

## 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*

### Підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом-інструментом

Удосконалено та досліджено високопродуктивний спосіб електродугового різання металів бідровим електродом-інструментами шляхом застосування зворотного прокачування органічного середовища.

**електрична дуга, гідродинамічний режим, бідровий електрод-інструмент, технологічна схема формоутворення**

**В. М. Боков, проф., канд. техн. наук**

*Кировоградский национальный технический университет*

### Повышение эффективности электродугового резания бипроволочным электродом-инструментом

Усовершенствован и исследован высокопроизводительный способ электродугового резания металлов бипроволочным электродом-инструментом за счёт применения обратной прокачки органической среды

**электрическая дуга, гидродинамический режим, бипроволочный электрод-инструмент, технологическая схема формообразования**

**Постановка проблеми.** В сучасному машинобудуванні для різання важкооброблюваних матеріалів застосовуються електрофізикохімічні методи. В більшості випадків продуктивність процесу різання є визначальною при виборі того чи іншого способу різання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За роботами [1, 2] відомий високопродуктивний спосіб розмірної обробки дугою (РОД). Однак, процес РОД не знайшов застосування для ефективного різання металів в зв'язку з відсутністю оптимальної технологічної схеми формоутворення різку, при якій певним чином компенсується електроерозійний знос електрода-інструмента.

В роботі [3] запропоновано таку технологічну схему електродугового формоутворення різку, що дозволяє компенсувати знос електрода-інструмента шляхом паралельного протягування в робочій зоні двох дротових електродів-інструментів (тобто бідрового електрода-інструмента) при прямому прокачуванні робочої рідини крізь торцевий міжелектродний зазор. Однак, при прямому прокачуванні створюються умови для концентрації часток в бічному зазорі [4]. Результатом цього явища є виникнення довгих дуг, які, з одного боку утворюють похилу поверхню різку, збільшують час різання, а з другого боку руйнують стінки електродотримачів. Крім того, технічна вода, як робоча рідина, частково проводить електричний струм. За цією причиною частина енергії, що підводиться до електродів, не використовується ефективно.

В роботі пропонується долати вади відомого способу різання шляхом використання зворотного прокачування органічної робочої рідини крізь торцевий міжелектродний зазор. Таким чином, підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом-інструментом є актуальною задачею.

**Постановка завдання.** Метою дослідження є підвищення ефективності електродугового різання бідровим електродом-інструментом шляхом застосування зворотного прокачування органічного середовища.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі: запропонувати та обґрунтувати нову технологічну схему формоутворення різі при електродуговому різанні металів бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища; розробити методику експериментального дослідження технологічних характеристик електродугового різання; виконати експериментальне дослідження продуктивності, точності та якості електродугового різання.

Методика дослідження включає в себе аналіз та порівняння елементів відомої технологічної схеми формоутворення різі зі схемою, що пропонується. Крім того, методика передбачає побудову математичних моделей технологічних характеристик процесу електродугового різання бідровим електродом-інструментом (табл. 1).

Таблиця 1 – Матриця планування експерименту (план 2<sup>2</sup>)

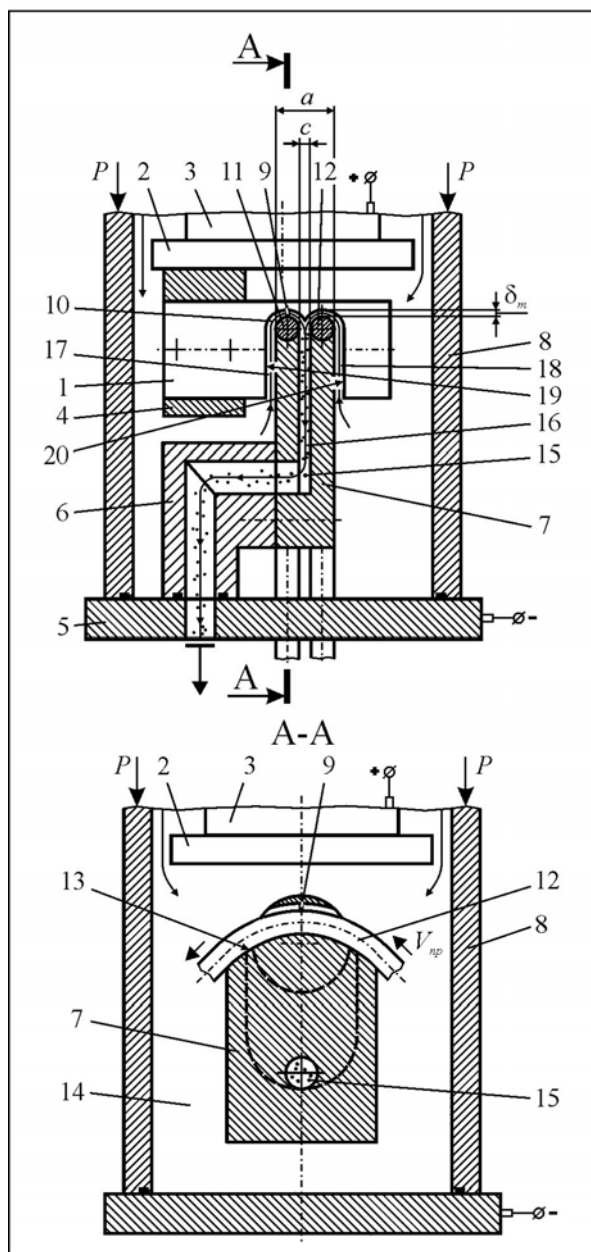
Фактори		$I, A$	$P_{см}, MPa$	$M,$ мм <sup>3</sup> /хв.	$M_a,$ мм <sup>3</sup> /А·хв.	$a,$ кВт·год/кг	$\delta_6,$ мм	$Ra,$ мкм		
Основний рівень		15	1,3							
Інтервал варіювання		5	0,3							
Верхній рівень		20	1,6							
Нижній рівень		10	1,0							
Код		$x_1$	$x_2$	$y_1$	$y_2$	$y_3$	$y_4$	$y_5$		
Номер дослідів	1	Порядок реалізації	3	+	+	59	2,95	21,59	0,25	9
	2		2	-	+	30	3,00	21,23	0,15	5
	3		4	+	-	106	5,30	12,01	0,26	10
	4		1	-	-	38	3,80	17,69	0,16	6
Досліди в центрі плану	1		0	0	53	3,53	18,02	0,22	7	
	2		0	0	59	3,93	16,19	0,21	7	
	3		0	0	64	4,27	14,93	0,23	8	
	4		0	0	61	4,07	15,56	0,21	7	

**Виклад основного матеріалу.** Пропонується нова технологічна схема формоутворення різі при електродуговому різанні металів бідровим електродом-інструментом: електричну дугу збуджують в гідродинамічному потоці робочої рідини між електродом-заготовкою та складеним електродом-інструментом, який включає в себе два паралельні дроти, що протягують по випуклій поверхні майстер-електрода; органічну робочу рідину нагнітають в зону різання (в герметичну камеру) під технологічним тиском, а відводять із зони різання разом з продуктами ерозії крізь щілину між дротами.

Перед початком процесу різання (рис. 2.1). електрод-заготовку 1 нерухомо закріплюють відносно плити 2 шпинделя 3 верстата за допомогою тримача 4, а складений електрод-інструмент нерухомо закріплюють на плиті верстата 5 за допомогою тримача 6 та електро-тримача 7. Далі герметичну камеру 8 закривають і здійснюють процес різання. При цьому електричну дугу 9 збуджують в гідродинамічному потоці 10 робочої рідини між електродом-заготовкою 1 та складеним електродом-інструментом, який включає в себе два паралельні дроти 11, 12, що протягують по випуклій поверхні 13 електродотримача 7. Робочу рідину нагнітають в

зону різання (в порожнину 14 герметичної камери 8) під технологічним тиском, а відводять із зони різання разом з продуктами ерозії 15 крізь щілину 16 між дротами 11, 12. Ширина щілини 16 ( $c$ ) менша або дорівнює двом торцевим міжелектродним зазорам ( $\delta_m$ ). Ширину електродотримача 7 ( $a$ ) вибирають із умови

$$a \leq 2d + c = 2(d + \delta_m),$$



де  $d$  – діаметр дроту. В процесі взаємодії гідродинамічного потоку 10 робочої рідини з електричною дугою 9 дуга стискується, енергетичні параметри її підвищуються, що покращує якісні характеристики поверхні різі. Оскільки продукти ерозії 15 в бічних міжелектродних зазорах 17, 18 відсутні, довгі (малостиснуті) дуги в ньому не утворюються. Останнє дозволяє підвищити точність різання за рахунок формування поверхонь різі 19, 20 без нахилу та забезпечити реалізацію процесу без руйнування стінок електродотримача 7. Подача  $V_0$  електродотримача 7 з дротами 11, 12 в напрямку розрізування здійснюється з використанням автоматичного регулятора міжелектродного проміжку (на рис. 1 не показано). 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 електрод-інструмент мінімізуються.

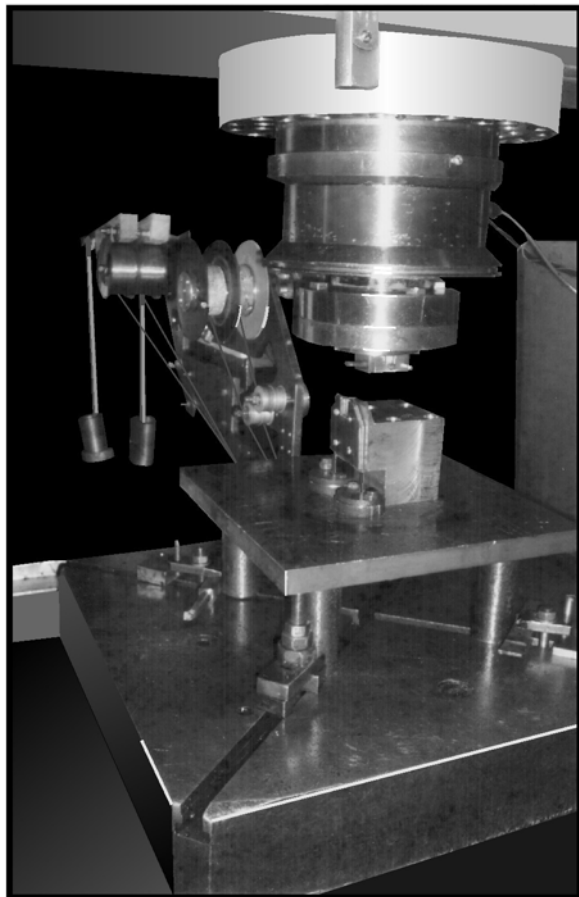
Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення різі, що пропонується

Процес здійснюють з використанням органічної робочої рідини. Оскільки органічна робоча рідина не електропровідна, це дозволяє уникнути втрати електричної енергії за струмом на розсіювання і, як наслідок, підвищити

продуктивність різання.

Для дослідження технологічних характеристик електродугового різання металів дротовими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища спроектовано та виготовлено оригінальний експериментальний пристрій до електроерозійного верстата «Дуга-8Г» (рис. 2).

Пристрій включає в себе наступні основні вузли та деталі:



- механізм перемотування дроту, який являє собою вертикальну платформу, на якій змонтовано дві котушки з вихідним дротом та дві котушки для прийому відпрацьованого дроту, що обертаються від електродвигуна через редуктор;
- тримач, що постачається гвинтом для регулювання вертикального положення платформи;
- плиту, на якій монтується уся робоча частина пристрою;
- стійку для позиціонування плити на певній висоті над плитою стола верстата «Дуга-8Г»;
- тримач для розташування елементів ущільнення робочої зони пристрою;
- тримач для тримання шибери;

Рисунок 2 – Експериментальний пристрій для електродугового різання бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища (верстат «Дуга-8Г»)

- основу для кріплення основних елементів робочої зони пристрою;
- електродотримач для протягування дротового електрода-інструмента;
- прокладку, що забезпечує опти-мальний зазор між дротами;
- планку для кріплення електродо-тримачів та прокладки до основи;
- тримач для закріплення елект-рода-заготовки відносно плити;
- вісь для тримання ролика пере-мотування дротового електрода-інструмента 4;
- патрубки для відведення орга-нічного робочого середовища разом з продуктами ерозії із зони різання через фільтр в бак;
- планку для з'єднання механізму перемотування дроту з основою.
- інші деталі.

Пристрій працює таким чином. Перед початком роботи електрод-заготовку виставляють та закріплюють нерухомо (гвинтами) відносно тримача, що змонтований, в свою чергу, нерухомо відносно шпинделя верстата. Далі за допомогою гідравлічного приводу закривають герметичну камеру верстата, вмикають електродвигун насосної установки подачі робочої рідини в зону обробки, вмикають електродвигун механізму перемотування дротів, вмикають джерело живлення технологічним струмом та ведуть електродугове різання металів бідровим електродом-інструментом з використанням зворотного прокачування органічного середовища.

Отримано математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість електродугового різання металів дротовими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища та дозволяють керувати ними та прогнозувати їх :

- модель продуктивність різання  $M(y_1)$ , мм<sup>3</sup>/хв

$$y_1 = 58,25 + 24,25x_1 - 13,75x_2;$$

- модель питомої продуктивності різання  $M_a$  ( $y_2$ ),  $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв}$

$$y_2 = 3,76 - 0,78x_2;$$

- модель питомої витрати електроенергії  $a$  ( $y_3$ ),  $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$

$$y_3 = 18,13 + 3,28x_2;$$

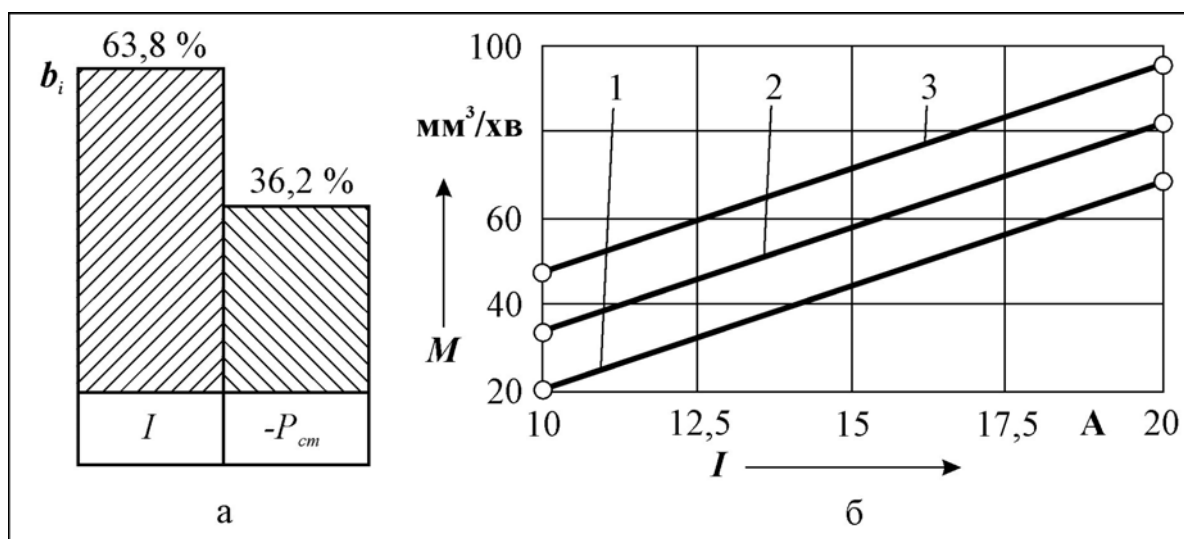
- модель бічного міжелектродного зазору  $\delta_b$  ( $y_4$ ),  $\text{мм}$

$$y_4 = 0,205 + 0,05x_1;$$

- модель шорсткості поверхні різі  $Ra$  ( $y_5$ ),  $\text{мкм}$

$$y_5 = 7,5 + 2x_1.$$

Показано (рис. 3), що найбільший вплив на продуктивність різання виявляє сила технологічного струму  $I$  (63,8 %), із підвищенням якої продуктивність різання збільшується. Таким чином, силу технологічного струму треба розглядати як основний керуючий фактор. Вплив статичного тиску  $P_{cm}$  значно менший (36,2 %), але має суттєве значення. З його підвищенням продуктивність зменшується. В рамках експерименту продуктивність процесу електродугового різання змінювалася у межах від 30 до 106  $\text{мм}^3/\text{хв}$ .



1 –  $P_{cm} = 1,6 \text{ МПа}$ ; 2 –  $P_{cm} = 1,3 \text{ МПа}$ ; 3 –  $P_{cm} = 1,0 \text{ МПа}$

Рисунок 3 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність продуктивності електродугового різання  $M$  від  $I$  та  $P_{cm}$  (б)

Відомо [14, с. 111], що продуктивність РОД значно залежить від усталеності процесу. В умовах експерименту спостерігався неусталений процес. Останнє пояснюється недостатньою напругою на електродах ( $U = 30 \text{ В}$ ) при реалізації малих технологічних струмів (10 – 20  $\text{А}$ ), що погіршує фізичні умови існування таких електричних дуг. Тому подальше підвищення продуктивності різання металів дрововими електродами-інструментами пов'язано не тільки з підвищення сили технологічного струму, але й з підвищенням напруги на електродах.

Встановлено (рис. 4), що питома продуктивність різання  $M_a$  залежить тільки від статичного тиску робочої рідини на вході в торцевий МЕЗ  $P_{cm}$ , із зменшенням якого  $M_a$  збільшується. Таким чином, статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий МЕЗ  $P_{cm}$  є головний керуючий фактор. В умовах експерименту питома продуктивність процесу електродугового різання змінювалася у межах від 2,95 до 5,30 мм<sup>3</sup>/А·хв.

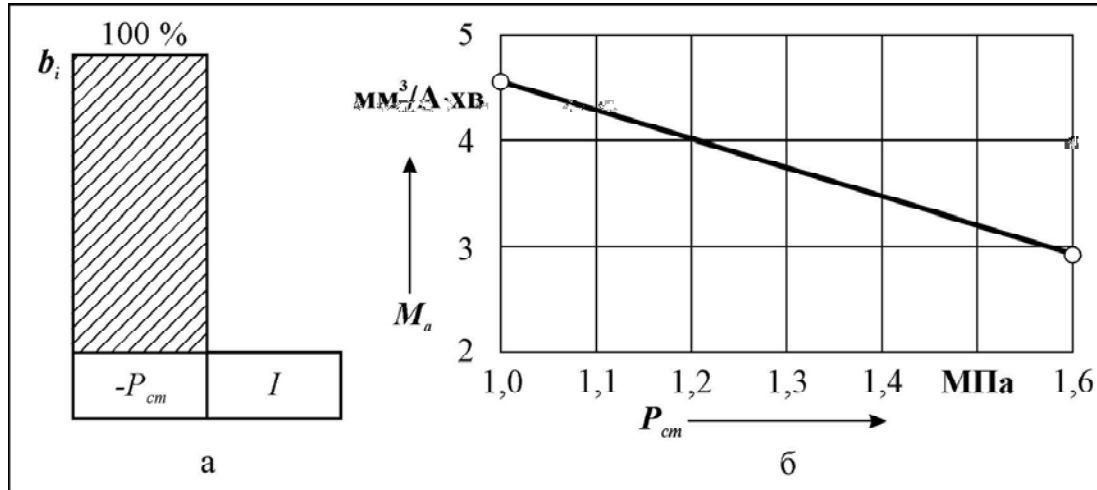


Рисунок 4 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої продуктивності електродугового різання  $M_a$  від  $P_{cm}$  (б)

Показано (рис. 5), що на питому витрату електроенергії  $a$  впливає лише один фактор – статичний тиск робочої рідини на вході в торцевий міжелектродний зазор  $P_{cm}$ , із підвищенням якого  $a$  збільшується. Саме тому  $P_{cm}$  слід розглядати як головний керуючий фактор. Збільшення питомої витрати електроенергії при підвищенні  $P_{cm}$  з фізичної точки зору пояснюється тим, що зростає швидкість потоку, а отже теплова енергія, яка відводиться потоком від електричної дуги. В умовах експерименту питома витрата електроенергії процесу РОД змінювалася у межах від 12,01 до 21,59 кВт·год/кг.

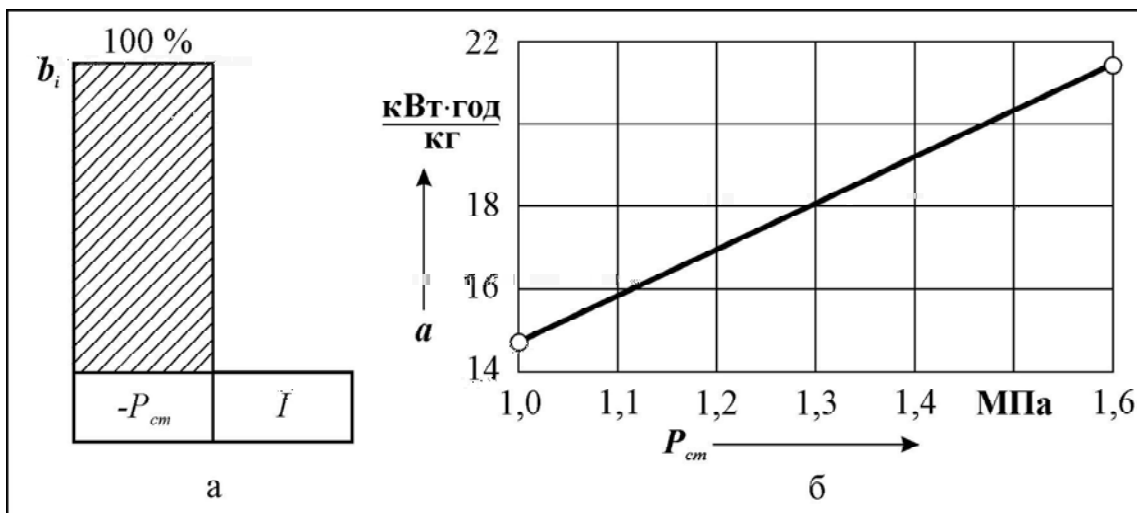


Рисунок 5 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність питомої витрати електроенергії  $a$  процесу електродугового різання від  $P_{cm}$  (б)

Встановлено (рис. 6), що на бічний міжелектродний зазор  $\delta_\delta$  впливає лише один фактор – сила струму  $I$ , із підвищенням якого  $\delta_\delta$  збільшується. Саме тому  $I$  слід розглядати як головний керуючий фактор. В умовах експерименту бічний міжелектродний зазор  $\delta$  змінювався у межах від 0,15 до 0,26 мм. Процес різання відбувається при постійному бічному міжелектродному зазорі без утворення похилої поверхні різі (рис. 7). Крім того, на електроді-заготовці спостерігається гостра кромка на вході потоку в бічний міжелектродний зазор, а технологічний виступ між дротами не утворюється.

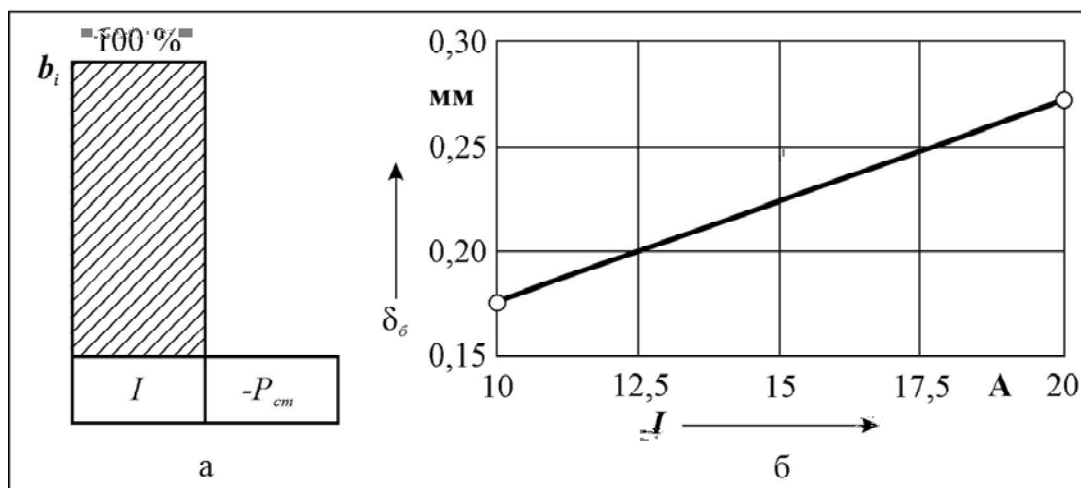
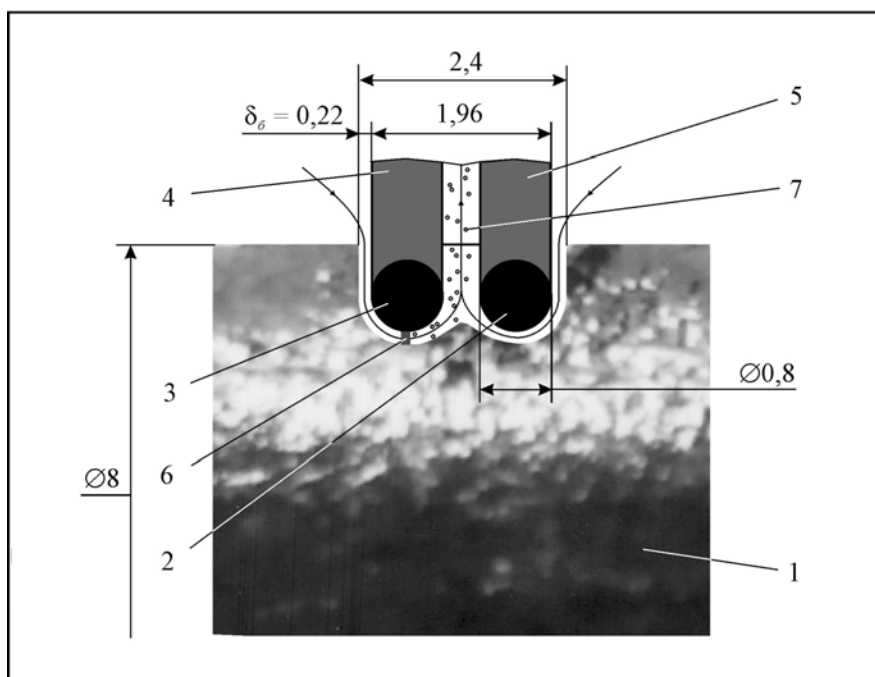


Рисунок 6 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність бічного міжелектродного зазору  $\delta_\delta$  від  $I$  (б)



1 – електрод-заготовка (фото); 2 – дріт правий; 3 – дріт лівий; 4 – електродотримач лівий;  
5 – електродо-тримач правий; 6 – електрична дуга; 7 – продукти ерозії

Рисунок 7 – До визначення бічного міжелектродного зазору  $\delta_\delta$  (початкова фаза процесу різання;  $\times 16$ )

Показано (рис. 8), що найбільший вплив на шорсткість поверхні різу  $Ra$  оказує сила струму  $I$ , із підвищенням якої  $Ra$  збільшується. Саме тому  $I$  слід розглядати як головний керуючий фактор. Виявлено, що статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ  $P_{cm}$  на шорсткість поверхні різу не впливає. В умовах експерименту шорсткість поверхні різу  $Ra$  змінювалася у межах від 5 до 10 мкм.

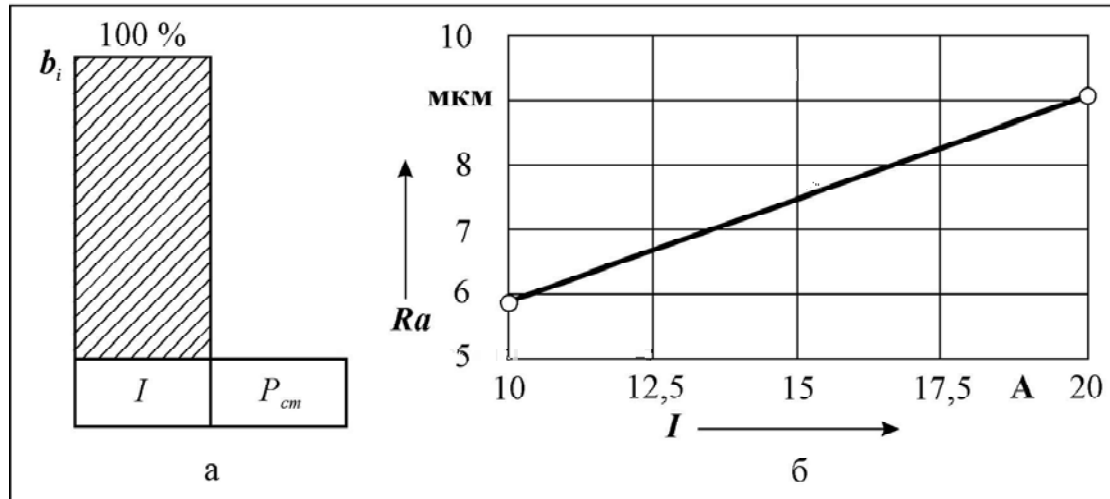
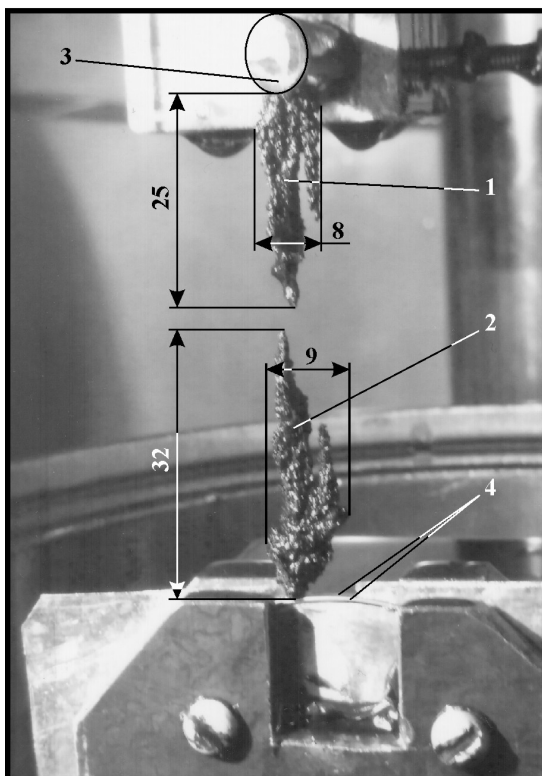


Рисунок 8 – Ступінь впливу факторів (а) та залежність шорсткості поверхні різу  $Ra$  від  $I$  (б)

При експериментальному дослідженні процесу електродугового різання дротовими електродами-інструментами вперше виявлено явище утворення на аноді (вгорі) та катоді (внизу) бурулькоподібних наростів (рис. 9), що схожі за формою на сталактити та сталагміти.



1 – анодний нарост; 2 – катодний нарост; 3 – електрод-заготовка; 4 – бідровий електрод-інструмент

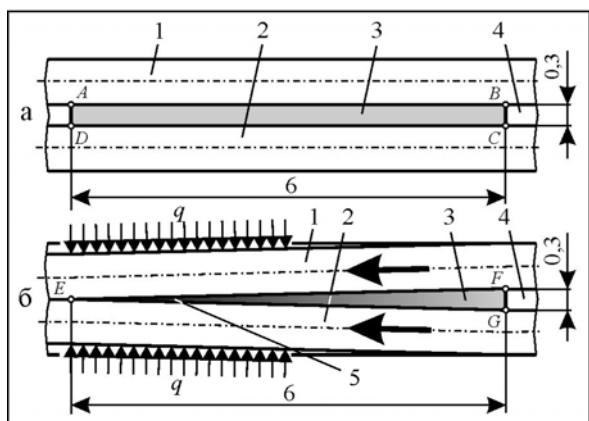
Рисунок 9 – Явище утворення на катоді та аноді бурулькоподібних наростів

Джерело: розроблено автором

Такі нарости не притягуються магнітом. Їх утворенню передувало порушення гідродинамічного режиму (суттєве зменшення швидкості прокачування органічного середовища через торцевий міжелектродний зазор; рис. 10), яке викликає суттєвим зменшенням площі каналу 3 між дротовими електродами-інструментами 1, 2 в зв'язку із вимушеним зближенням дротів.

В свою чергу зближення дротів 1, 2 обумовлене асиметричним (неточним) виконанням тороподібної поверхні для фіксації дроту на електродотримачах.



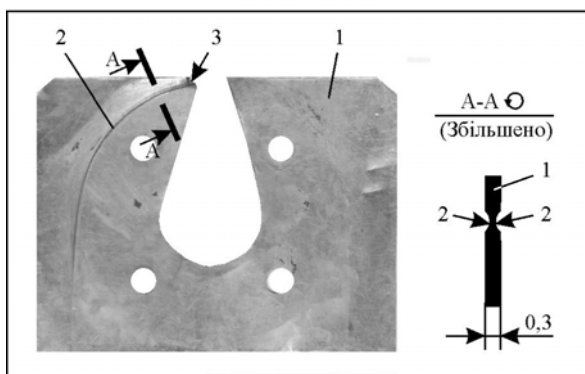


Асиметрія викликає виникнення сил (від навантаження  $q$ ), що зближають дроти 1, 2 в момент протягування. При цьому, тертя сталевих дротів об центральну прокладку 4, що відповідає за зазор між дротами, закінчується її подальшим пластичним руйнуванням (рис. 11).

а – до експерименту; б – після експерименту

Рисунок 10 – Форма каналу між дротовими електродами-інструментами

Зміна форми (з прямокутної  $ABCD$  на трикутну  $EFG$ ) та зменшення площі каналу 3 (див. рис. 10) привели до суттєвого збільшення гідравлічного опору течії рідини крізь нього і утворення застійної зони 5 в найменшому куті трикутника, де швидкість органічного середовища наближається до нуля.

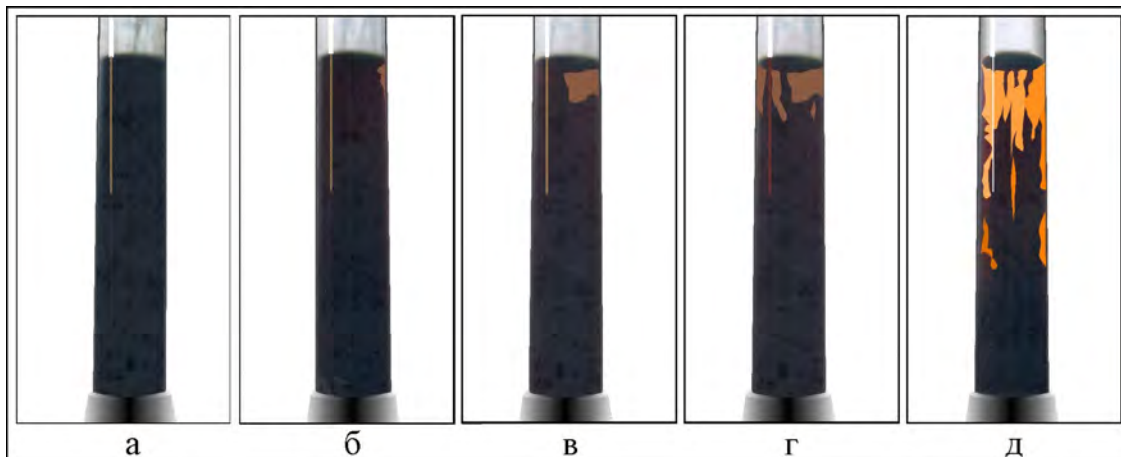


1 – прокладка; 2 – слід від пластичного деформування прокладки дротом; 3 – місце збудження довгих дуг

Рисунок 11 – Скановане зображення центральної прокладки після експерименту:

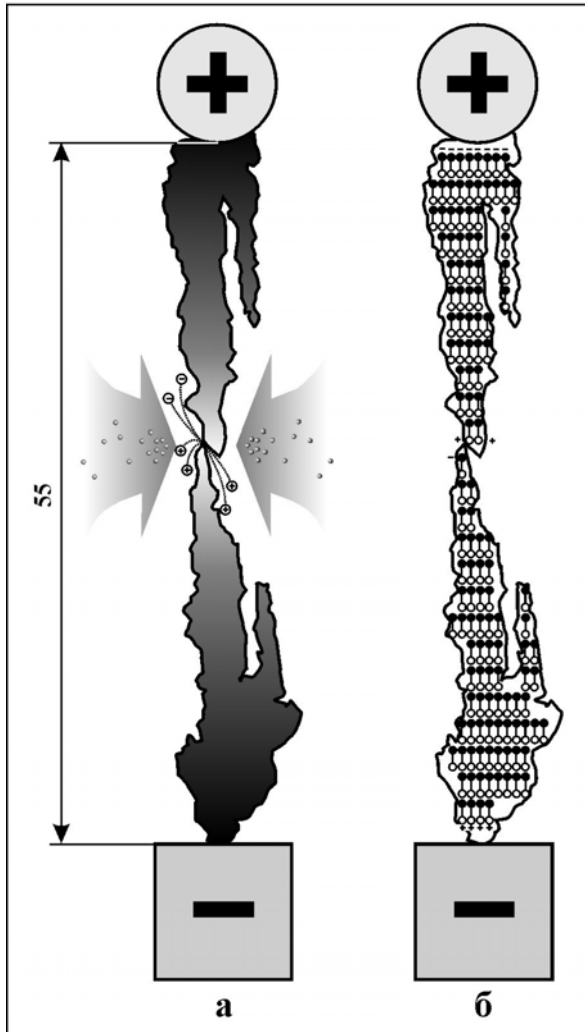
Внаслідок цього ініціюються довгі (не стиснуті гідродинамічним потоком) дуги, які викликають короткі замикання. Сила електричного струму зростає від 10А до 40 А. Далі

спрацьовує слідкуюча система, що розводить електроди. В цей самий момент починають формуватися нарости на електродах. Матеріалом наростів ні є металеві продукти ерозії. Нарости формуються електричним полем із пилиноподібних часток, що є у великій кількості в забрудненій органічній рідині (рис. 12). Це продукти розкладу органічної рідини та трансформації графіту під дією електричної дуги.



а – рідина після експерименту; б – відстій один тиждень; в – відстій два тижня; г – відстій три тижня; д – відстій чотири тижня

Рисунок 12 – Забруднена органічна робоча рідина в залежності від ступеню відстою



Частки, що електролізуються в електричному полі біля катода, притягуються катодом, а частки, що електролізуються в електричному полі біля анода, притягуються анодом. Притягання не зарядженого тіла із діелектрика до зарядженого тіла, як відомо [6], пояснюється тим, що в електричному полі відбувається *поляризація діелектрика*, тобто зміщення в протилежні боки різнойменних зв'язаних зарядів, що входять у склад атомів та молекул речовини. Таким чином, частки в умовах експерименту набувають наступних властивостей: проводять струм малої сили, утворюють разом з електродами електричне поле та притягують із рідини інші частки. Електроди безперервно повільно розводяться, але електричний контакт між ними не обривається (рис. 13).

а – загальна схема явища; б – схема поляризації наростів

Рисунок 13 – До фізичного механізму утворення на аноді та на катоді бурулькоподібних наростів при реалізації процесу електродугового різання дровими електродами-інструментами

Даний факт підтверджується тим, що слідкуюча система відводить шпиндель верстата вгору, тобто так, як при короткому замиканню. Електричний контакт між електродами при їх розведенні можливий тільки тоді, коли швидкість зростання наростів за висотою буде дорівнювати швидкості переміщення шпинделя верстата вгору. Але, яким чином частки з'єднуються між собою, утворюючи «бурульки»? Слід припустити, що в контактній зоні (між наростами) спостерігається великий електричний опір, а, отже під дією електричного струму виділяється багато тепла. Контактні поверхні нагріваються, розплавляються та випаровуються. Розплавлені частки розбризкуються, осаджуються на раніш утвореній «бурульці» та приварюються до неї. При цьому, частка, що заряджена негативно, рухається до анода, а частка, що заряджена позитивно – до катода.

Слід відмітити, що нарост проявляє властивості напівпровідника. Так, перебуваючи в електричному полі, в ньому спостерігається струм провідності. Виявлений ефект може бути застосований при розробки нових 3D-технологій для «вирощування» деталей.

Таким, власне, представляється фізичний механізм даного явища.

**Висновки.** Запропонована нова технологічна схема формоутворення різку при електродуговому різанні металів дровими електродами-інструментами з використанням зворотного прокачування органічного середовища, яка забезпечує при задовільній ширині різку наступні переваги: підвищення продуктивності різання шляхом повного використання електричної енергії, що підводиться до електродів;

підвищення точності різання за рахунок формування бічного міжелектродного зазору без утворення похилої поверхні різі; підвищення якості різання шляхом ведення процесу без утворення довгих (нетиснутих) дуг в бічному міжелектродному зазорі; ведення процесу без руйнування дугою стінок електродотримача. Отримано математичні моделі технологічних характеристик, що визначають продуктивність, точність та якість електродугового різання металів і дозволяють керувати ними та прогнозувати їх. Виявлено та описано фізичний механізм явища утворення на аноді та катоді бурулькоподібних наростів.

## 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. Боков В. М. Електродугове різання металів бідровим електродом-інструментом [Текст] / В. М. Боков // 36. наук. праць КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2017. – Вип. 30. – С.44-57.
5. Боков В. М. Розмірна обробка електричною дугою кувальних штампів [Текст] : монографія / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2012. – 178 с.
6. Габардин О. Ф. Физика. Справочные материалы: учеб. пособие [Текст] / О. Ф. Габардин. – 3-е изд. – М.: Просвещение, 1991. – 367 с.

## Referencis

1. Nosulenko, V. I. & Meshherjakov, N. G. (1981). Razmernaja obrabotka metallov jelektricheskoy dugoju [Dimensional processing of metals by electric arc]. *Jelektronnaja obrabotka materialov – Elektronnaya obrabotka materialov*, 1, 19-23.
2. Bokov, V.M. (2002). *Rozmirne formoutvorennia poverkhon' elektrychnoiu duhoiu [Dimensional shaping of surfaces by electric arc]*. Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychij tsentr TOV «Imeks-LTD».
3. Sposib rizannia metaliv elektrychnoiu duhoiu [Method of cutting metals by an electric arc]: pat. 102343 Ukraina: MPK V 23 K 9/00 / Bokov V. M.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Bokov V. M.. – № u201504022; zaiavl. 27.04.15; opubl. 26.10.15, Biul. № 20. – 6 s.
4. Bokov, V.M. (2017). Elektroduhove rizannia metaliv bidrovym elektrodom-instrumentom [Electric arc metal cutting with by-wire electrode-tool]. *Zb. nauk. prats' KNTU. Tekhnika v s/h vyrobnystvii, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia – Collected works of KNTU. Machinery in agricultural production, industry machine building, automation, Vol. 30*, 44-57.
5. Bokov, V. M. (2012). *Rozmirna obrobka elektrychnoiu duhoiu kuval'nykh shtampiv [Dimensional machining with an electric arc of forging dies]*, Kirovohrad: Polihrafichno-vydavnychij tsentr TOV «Imeks – LTD».
6. Gabardin, O. F. (1991). *Physics. Reference materials* (3d ed.). Moscow: Prosveshhenie.

### Viktor Bokov, Prof., PhD Tech. Sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

### Increase of Efficiency of Electric Arc Cutting with a Bipolar Electrode Tool

Modern engineering applies electrical, physical and chemical methods for cutting hard-to-treat materials. In most cases it is the process productivity that determines the choice of a cutting method. We know the technological shaping scheme for electric arc cutting which compensates the electric erosion wear of the electrode tool due to the parallel pulling of two electrode tools (that is, a bipolar electrode tool) with the direct pumping of process water through the front inter-electrode gap clearance. However, the direct pumping creates conditions for the concentration of torsion products in the lateral gap clearance. As a result, long arcs appear which, on the one hand, form an inclined cutting surface and increase cutting time, and, on the other hand, they destroy the electrode holders. Besides, technical water, as the process water, partially conducts electric current. Due to this part of power linked up with the electrode is not effectively used/

The objective of the work is to increase the efficiency of electric arc cutting with a bipolar electrode tool by applying reverse pumping of the organic medium.

We know the technological scheme for shaping which compensates the wear of the bipolar electrode tool due to its pulling in the cutting zone, in which the direct pumping of process water is used. However, the application of this technology creates conditions for the concentration of erosion in the lateral inter-electrode gap clearance. As a result, long arcs appear that form an inclined cutting surface and destroy the electrode holders. And the leakage of current (through water) reduces the cutting performance.

The work suggests a new technological shaping scheme for the electric arc cutting by a bipolar electrode tool which uses reverse pumping and organic medium. The new scheme allowed eliminating the above-mentioned disadvantages of the known scheme. Experimental research was carried out and mathematical models of technological characteristics which allow managing and predicting productivity, accuracy and quality of electric arc cutting have been obtained.

Thus, a high-performance method of electric arc cutting of metals by a bipolar electrode tool has been studied and improved by using reverse pumping of the organic medium.

**electric arc, hydrodynamic mode, bipolar electrode tool, technological shaping scheme**

*Одержано (Received) 23.03.2018*

## **УДК 631.3:001**

**С. М. Герук, доц., канд. техн. наук, ст. наук. співр.**

*ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства»,  
Житомирський агротехнічний коледж, м. Житомир, Україна*

*E-mail: mega\_sgeruk@ukr.net*

**О.М. Сукманюк, доц., канд. іст. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, м. Житомир, Україна*

*E-mail: mega\_sgeruk@ukr.net*

## **Особенности развития автоматизации зварювання і наплавлення з використанням промислових роботів**

Робота присвячена складному і актуальному питанню розвитку одного з напрямків процесу відновлення деталей машин зварюванням і наплавленням з використанням промислових роботів.

У статті висвітлені та проаналізовані досягнення світових фірм, що займаються розробкою і впровадженням робототехнічних комплексів та технологічних операцій відновлення деталей машин зварюванням і наплавленням.

**історія, промислові роботи, зварювання, наплавлення, відновлення**

**С. М. Герук, доц., канд. техн. наук, ст. наук. сотр.**

*ННЦ «Інститут механізації та електрифікації сільського господарства», Житомирський  
агротехнічний коледж, г. Житомир, Україна*

**А.Н. Сукманюк, доц., канд. іст. наук**

*Житомирський національний агроекологічний університет, г. Житомир, Україна*

## **Особенности развития автоматизации сварки и наплавки с использованием промышленных роботов**

Робота посвящена сложному и актуальному вопросу развития одного из направлений процесса восстановления деталей машин сваркой и наплавкой с использованием промышленных роботов.

В статье освещены и проанализированы достижения мировых фирм, занимающихся разработкой и внедрением робототехнических комплексов и технологических операций восстановления деталей машин сваркой и наплавкой.

**история, промышленные роботы, сварка, наплавка, восстановление**

© С. М. Герук, О.М. Сукманюк, 2018