

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 621.9.048.4

В.М. Боков, проф., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна**E-mail: bokov_vm@mail.ru*

Електродугове різання металів бідротовим електродом-інструментом

Запропоновано та досліджено високопродуктивний спосіб електродугового різання металів бідротовим електродом-інструментами. Розроблено концепцію проектування експериментального верстата, що реалізує даний спосіб різання.

електрична дуга, гідродинамічний режим, бідротовий електрод-інструмент, технологічна схема формоутворення, верстат для різання

В. М. Боков, проф., канд. техн. наук*Центральноукраїнський національний технічний університет, г.Кропивницький, Україна***Электродуговое резание металлов бипроволочным электродом-инструментом**

Предложен и исследован высокопроизводительный способ электродугового резания металлов бипроволочным электродом-инструментом. Разработано концепцию проектирования экспериментального станка, который реализует данный способ резания.

электрическая дуга, гидродинамический режим, бипроволочный электрод-инструмент, технологическая схема формообразования, станок для резания

Актуальність. В сучасному машинобудуванні для різання важкооброблюваних матеріалів застосовуються такі електрофізикохімічні методи, як електроіскрове різання дротовим електродом-інструментом, електрохімічне, анодно-механічне, електроконтактне, плазмове та лазерне різання. Кожен із цих методів володіє певними перевагами та недоліками, які обумовлюють їх раціональну область використання. В більшості випадків продуктивність процесу різання є визначальною при виборі того чи іншого способу різання.

За роботами [1, 2] відомий високопродуктивний спосіб розмірної обробки металів електричною дугою.

Однак, даний спосіб не знайшов застосування для ефективного різання металів. Головна причина – відсутність оптимальної технологічної схеми формоутворення різку, при якій певним чином компенсується електроерозійний знос електрода-інструмента.

В роботі запропоновано спосіб електродугового різання, який включає в себе нову технологічну схему формоутворення різку з компенсацією зносу електрода-інструмента шляхом паралельного протягування в робочій зоні двох дротів [3]. Тому, розробка нового високопродуктивного способу електродугового різання важкооброблюваних матеріалів бідротовим електродом-інструментом та розробка концепції верстата для його реалізації, є актуальною задачею.

Мета дослідження – розробка способу різання металів електричною дугою з компенсацією зносу електрода-інструмента, а також концепції проектування, створення та випробування експериментального верстата для електродугового різання бідротовим електродом-інструментом.

Поставлена мета реалізується шляхом вирішення наступних задач: обґрунтувати технологічну схему формоутворення різі; розробити концепцію проектування експериментального верстата для електродугового різання металів бідровим електродом-інструментом; виконати технологічні випробування верстата.

Методика дослідження включає в себе аналіз та порівняння елементів відомої технологічної схеми формоутворення різі зі схемою, що пропонується.

Виклад основного матеріалу. В новому способі електродугового різання металів, що пропонується, використовується нова технологічна схема формоутворення різі (рис. 1), в якій електричну дугу 1 збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини 2 між електродом-заготовкою 3 та складеним електродом-інструментом, який включає в себе два паралельні дроти 4, 5, що протягують по випуклій поверхні електродотримача 6.

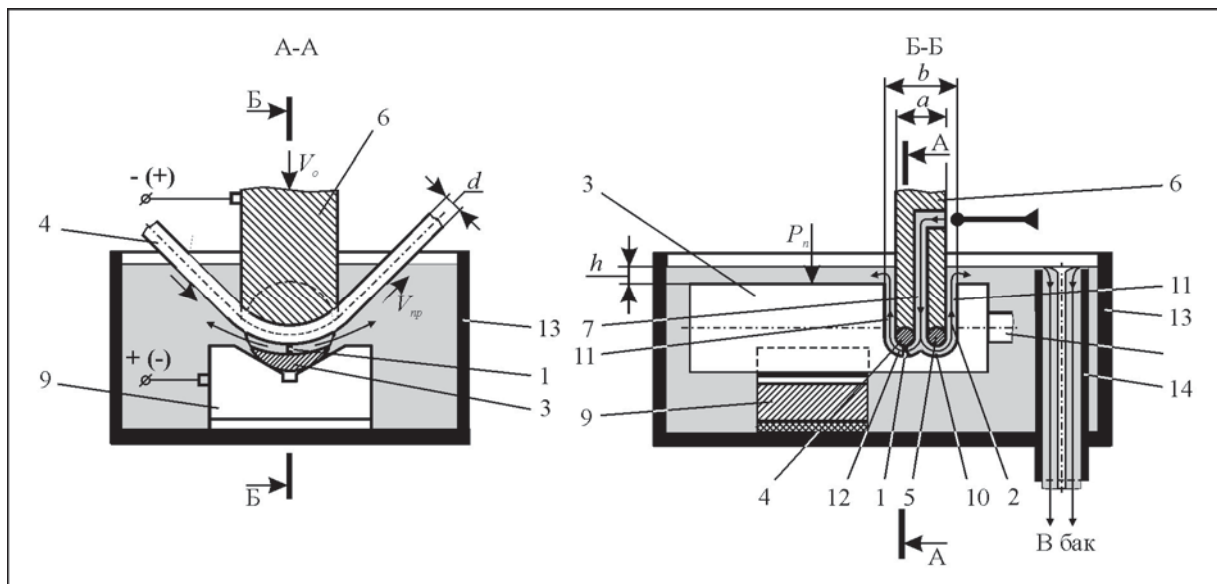


Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення різі

Джерело: розроблено автором

Робочу рідину нагнітають в зону різання під технологічним тиском крізь електродотримач 6 в щілину 7 між дротами 4, 5, ширина якої (c) менша або дорівнює двом торцевим міжелектродним зазорам (δ_m). Ширину майстра-електрода 6 (a) вибирають із умови $a \leq 2d + c = 2(d + \delta_m)$, де d – діаметр дроту. Перед початком процесу електрод-заготовку 3 встановлюють до упору 8 та нерухомо закріплюють відносно тримача 9. Це дозволяє відрізати декілька однакових деталей довжиною L . Далі вмикають джерело живлення постійним технологічним струмом, систему подачі робочої рідини в зону різання та ведуть різання електрода-заготовки 3 електричною дугою 1, що горить в потужному гідродинамічному потоці робочої рідини. Продукти ерозії вилучаються із торцевого 10 та бічного 11 міжелектродних зазорів потоком робочої рідини. Подача V_0 електродотримача 6 з дротами в напрямку розрізування здійснюється з використанням автоматичного регулятора міжелектродного проміжку. Завдяки оптимальній відстані c між дротами технологічний виступ між дротами не утворюється. В той же час, завдяки протягуванню дротів, точність різання зростає, а витрати на бід ротовий електрод-інструмент мінімізуються.

Концепція проектування експериментального верстата для електродугового різання металів бідровим електродом-інструментом включає в себе:

- забезпечення оптимальних умов процесу в зоні різання;
- забезпечення протягування та натягу дротів;
- забезпечення регулювання швидкості протягування дротів;
- забезпечення моніторингу глибини різання;
- забезпечення мінімальної деформації тонкостінних електродотримачів від тиску робочої рідини в зоні різання.

Забезпечення оптимальних умов процесу в зоні різання. Режим електродугового різання задається наступними факторами: силою струму I , А; напругою на електродах U , В; статичним тиском робочої рідини на вході в міжелектродний зазор $P_{ст}$, МПа; швидкістю протягування двох паралельних дротів в зоні різання V_n , м/хв.

Оскільки продуктивність різання приблизно прямо пропорційна силі струму, з метою забезпечення максимально можливої продуктивності різання, сила струму I , при якій здійснюється процес різання на експериментальному верстаті, повинна бути як можна більша.

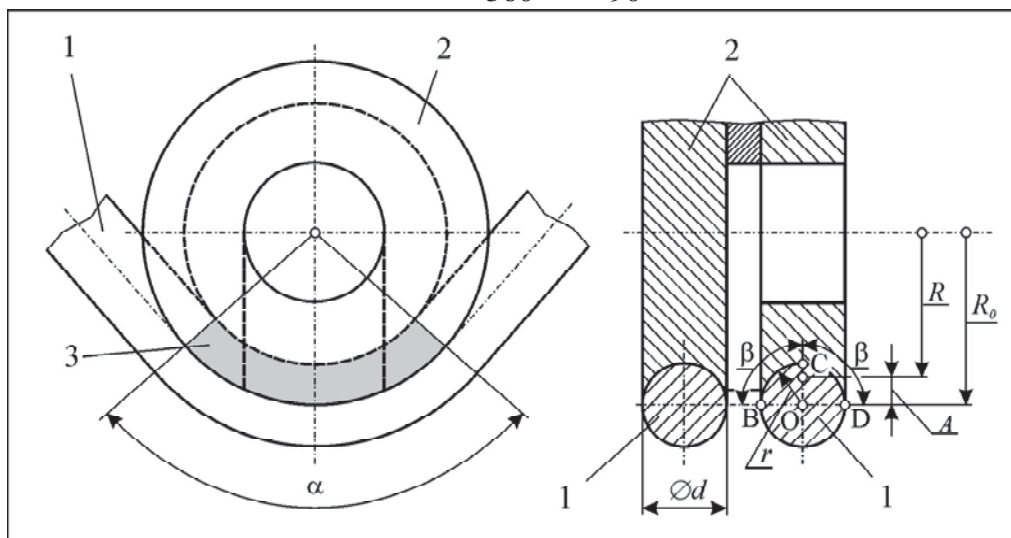
Якщо вважати, що площа, через яку тече електричний струм, визначається двома площами перерізу дрових електродів-інструментів діаметром $d = 0,8$ мм кожний, то допустима сила струму $I_{дон}$, яка не викликає нагрівання та обрив дротів, визначиться за формулою (1):

$$I_{дон} = 2F \cdot j = \frac{2\pi d^2 \cdot 10}{4} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2}{4} = 10 \text{ А}, \quad (1)$$

де j – допустима густина струму в перерізі дрових електродів-інструментів. На підставі експериментальних даних для сталевोї пари ЕІ – ЕЗ допустима густина струму складає 10 А/мм^2 .

Однак, в умовах прийнятої технологічної схеми формоутворення (рис. 1) площа контакту двох дротів з електродотримачами, через яку тече електричний струм, значно більша і являє собою частину поверхні тору (рис. 2). Її можна визначити за формулою (2)

$$F = 2\pi r \cdot \frac{2\pi R\alpha}{360} = \frac{\pi^2 r R\alpha}{90}, \quad (2)$$



1 – дріт; 2 – електродотримач; 3 – площа контакту (частина поверхні тору)

Рисунок 2 – До розрахунку площі контакту двох дротів з електродотримачем

Джерело: розроблено автором

де r – радіус поперечного перерізу дроту. $r = 0,4$ мм;

R – радіус, що проходить через центр тяжіння дуги BCD поверхні тору

$$R = R_0 - A = R_0 - (k \cdot r \cdot \sin\beta),$$

A – відстань від центра дуги BCD до центра тяжіння дуги BCD;

k – коефіцієнт, що визначається за формулою

$$k = \frac{57,5}{\beta};$$

β – половина центрального кута дуги BCD. $\beta=90^\circ$;

α – централь

ний кут дуги BCD. $\alpha = 106^\circ$ (задається конструктивно).

Тоді:

$$R = 30,4 - \left(\frac{57,5}{90} \cdot 0,4 \cdot \sin 90\right) = 30,14 \text{ мм};$$

$$F = \frac{3,14^2 \cdot 0,4 \cdot 30,14 \cdot 106}{90} = 140 \text{ мм}^2.$$

Однак, реальна площа контакту дротів з електродотримачами у місці ковзання F_δ значно менша і пов'язана із точністю виготовлення фігурної контактної поверхні електродотримача. Вона ураховується коефіцієнтом зменшення поверхні контакту ε . Якщо прийняти $\varepsilon = 0,1$, то величину F_δ можна підрахувати за формулою (3)

$$F_\delta = \varepsilon F = 0,1 \cdot 140 = 14 \text{ мм}^2. \quad (3)$$

Тоді реальна допустима сила струму, яка не викликає нагрівання та обрив дротів, визначиться за формулою (4)

$$I_{\text{дон.}(p)} = F \cdot j = 14 \cdot 10 = 140 \text{ А}. \quad (4)$$

На експериментальному верстаті для електродугового різання металів дротом електродом-інструментом напруга на електродах визначається джерелом живлення технологічним струмом. Для зварювального випрямляча ВДУ504, що застосовується, робоча напруга на електродах змінюється в межах від 25 до 35 В.

В якості робочої рідини використовується технічна вода, яка може бути підведена до верстату у двох варіантах:

- від водопровідної мережі. Тоді статичний тиск її становить 0,33 МПа. Це не потребує використання станції робочої рідини, Але при застосуванні підвищеної сили струму процес різання відрізняється нестабільністю та низькою якістю різки. Пояснюється дане явище недостатнім динамічним тиском робочої рідини на дугу, внаслідок чого енергетичні параметри електричної дуги дуже низькі;

- від станції робочої рідини, що включає в себе бак, насосну установку, систему керування та контролю тиску. Станція дозволяє регулювати статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор у межах від 0,4 до 1,0 МПа. Це дозволяє вести процес електродугового різання з використанням технологічних струмів підвищеної сили і тим самим забезпечити підвищену продуктивність обробки.

Протягування дротів 4, 5 здійснюють при умові, коли тороподібні поверхні контакту майстра-електрода 6 збігаються з тороподібними поверхнями дротів. При цьому площа контакту кожного дроту з майстер-електродом 6 є максимальною, що дозволяє суттєво підвищити силу технологічного струму, і тим самим продуктивність процесу різання. А потужне прокачування робочої рідини в міжелектродному зазорі 12 дозволяє ефективно стиснути дугу 1 і тим самим підвищити якість поверхонь розділення.

Процес здійснюють при зануренні електрод-заготовку 3 в робочу рідину на глибину $h \geq 5$ мм в ванну 13. Останнє дозволяє виключити можливість розбризкування робочої рідини за межі зони обробки та можливість попадання її на оператора. Ванна 13 постачається трубою переливу 14, що забезпечує вказаний вище рівень занурення.

Використання даної технологічної схеми формоутворення різку, порівняно з відомими, дозволяє: зменшити ширину різку до 2 мм; зменшити витрати на інструмент; розрізати заготовки будь-якої початкової довжини; покращити умови роботи за рахунок виключення можливості попадання робочої рідини в струминному режимі течії на оператора; забезпечити надійну пожежну безпеку при реалізації процесу.

Забезпечення протягування та натягу двох дротів. Для забезпечення найбільш можливої продуктивності електродугового різання дротовими електродами-інструментами, як було показано вище, необхідно вести процес на як можна більшій силі струму, що вибирається із умови забезпечення густини струму до 10 А/мм^2 . Дана умова передбачає ведення процесу різання при максимально можливій площі контакту кожного із двох дротів з електродотримачем.

Оскільки використовуються дроти круглого перерізу, то максимальна площа їх контакту з електродотримачами досягається, коли поверхня електродотримача являє собою частину тору з радіусом, що співпадає з радіусом перерізу дроту. Це, крім того, задає напрямок руху та забезпечує можливість протягування дротів в зоні різання.

Однак, певне технічне утруднення виникає при виготовленні електродотримача з такою фасонною поверхнею способом різання, у зв'язку з малою його жорсткістю.

Технологія виготовлення електродотримача, що пропонується, передбачає:

- виконання електродотримача для експериментального верстату у вигляді диску діаметром 60 мм та товщиною, що збігається з діаметром дроту ($s = d = 0,8$ мм);
- виготовлення заготовки для електродотримача із листової сталі, зокрема із сталі 20 (рис. 3), із збільшеним зовнішнім діаметром та збільшеною товщиною, тобто з припуском на подальшу обробку. В заготовці передбачається точний центральний отвір для подальшого базування та потрібні отвори для складання (останні на рис. 3 не показано);

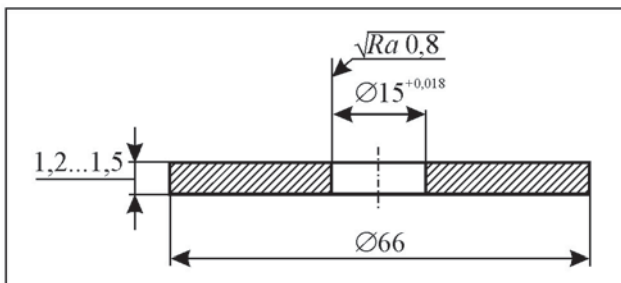
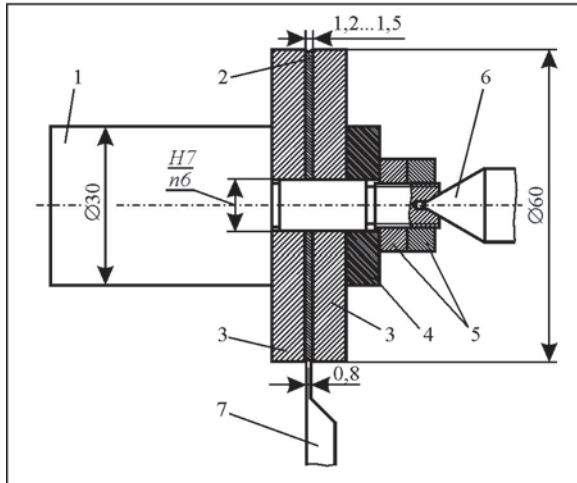


Рисунок 3 – Заготовка для виготовлення електродотримача
Джерело: розроблено автором

- токарну обробку робочої частини електродотримача 2 на оправці 1 (рис. 4). Для чого щільно (с натягом) встановлюють заготовку електродотримача 2 між двома напрямними шайбами 3 та притискають її через притискну шайбу 4 двома гайками 5. Лівий бік оправки 1 затискають в трикулачковому патроні, а правий – підпирають

центром 6, що обертається, для підвищення точності обробки. Напрямні шайби 3 виготовляються із кольорового сплаву, наприклад із латуні Л63, для того, щоб було видно тонку заготовку. Спочатку прохідним різцем проточують зовнішній діаметр заготовки електротримача 2 разом з напрямними шайбами (з розміру $\varnothing 66$ мм на розмір $\varnothing 60$ мм). Далі ведуть обробку поверхні тору різцем 7, фігурна частина якого виготовлена методом шліфування на вертикальному оптико-шліфувальному верстаті;



- 1 – оправка;
- 2 – електродотримач;
- 3 – напрямні шайби;
- 4 – шайба притискна;
- 5 – гайки;
- 6 – конус задньої бабки верстата;
- 7 – фігурний різець

Рисунок 4 – Налаштування до токарного верстата для обробки поверхні тору на електротримачі
Джерело: розроблено автором

- компенсування нецентрального розташування поверхні тору відносно товщини заготовки шляхом шліфування на плоскошліфувальному верстаті за попередньо виконаними вимірюваннями на інструментальному мікроскопі. Доведення товщини диску до 0,8-0,05 мм.

Механізм перемотування та натягу дротів включає в себе (рис. 5):

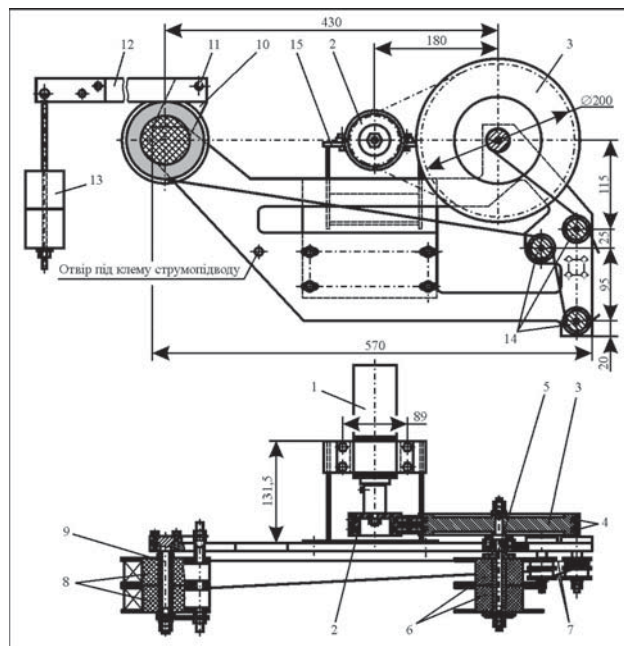


Рисунок 5 – Механізм перемотування та натягу дротів
Джерело: розроблено автором

- електродвигун 1 постійного струму потужністю 0,2 кВт з вбудованим редуктором;

- клиноремінну передачу, яка складається із малого шківів 2, великого шківів 3 та двох клинових ременів 4;

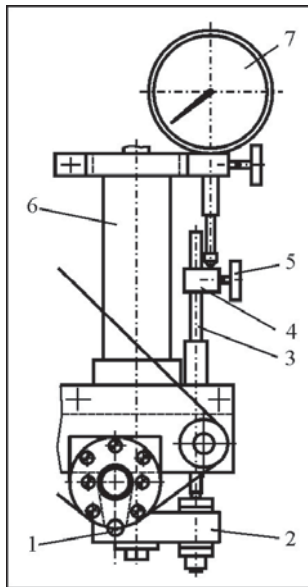
- вал 5, що передає обертальний момент на дві котушки 6 для накопичення відпрацьованого дроту 7;

- пристрій для розмотування дротів з котушок 8, що включає в себе вісь 9;

- пристрій для натягу дротів, що складається із тримача 10, вісі 11 двох дерев'яних планок 12 та двох вантажів 13, які підбираються за масою так, щоб оказувати певний опір розмотуванню дротів з котушок 8;

- комплект роликів 14 для зміни напрямку протягування дротів;
- підставку 15 для кріплення електродвигуна 1 та натягу ременів 4.

Забезпечення регулювання швидкості протягування дротів. В експериментальному верстаті для електродугового різання дротовими електродами-інструментами перемотування дротів здійснюється електродвигуном постійного струму з збудованим редуктором (див. рис. 5). Крім того, після редуктора встановлено клиноремінну передачу, яка володіє передаточним відношенням $i = 3,17$, що ще зменшує кількість обертів. Вибрана кінематична схема дозволяє за рахунок зміни числа обертів в хвилину електродвигуна регулювати лінійну швидкість протягування дротів в діапазоні від 20 мм/с до 35 мм/с.



Забезпечення моніторингу глибини різання. Оператору, що працює на експериментальному верстаті для електродугового різання дротовими електродами-інструментами, в кожний момент часу необхідна інформація про текучу глибину різання. Дана інформація потрібна для оперативного керування процесом різання, а також для оперативного виміру лінійної швидкості різання.

В процесі різання заготовка рухається вгору, а дріт не рухається вгору, але протягується відносно електродотримача. Тому доцільно кінематично зв'язати вертикальне переміщення заготовки з приладом точного виміру лінійного переміщення – індикатором годинникового типу ИЧ-25.

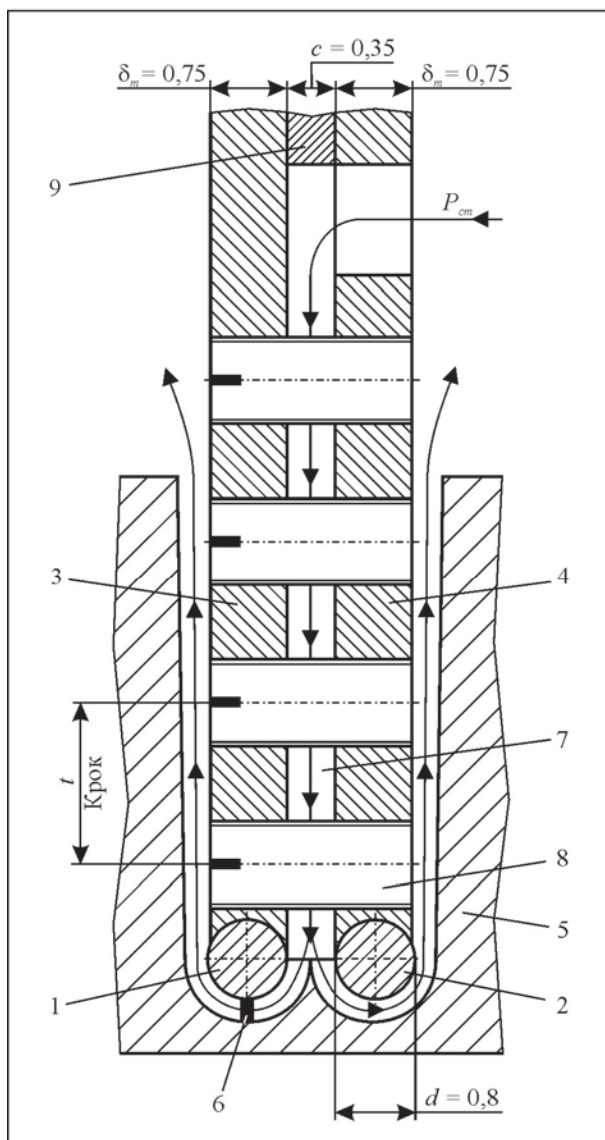
Рисунок 6 – Пристрій для моніторингу глибини різання
Джерело: розробка автора

На рис. 6 показано пристрій контролю глибини різання до експериментального верстата для електродугового різання дротовими електродами-інструментами. Лінійний вертикальний рух заготовки 1 передається через тримач 2 та вертикальну стійку 3 на планку 4. Планка має установочне переміщення за вертикаллю та кріпиться до стійки 3 гвинтом 5. У верхній частині верстату нерухомо відносно гідроциліндра 6 закріплено індикатор 7 так, що його рухома частина, яка кінематично пов'язана із стрілкою індикатора, впирається у планку 4. Індикатор 7 дозволяє з точністю 0,01 мм контролювати глибину різання та характеризує якість роботи системи керування торцевим міжелектродним зазором в процесі різання за діапазоном коливання його стрілки.

Забезпечення мінімальної деформації тонкостінних електродотримачів від тиску робочої рідини в зоні різання. Зона різання експериментального верстата, що пропонується, суттєво відрізняється від зон різання будь-якого відомого верстата наявністю тонкостінних електродотримачів, що працюють під тиском робочої рідини. Товщина стінки такого електродотримача, як показано вище, залежить від діаметра дроту, якій протягується по ньому. Так, для діаметра дроту d , що дорівнює 0,8 мм, товщина стінки електродотримача δ_m складає 0,75 мм.

В умовах різання на експериментальному верстаті тонкостінний електродотримач під дією статичного тиску робочої рідини працює як балка на двох опорах. Тому, чим менша відстань між опорами, тим менше прогин. Наявність прогину, що

перевищує 0,05 мм, не бажаний, так як це приводить до зменшення бічного міжелектродного зазору, що сприяє горінню електричної дуги в бічному зазорі та руйнуванню стінки електродотримача.



Для зменшення величини прогину пропонується суттєво зменшити відстань t між опорами за рахунок встановлення між електродотримачами системи стяжних гвинтів (сітки штучних опор), причому вертикальний та горизонтальний кроки повинні бути рівними та вибрані із умови $t = (10 \dots 15) d$.

Так, для умов експериментального верстата приймається відстань $t = 12$ мм, а діаметри стяжних гвинтів – M2×0,4 (рис. 7).

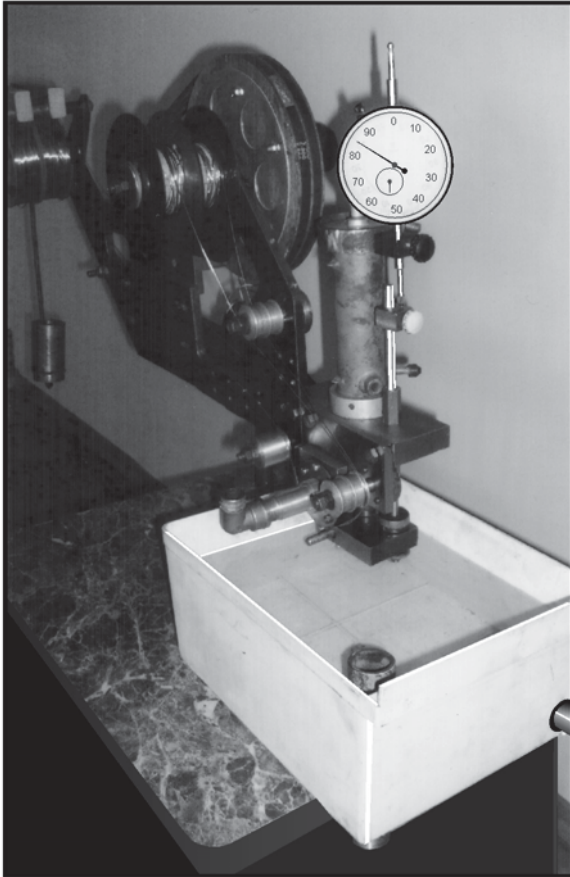
- 1 – дріт лівий;
- 2 – дріт правий;
- 3 – електродотримач лівий;
- 4 – електродотримач правий;
- 5 – електрод-заготовка;
- 6 – електрична дуга;
- 7 – щілиноподібний канал;
- 8 – стяжний гвинт;
- 9 – дистанційна пластина

Рисунок 7 – Робоча зона різання

Джерело: розробка автора

З метою забезпечення гідроізоляції зони різання, а також можливості роботи верстата на підвищеній силі струму, гвинти встановлюються на електропровідному клею. Доцільно для поліпшення складання вузла довжину гвинтів брати на 2...4 мм більше відстані між зовнішніми поверхнями електродотримачів, а після висихання клею шліфувати дані поверхні до моменту зникнення їх виступаючої частини.

Експериментальний верстат «Ніж-1». З урахуванням викладеної вище концепції проектування спроектовано та виготовлено експериментальний верстат «Ніж-1» для електро-дугового різання металів бідровим електродом-інструментом (рис. 8). Він являє собою установку, що складається із наступних елементів: власне, верстат; станції робочої рідини; станції гідроприводу; джерела живлення постійним технологічним струмом, зокрема зварювального випрямляча типу ВДУ-504; пульта керування. Верстат призначено для експериментальних досліджень фізико-технологічних характеристик процесу електродугового різання металів бідровим електродом-інструментом. Він реалізує новий спосіб різання металів електричною дугою [3].



Верстат (рис. 9) включає в себе раму 1 з підставкою 2, які з'єднані між собою. Підставка 2 нерухомо закріплена на стільниці 3, а стільниця закріплена на кришці 4 бака 5 станції робочої рідини.

На рамі 1 змонтовано усі основні деталі та вузли верстата:

- електродотримачі 6 з дистанційною прокладкою 7 товщиною 0,35 мм;

- рухомий стіл 8 з закріпленою заготовкою 9, що розрізається;

- механізм протягування дротів 10, який включає в себе: електродвигун 11, редуктор 12, малий шків 13, великий шків 14, клиновий ремінь 15, ролики 16, що спрямовують, котушки 17 для відпрацьованого дроту;

- гідроциліндр 18 подачі заготовки 9 (що слідкує за торцевим міжелектродним зазором);

Рисунок 8 – Експериментальний верстат моделі «Ніж-1» для електродугового різання металів бі-дротовим електродом-інструментом

Джерело: розробка автора

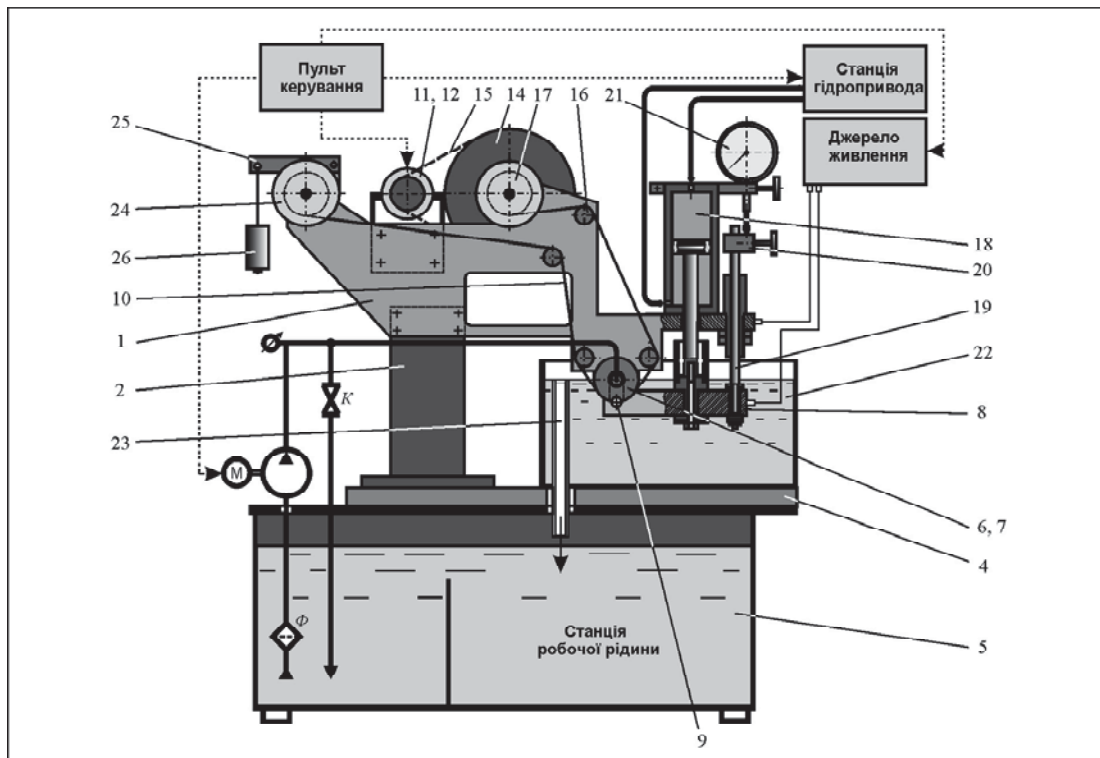


Рисунок 9 – Електрогідрокінематична схема експериментального верстата моделі «Ніж-1»

Джерело: розробка автора

- пристрій для моніторингу глибини різання, що включає в себе: вертикальну стійку 19, планку 20, що має установочне переміщення, індикатор 21 годинникового типу ИЧ-25;

- ванну 22 з робочою рідиною (водою) та з трубою переливу 23;

- механізм на тяжіння дротів, що включає в себе: дві котушки 24 з дротом, два важеля 25 та два вантажу 26, що регулюється.

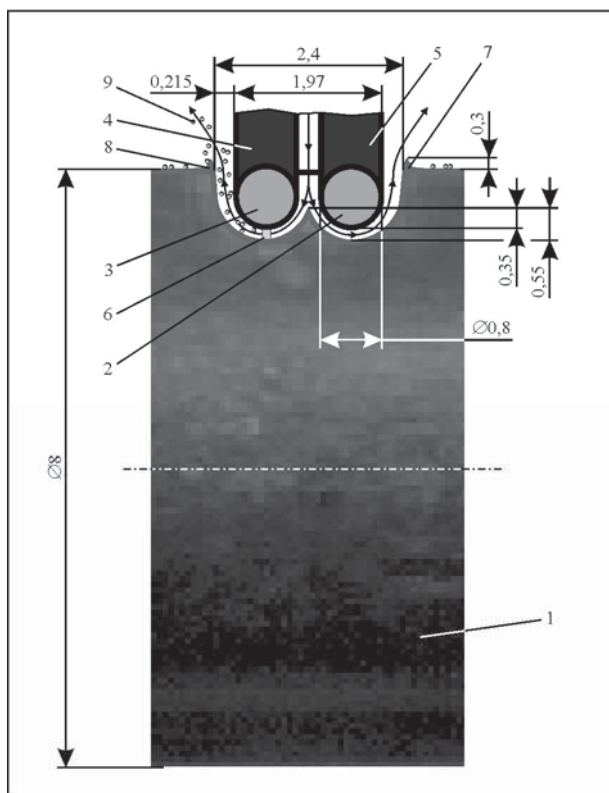
Верстат працює наступним чином. В початковому положенні рухомий стіл 6 із заготовкою 9 знаходиться у крайньому нижньому положенні.

Вмикають електродвигун насоса подачі робочої рідини (води) в робочу зону верстата – щілину між електродотримачами 6 та дротами 10. Слідкують за тим, щоб рівень робочої рідини в ванні 22 досяг верхнього краю труби переливу 23. Далі вмикають електродвигун 11 протягування дротів, електричний струм, виставляють годинниковий індикатор 21 глибини обробки на нуль та ведуть процес різання на вибраному режимі обробки.

Електрична дуга в умовах різання горить в міжелектродному торцевому зазорі між заготовкою та дротами в потужному поперечному гідродинамічному потоці робочої рідини, який стискує дугу, концентрує в ній енергію та інтенсивно вилучає продукти ерозії із зазору в ванну 22.

Протягування дротів компенсує електроерозійний знос дротових електродів-інструментів 10, завдяки чому годинниковий індикатор 21 точно відбиває глибину різання.

Технологічні випробування верстата: формування різку. Різ характеризується геометричними параметрами та формою.



На рис. 10 наведено результати дослідження геометричних параметрів та форми різку після електродугового різання дротовими електродами-інструментами сталеві заготовки діаметром 8 мм.

- 1 – заготовка, що розрізується;
- 2 – дріт правий;
- 3 – електродотримач лівий;
- 4 – електродотримач лівий;
- 5 – електродотримач правий;
- 6 – електрична дуга;
- 7, 8 – нарости із продуктів ерозії;
- 9 – продукти ерозії

Рисунок 10 – Скановане зображення заготовки в початковий момент формування різку ($\times 10$)

Режим різання:

- сила струму $I = 30$ А;
- напруга $U = 30$ В;
- статичний тиск робочої рідини

на вході потоку в міжелектродний зазор $P = 0,25$ МПа;

- робоча рідина – водопровідна вода;
- полярність – пряма (заготовка «+»);

- швидкість протягування дротів 35 мм/с.

В результаті дослідження виявлено:

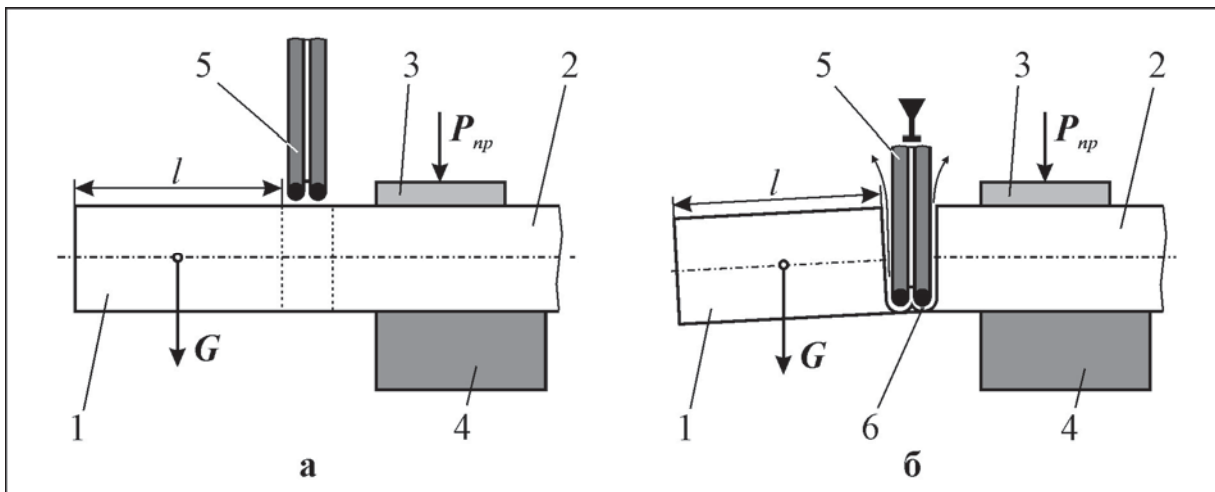
- технологічний виступ між дротами не утворюється (руйнується електричною дугою), а висота його не перевищує 0,55 мм. Це дозволяє стабілізувати процес різання за рахунок не утворення додаткових дуг між виступом та дротами і сприяє підвищенню продуктивності різання;

- міжелектродний зазор в напрямку прокачування робочої рідини зростає. Так, найменший зазор (0,185 мм) спостерігається в на переході від бічного внутрішнього до торцевого, а найбільший (0,215 мм) – в бічному зовнішньому. Дане явище обумовлено подовженням довжини електричної дуги при підвищенні концентрації продуктів ерозії в зазорі. Але абсолютна різниця між максимальним та мінімальним міжелектродними зазорами невелика та складає 0,03 мм;

- на виході із міжелектродного проміжку розжарені продукти ерозії спікаються на утворюють нарости 7, 8, висота яких не перебільшує 0,3 мм. Дані нарости легко руйнуються механічним способом (наприклад, абразивним каменем).

Відокремлення заготовки. Відокремлення відрізаної заготовки від прутка може здійснюватися в різних умовах:

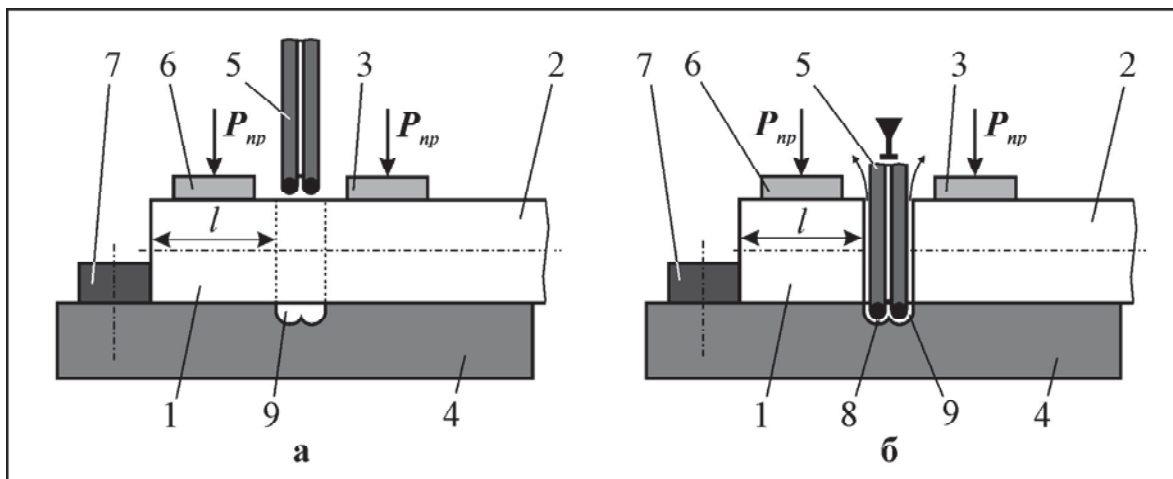
- умова 1: заготовка 1, що буде відрізана від прутка 2, консольно звисає із тримача 4, передній упор відсутній. В цьому випадку доцільно кріпити тільки пруток 2 (рис. 11, а). В момент, що передує відокремленню (рис. 11, б), утворюється тонка перемичка, і під дією тиску робочої рідини на поверхню заготовки та під дією гравітаційної сили G від маси заготовки виникає орбітальний момент, який повертає заготовку, і вона без торкання з дротовими електродами-інструментами або з електродотримачами відокремлюється. При цьому на заготовці залишається задирка від технологічного вступу, а на прутку – задирка з радіусною частиною (радіус приблизно 0,6 мм), що пов'язана з незакінченістю процесу різання. Звичайно задирки вилучаються механічним способом обробки;



а – початкова фаза; б – кінцева фаза; 1 – заготовка, що відрізується; 2 – пруток; 3 – притискач прутка; 4 – тримач; 5 – електрод-інструмент складеної конструкції; 6 – електрична дуга

Рисунок 11 – Схема відокремлення заготовки від прутка при електродуговому різанні бідровим електродом-інструментом за умовою 1

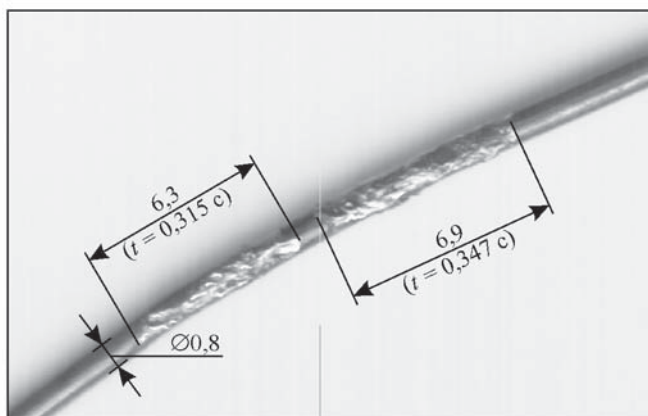
- умова 2: заготовка, що буде відрізана від прутка, встановлена за переднім упором. Така потреба виникає, якщо треба відрізати від прутка декілька однакових за довжиною заготовок. Якщо кріпити тільки пруток, то в момент відокремлення заготовка може повернутися навколо точки торкання з упором та торкнутися дротових електродів-інструментів або електродотримачів. Це може привести до дестабілізації процесу різання та обриву звичайно одного із дротів. Саме тому необхідно кріпити не тільки пруток, але й заготовку, що буде відрізана (рис. 12, а). Такий прийом забезпечує стабілізацію процесу при наскрізному виході дротових електродів-інструментів із бічного зовнішнього міжелектродного зазору та гарантує якість відрізування, тобто отримання і заготовки і прутка без утворення задирок (рис. 12, б).



а – початкова фаза; б – кінцева фаза; 1 – заготовка, що відрізується; 2 – пруток; 3 – притискач прутка; 4 – тримач; 5 – електрод-інструмент складеної конструкції; 6 – притискач заготовки; 7 – передній упор; 8 – електрична дуга; 9 – порожнина для виходу електрода-інструмента

Рисунок 12 – Схема відокремлення заготовки від прутка при електродуговому різанні бідротовим електродом-інструментом за умовою 2

Електроерозійний знос дротових електродів-інструментів. Абсолютний електроерозійний знос дротового електрода-інструмента в умовах електродугового різання (рис. 13) залежить від швидкості його протягування (перемотування) та сили технологічного струму, причому



чим менша швидкість протягування та більша сила струму, тим більший абсолютний знос. Надмірний абсолютний знос дротового електрода-інструмента може привести до його обриву.

Рисунок 13 – Характер електро-ерозійного зносу дротового електрода-інструмента після електродугового різання ($\times 10$)

За даними роботи [4 с. 235] для електроіскрового різання дрото-вим електродом-інструментом сталей та твердих сплавів рекомендується змінювати швидкість протягування дроту у межах від 8 до 20 мм/с.

У відміну від електроіскро-вого, при електродуговому різанні в якості інструмента використовується електрична дуга і процес здійснюється без пауз. Тому за даними умовами слід чекати більшу продуктивність обробки, а отже і більш інтенсивний знос дротового електрода-інструмента. Саме тому на експериментальному верстаті для електродугового різання дротовими електродами-інструментами швидкість протягування дротів більш завищена та лежить у межах від 20 до 35 мм/с.

Продуктивність різання. Продуктивність електродугового різання металів дротовими електродами-інструментами, також як і продуктивність розмірної обробки електричною дугою отворів та порожнин, визначається насамперед силою технологічного струму та пропорційна їй. Але із підвищенням сили струму глибина електроерозійної лунки (або сліду) на дроті зростає, що зменшує площу поперечного перерізу дроту. В свою чергу, протікання струму крізь меншу площу викликає нагрівання та обрив дротового електрода-інструмента.

Отже, для підвищення продуктивності різання необхідно створити такі умови процесу, при яких із підвищенням сили струму глибина лунки не зросте більш допустимої величини. Ці умови досягаються, коли підвищення сили струму буде супроводжуватися одночасним підвищенням швидкості потоку в міжелектродному зазорі, сформований таким чином більш інтенсивний гідродинамічний потік діє на дугу та стискає її. При цьому енергетичні параметри дуги зростають, а геометричні зменшуються. Таким чином, є можливим ввести в зону різання електричний струм значної сили і тим самим підвищити продуктивність різання.

З метою досягнення максимально можливої продуктивності, подальші дослідження процесу різання будуть продовжені.

Висновки. Запропоновано та досліджено високопродуктивний спосіб електродугового різання металів бідротовим електродом-інструментами, що реалізує нову технологічну схему формоутворення різку. Описано фізичний механізм різання. Розроблено концепцію проектування експериментального верстата, що реалізує даний спосіб різання. Спроектовано, виготовлено, випробувано та досліджено експериментальний верстат «Ніж-1» для електродугового різання бідротовим електродом-інструментом важкооброблюваних матеріалів.

Список літератури

1. Носуленко, В. И. Размерная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко, Н. Г. Мещеряков // Электронная обработка материалов. – 1981. – № 1. – С. 19-23.
2. Боков, В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / Віктор Боков – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
3. Спосіб різання металів електричною дугою [Текст]: пат. 102343 Україна: МПК В 23 К 9/00 / Боков В. М.; заявник та патентовласник Боков В. М. – № u201504022; заявл. 27.04.15; опубл. 26.10.15, Бюл. № 20. – 6 с.
4. Справочник по электрохимическим и электрофизическим методам обработки [Текст] / Г. Л. Амитан, И. А. Байсупов, Ю. М. Барон и др. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1988. – 719 с.

Viktor Bokov, Prof., PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Electric arc metal cutting with by-wire electrode-tool

The goal of the work is to develop a new way of electric arc metal cutting with electrode tool wear compensation and to develop a machine design concept.

In this new of electric arc metal cutting that is proposed, a new cut shaping technology scheme, in which the electric arc is excited in the hydrodynamic flow of the working fluid between an electrode-blank and a composite electrode-tool, is used. This electrode-tool includes two parallel wires, which are pulled over the convex surface of the electrode holder. The work fluid is pumped into the cutting zone under a process pressure the electrode holder and into the gap between the wires; the size of the gap is less or equal two interelectrode end

backlashes. This allows conducting the cutting process without the formation of technological protrusion between wires. Distinctive features of a new cut shaping technology scheme are reflected in a machine design concept, which ensures the following: optimal process conditions in the cutting zone, minimal cut width, maximum possible cutting performance, parallel pulling and tensioning of the two wires in the cutting zone, wire in pulling speed adjustment, cutting depth monitoring, optimum wear of the bi-wire electrode-tool.

This article proposes and examines a high performance way of electric arc metal cutting with bi-wire electrode-tool. The physical cutting mechanism is described. Machine design concept, which implements this method, is developed. Experimental machine «Knife-1» for electric arc hard materials cutting with bi-wire electrode-tool is designed, manufactured and examined.

electric arc, hydrodynamic mode, bi-wire electrode-tool, shaping technology system, cutting machine

Одержано 22.12.16

УДК 62-231:621.9.04

А.М. Кириченко, проф., д-р техн. наук, Аль Ібрахімі Метак, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

E-mail: andrew.kirichenko@gmail.com

Багатокоординатний верстат з надлишковим механізмом паралельної структури та спеціальним робочим органом

У статті досліджуються перспективи вдосконалення багатокоординатного обладнання паралельної структури з ланками змінної довжини шляхом введення надлишкових приводів. Запропоновано нову конструкцію п'ятикоординатного верстата з надлишковим механізмом паралельної структури 2R3T та спеціальним робочим органом, яка дозволяє позбавитись від особливих положень у робочому просторі та розширити діапазон кутів повороту обертальних ступенів вільності до 120° та 180° відповідно, розглянуто ряд можливих компоновок подібних верстатів.

верстат, механізм паралельної структури, надлишковість, робочий орган

А. Н. Кириченко, проф., д-р техн. наук, Аль Ібрахімі Метак, асп.

Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна

Многокоординатный станок с избыточным механизмом параллельной структуры и специальным рабочим органом

В статье исследуются перспективы усовершенствования многокоординатного оборудования параллельной структуры с звеньями переменной длины путем введения избыточных приводов. Предложена новая конструкция пятикоординатного станка с избыточным механизмом параллельной структуры 2R3T и специальным рабочим органом, позволяющая избавиться от особых положений в рабочем пространстве и расширить диапазон углов поворота вращательных степеней свободы до 120° и 180° соответственно, рассмотрен ряд возможных компоновок подобных станков.

станок, механизм параллельной структуры, избыточность, рабочий орган

Постановка проблеми. Вирішення задачі максимального збільшення продуктивності обробки деталей при забезпеченні гнучкості виробництва можливе лише з використанням верстатів з ЧПУ для високошвидкісної обробки, в тому числі багатокоординатної. Подальше підвищення продуктивності вимагає збільшення жорсткості для можливості інтенсифікації режимів різання, а також збільшення