P_{ст}$

Джерело: розроблено автором

Отже, знос EI збільшується зі збільшенням сили струму I та статичного тиску $P_{ст}$. Побудову профілю робочої поверхні EI виконують згідно технологічних схем формоутворення, режимів обробки та схеми утворення міжелектродних зазорів. Розрахунок розмірів EI з врахуванням міжелектродного зазору, шорсткості поверхні виконують згідно існуючих методик. При обробці внутрішніх і зовнішніх контурів листових деталей важливою є величина бічного міжелектродного зазору.

На рис. 6 показано залежність величини міжелектродного зазору δ від I та $P_{ст}$, що визначається за формулою, мм:

$$\delta = 0,02 I^{0,29} P_{ст}^{-0,59}. \quad (5)$$

Рисунок 6 – Залежність міжелектродного зазору δ від I та $P_{ст}$

Джерело: розроблено автором

Отже, факторами, що впливають на величину міжелектродного зазору – сила технологічного струму I та статичний тиск $P_{ст}$ і тому їх слід визнати головними, керуючими.

Висновки. РОД є найбільш ефективним із відомих способів обробки складних за зовнішнім контуром деталей і реалізує технологічну схему формоутворення при прямому прокачуванні робочої рідини через ЕІ, геометрію робочої кромки якого будують за такими параметрами: для цього на вході в міжелектродний зазор забезпечують рівномірну течію робочої рідини в звужуючу щілину за рахунок нахилу внутрішньої стінки ЕІ в межах $\alpha - 0,5...1^\circ$, а від нього по робочій торцевій поверхні передбачають робочий пояс (еквідистанту) в межах 3...5 мм. Окрім того від робочого пояса в напрямку периферії ЕІ передбачають нахил $\beta - 3...5^\circ$, що забезпечує рівномірну течію робочої рідини в міжелектродному зазорі та відповідну якість обробленої поверхні.

Список літератури

1. Коваленко В. С. Электрофизические и электрохимические методы обработки металлов [Текст] / В. С. Коваленко. – М.: Вища школа, 1985. – 236 с.
2. Подураев В. Н. Технология физико-химических методов обработки [Текст] / Подураев В. Н. Камалов В.С. – М.: «Машиностроение», 1985. – 264 с.
3. Электроимпульсная обработка металлов [Текст] / [Лившиц А. Л., Кравец Л. Т., Рогачев И. С., Сосенко А. Б.]. - М.: «Машиностроение», 1967. – 294 с.
4. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В.И. Носуленко // Электронная обработка материалов – 2005. - №1. – С. 8 - 17

Viktor Nosulenko, Prof., DSc., Vitaly Yuriev, post-graduate

Kirovohrad National Technical University, Kirovohrad, Ukraine

Dimensional processing electric arc complex at the external contour of the parts

Purpose – to increase the technological capabilities of the process dimensional processing electric arc of difficult at the external contour of the parts.

The work presents the described method and the electrode-tool for machining complex at the external contour of the parts in the implementation of the technological scheme of formation by direct pumping of the working fluid. The results of experimental research of the technological characteristics of the process of dimensional processing electric arc such as: the processing performance $M \text{ mm}^3/\text{min}$, the roughness of the processed surface $Ra \text{ } \mu\text{m}$, the relative linear wear of the electrode tool of $\gamma \%$ and the side electrode gap $\delta \text{ mm}$.

Dimensional processing electric arc is the most effective of the known methods of processing complex at the external contour of parts and implements technological scheme of formation by direct pumping of the working fluid through the electrode-tool geometry of the working edge of which is built on the following parameters: inlet electrode gap provide uniform within the working fluid in the gap due to the inclination of the inner wall of the electrode tool within the $\alpha - 0,5...1^\circ$, and from it on the working end surface provide a work belt (equation) within 3...5 mm. In addition to the working zone in the circumferential direction of the electrode-tool include the inclination $\beta - 3...5^\circ$ that the steady flow of the working fluid in the electrode gap and the corresponding quality of the processed surface.

electric arc, ROD, complex contour, billet, forming

Одержано 22.09.15