

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

ТЕХНОЛОГІЯ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ

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

Кропивницький
ЦНТУ
2020

Технологія фізико-технічної обробки матеріалів : методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти освітньої програми «Прикладна механіка» спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / [уклад. : В. Боков, О. Сіса, В. Мірзак] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. обробки металів тиском та спецтехнологій. – Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 43 с.

Затверджено на засіданні кафедри
обробки металів тиском та спецтехнологій.
Протокол № 6 від 23.12.2020

Укладачі: Віктор Боков, канд. техн. наук, доцент, професор
кафедри обробки металів тиском та спецтехнологій;
Олег Сіса, канд. техн. наук, доцент кафедри обробки
металів тиском та спецтехнологій;
Володимир Мірзак, канд. техн. наук, старший
викладач кафедри обробки металів тиском та
спецтехнологій.

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

Методичні рекомендації до лабораторних робіт здобувачів освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» розроблені у відповідності до освітньо-професійних програм підготовки магістрів та робочої програми дисципліни «Технологія фізико-технічної обробки матеріалів» для усіх форм навчання.

Здобувачі освіти денної і заочної форм навчання (дисципліна читається на 1 курсі магістратури у 2 семестрі та на 2 курсі у 3 семестрі), у відповідності до даних методичних рекомендацій, виконують лабораторні роботи за даною дисципліною на лабораторних заняттях.

Зміст лабораторних робіт та засоби контролю, у відповідності до структури викладання дисципліни «Технологія фізико-технічної обробки матеріалів», наведено на сайті дистанційної освіти ЦНТУ

<http://moodle.kntu.kr.ua/login/index.php>.

© Технологія фізико-технічної обробки
матеріалів

/Укладачі: В. Мірзак, В. Боков,
О. Сіса, 2020

© ЦНТУ, м. Кропивницький

Лабораторна робота № 1

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ТА ЕЛЕКТРОІМПУЛЬСНОГО ВЕРСТАТІВ

Мета роботи – ознайомлення з конструкцією типового електроіскрового та електроімпульсного верстатів.

Загальні відомості

Електроіскровий верстат. Електроіскровий метод обробки знайшов широке використання в верстатах для обробки непрофільованим (дротовим) інструментом [1]. В таких верстатах (рис. 1.1) тонкий натягнутий мідний, латунний або вольфрамовий дріт 3 перемотується з нижньої котушки на котушку 4. Електрод-заготовка 2 закріплюється на робочому столі 6, якій може переміщуватися за координатами X та Y приводами 7 та 1, що працюють за командами від системи керування 8. До електрода-інструмента 3 приєднана одна клемма генератора імпульсів 5 (як

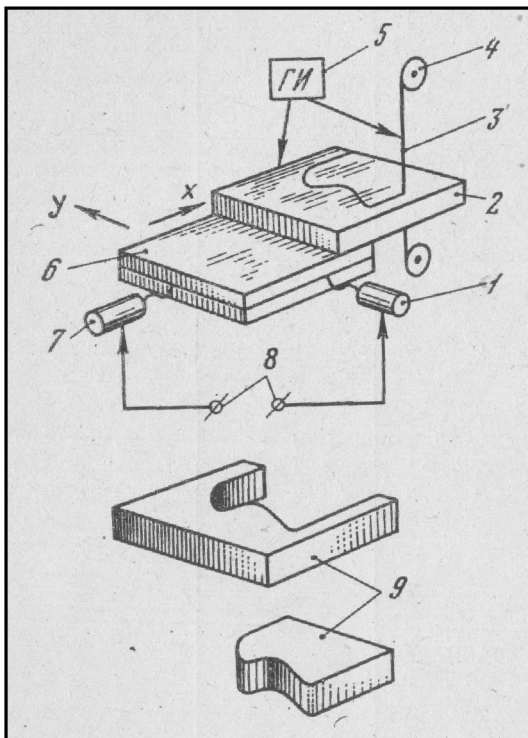


Рис. 1.1. Схема верстата для електроіскрового різання непрофільованим (дротовим) інструментом

правило негативна), а до ЕЗ – друга. Характер електроерозійного зносу електрода-дроту, що протягується при обробці, показано на рис. 1.2. Якщо із двох приводів подачі працює один, то ЕЗ переміщується прямолінійно і в ній прорізується прямолінійний паз. Якщо ж спрямувати рух усієї системи за заданою програмою, то ЕІ проріже за контуром із ЕЗ потрібну фігуру 9.

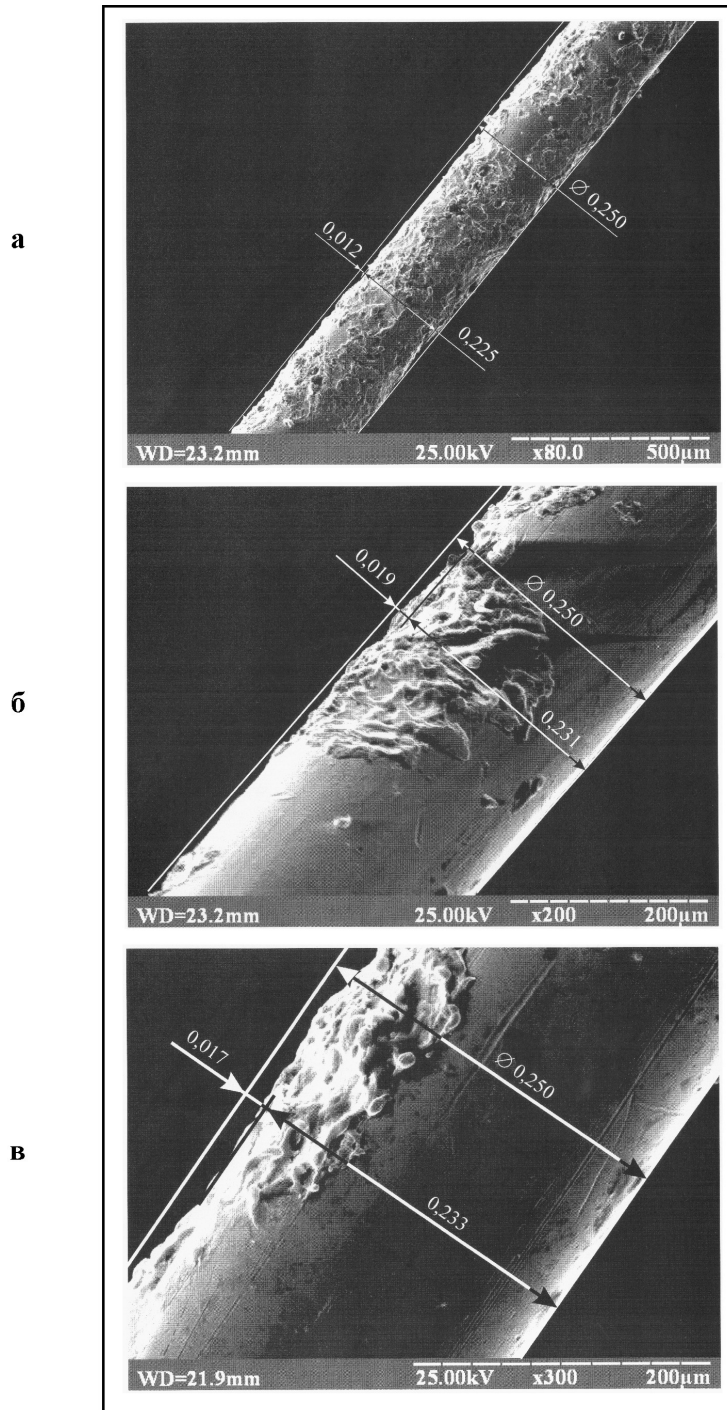


Рис. 1.2. Характер електроерозійного зносу дротового ЕІ після ЕІсО (електронний мікроскоп РЕМ - 106И): а - $\times 80$; б - $\times 200$; в - $\times 300$

Більшість верстатів для дротового різання постачаються електроконтактною копіювальною системою, де в якості щупу копіювальної системи використовується самий електрод-дріт. Принцип роботи електрокопіювальної системи наступний. Електричні ланцюги електрод-дріт – деталь та електрод-дріт – копір живляться від різних джерел живлення; при цьому копір, що виконаний із струмопровідного матеріалу, ізолюється від деталі. Рух за заданим копіром контуром здійснюється двома приводами поздовжньої та поперечної подачі. Автоматичне регулювання швидкостями подачі здійснюється за допомогою регулятора робочої подачі та регулятора копіювальної подачі. Регулятор робочої подачі змінює швидкість двигуна подачі в залежності від відхилення напруги U_p на робочому проміжку від напруги на копіювальному проміжку. Копіювальний проміжок (електрод-дріт – копір) живиться від низьковольтного джерела живлення малої потужності, який має зовнішню вольт-амперну характеристику, що падає. Електрод-дріт може знаходитися або в безпосередньому контакті з копіром, або цей контакт порушується, що створює значну зміну величини сигналу на вході регулятора копіювальної подачі, хоча величина міжелектродного проміжку (МЄП) між електродом-дротом та копіром при цьому змінюється незначно. Ця остання обставина сприяє отриманню високої точності копіювання.

На рис. 1.3 показано електроерозійний верстат моделі 4531 для профільного вирізування дротом за копіром [2].

Верстат призначено для вирізування виробів із твердих сплавів, сталей та інших струмопровідних матеріалів. Він обладнаний електроконтактною системою з масштабом копіювання 1:1. На верстаті можуть оброблятися за копіром робочі елементи вирубних та деяких штампів для гнуття, висадочні матриці, фасонні різці тощо. Інструментом служить електрод-дріт із латуні Л62. Робочою рідиною є гас. Верстат

постачається генератором імпульсів типу *RC*. Саме тому він реалізує електроіскровий метод обробки.



Рис. 1.3. Електроерозійний верстат моделі 4531 для профільного вирізування деталей електродом-дротом

Основні дані верстата моделі 4531 [3]

Найбільші розміри оброблюваної заготовки (довжина × ширина × висота), мм	160 × 120 × 30
Найбільші розміри контуру, що вирізується (ширина × довжина), мм	85 × 120
Діаметр електрода-дроту, мм	0,1 – 0,3
Найбільша продуктивність по твердому сплаву ВК20, мм ² /хв.	8
Мінімальна шорсткість оброблюваної поверхні (по твердому сплаву ВК20 при продуктивності 25 мм ² /хв.), мкм	<i>Ra</i> 1,25
Точність обробки, мм	± 0,01
Найбільша потужність, що потребується, кВт	0,25
Габарит верстата (довжина × ширина × висота), мм	750 × 630 × 1400
Маса верстата, кг	430

Електроімпульсний верстат. Електроімпульсний метод обробки знайшов широке розповсюдження в копіювально-прошивних верстатах. Електроерозійні копіювально-прошивні верстати призначені для формоутворення порожнин складної форми, прошивання складно-контурних вікон, фасонних та прямолінійних щілин, отворів циліндричної та складної форми тощо. На них виготовляють фасонні порожнини кувальних та витяжних штампів, матриці вирубних штампів, фільтри та інші види інструментів. Верстати цього виду поширені на підприємствах інструментальної, автомобільної, автотракторної та інших галузей промисловості. На верстатах нормальної точності точність ЕЕО відповідає 4 – 3-му, а на верстатах підвищеної точності – 3 – 2-му класам.

На рис. 1.4 показано схему електроерозійного копіювально-прошивного верстата [1], де позначено: 1 – станина верстата; 2 – робочий стіл для та кріплення деталі; 3 – ванна з робочою рідиною; 4 – каретка

вертикального переміщення ЕІ; 5 – каретка поперечного переміщення ЕІ; 6 – електродвигун системи регулювання МЕР; 7 – обмотка вібратора ЕІ; 8 – пристрій для корекції положення ЕІ відносно деталі; 9 – каретка поздовжнього переміщення ЕІ; 10 – генератор імпульсів; 11 – блок керування верстатом; 12 – тракт подачі робочої рідини через ЕІ; 13 – тракт подачі робочої рідини в ванну; 14 – бак з робочою рідиною; 15 – помпа (насос); 16 – патрубок зливу із робочої ванни; 17 – ізоляційні прокладки; 18 – ЕІ.

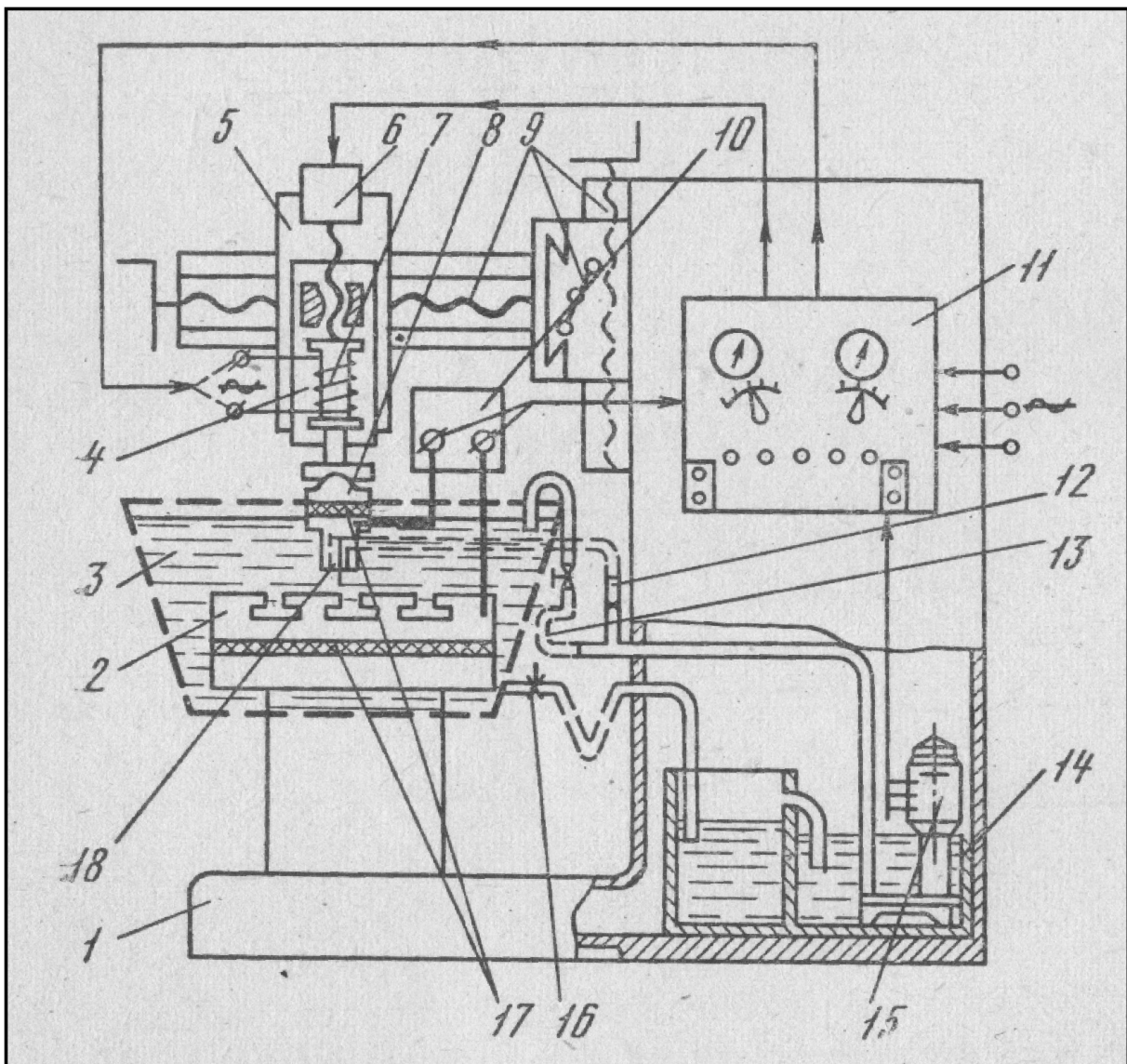


Рис. 1.4. Типова схема електрозійного копіювально-прошивного верстата, що реалізує метод електроімпульсної обробки 18 – ЕІ.

Верстат має можливість вести обробку як з прокачуванням робочого середовища через МЕР, так і з вібрацією ЕІ. Ці заходи полегшують процес евакуації продуктів ерозії із МЕР. Для прокачування застосовують відцентрові, шестеренні та інші насоси. В якості фільтрів застосовують, наприклад, фільтр тонкого очищення П4-2Ф з паперовими фільтруючими елементами. Тонкість очищення – 3...5 мкм.

Механізми відносних координатних переміщень звичайно являють собою пристрої, що дозволяють за трьома координатними осями переміщувати інструментальну головку та ванну з робочим столом.

Електродотримачі призначені для закріплення ЕІ або ЕЗ. Крім того, верстати постачаються технологічними пристроями для тонкого позиціонування ЕЗ відносно ЕІ.

Столи, що обертаються, застосовують для обробки циліндричних або конічних отворів, а також зовнішніх поверхонь тіл обертання.

Електродообертач застосовують для закріплення та обертання ЕІ при обробки отворів.

Обертальні головки призначені для забезпечення ЕІ плоско-паралельного кругового руху, що підвищує точність обробки.

Шліфувальні головки широко застосовують для електроерозійного плоского або кругового шліфування.

На рис. 1.5 показано електроерозійний копіювально-прошивний верстат підвищеної точності моделі 4Д722А [3].

Верстат призначено для обробки фасонних порожнин та отворів в деталях із будь-яких матеріалів, що проводять струм, а також для багато місцевих спряжених прес-форм та коки лей, розділових, кувальних, витяжних та карбувальних штампів. Верстат постачається широко-діапазонним триконтурним генератором ШГИ-20-440/3 з силою струму 20 А на кожний контур та частотами імпульсів 1, 3, 8, 22, 44, 88, 200 та 440 кГц. При необхідності три контури можуть бути об'єднані. При цьому

сумарна сила струму дорівнює 60 А. Експлуатаційні показники верстата підвищуються за рахунок наявності комплекту оснащення, теплообмінника та фільтра тонкого очищення.

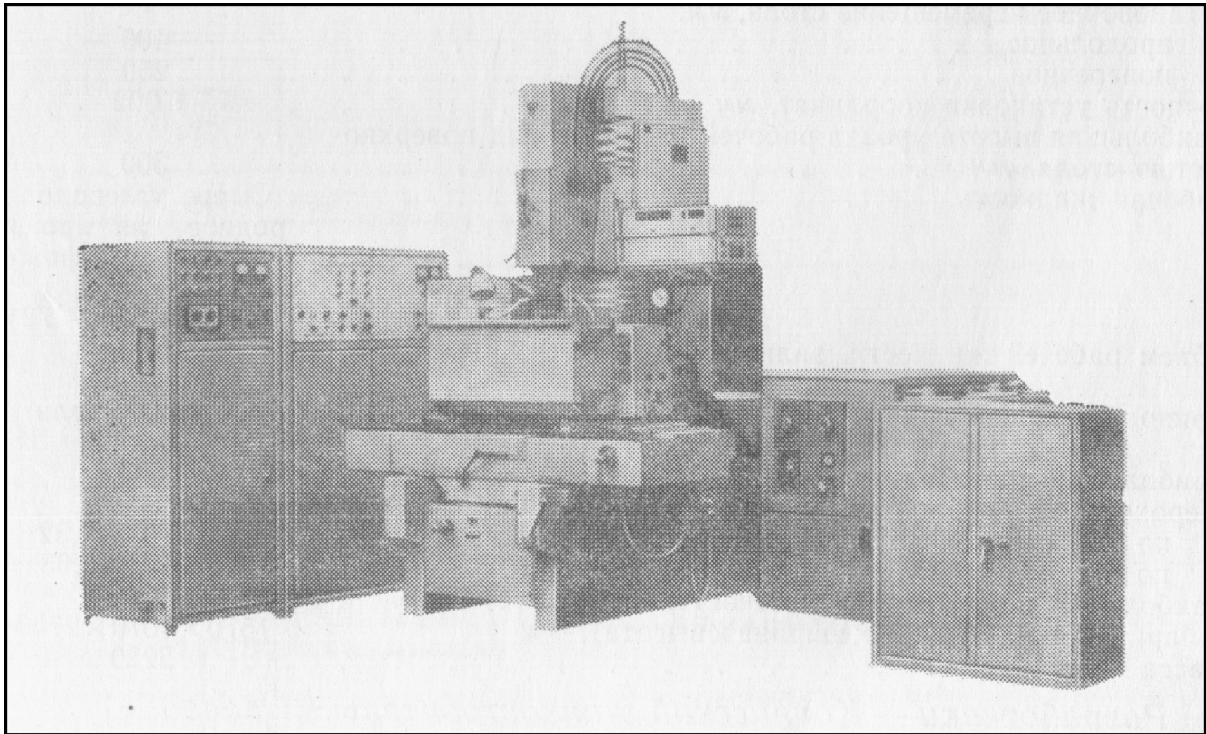


Рис. 1.5. Електроімпульсний копіювально-прошивний верстат моделі 4Д722А

На даному верстаті можлива обробка виробів не тільки нерухомим ЕІ, але й круглим ЕІ, що обертається. Крім того, обертальна головка, що входить до комплекту верстата, дозволяє вести чорнову та чистову обробку отворів та порожнин складної конфігурації електродами-інструментами однакового розміру та в меншій кількості.

Основні дані верстата моделі 4Д722А

Розмір робочої поверхні стола (ширина × довжина), мм	400 × 630
Найбільша маса ЕІ, кг	30
Найбільша маса ЕЗ, кг	100
Найбільша відстань від торця орбітальної головки до робочої	

поверхні стола, мм	450
Робочий хід шпинделя, мм	150
Вертикальне переміщення шпиндельної головки, мм	280
Переміщення стола, мм:	
– поздовжнє	400
– поперечне	250
Точність установлення координат, мм	0,002
Найбільша висота рівня робочої рідини над поверхнею стола, мм	300
Робоча рідина	Сировина вуглеводородна для виробництва сульфоналу по ТУ 38.00135-72
Об'єм робочої рідини в баку, л	300
Привод слідкуючої подачі шпинделя	електрогідравлічний
Найбільша продуктивність обробки, мм ³ /хв.	500
Шорсткість обробленої поверхні, мкм:	
– по твердому сплаву	<i>Ra</i> 0,63 – 0,32
– сталі	<i>Ra</i> 1,25 – 0,63
Найбільша потужність, що споживається, кВт	10
Габарит верстата (довжина × ширина × висота), мм	1570 × 1070 × 2270

Обладнання, інструмент, матеріали

Робота виконується в лабораторії РОД, яка має електроіскровий верстат моделі 4531 для профільного вирізування дротом деталей.

В якості ЕІ використовується дріт із латуні Л63.

Вимірювальний інструмент:

- мікрометр з ціною поділки 0,01 мм;

- біологічний мікроскоп з ціною поділки 0,01 мм.

В якості ЕЗ використовується сталева стрічка $100 \times 30 \times 1$ мм.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Мікрометром заміряти діаметр d дроту із латуні.
3. На верстаті моделі 4531 провести експеримент, наслідком якого є паз довжиною 10 – 15 мм в сталевому ЕЗ.
4. Зафіксувати та записати параметри режиму обробки.
5. Виключити верстат. Зняти ЕЗ.
6. Під біологічним мікроскопом виміряти ширину пазу B (рис. 1.6).

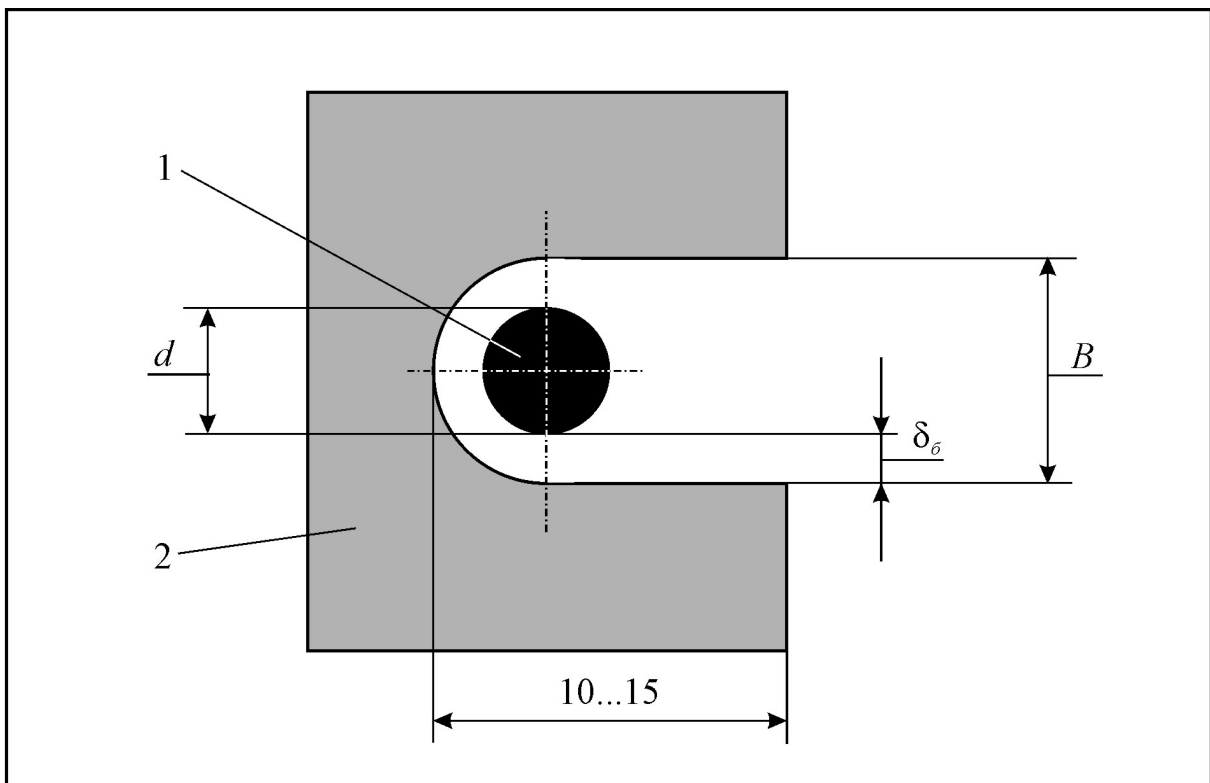


Рис. 1.6. До розрахунку бічного міжелектродного зазору δ_6 : 1 - дротовий ЕІ; 2 - ЕЗ

7. За формулою

$$\delta_{\delta} = \frac{B-d}{2}$$

визначити бічний міжелектродний зазор δ_{δ} .

Зміст звіту

1. Коротко навести опис про електроіскровий верстат для різання електродом-дротом: область використання, опис роботи, схема різання.
2. Навести експериментальні дані щодо розрахунку величини бічного міжелектродного зазору δ_{δ} при різанні електродом-дротом.
3. Коротко навести опис про електроімпульсний копіювально-прошивний верстат: область використання, опис роботи, схема верстата.

Контрольні питання

1. Принцип роботи електроіскрового верстата для різання електродом-дротом.
2. Принцип роботи електроімпульсного копіювально-прошивного верстата.
3. Як виміряти бічний МЕЗ при різанні електродом-дротом?
4. З якою метою на копіювально-прошивному верстаті передбачено прокачування робочої рідини крізь трубчастий ЕІ?

5. Що дає осьова вібрація ЕІ при виконанні копіювально-прошивних робіт?

Лабораторна робота № 2

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ
ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РОД**

Мета роботи – на підставі проведеного експерименту, визначити наступні технологічні характеристики процесу РОД:

- продуктивність обробки, $\text{мм}^3/\text{хв.}$;
- питома продуктивність обробки, $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв.}$;
- питома витрата електроенергії, $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$;
- бічний міжелектродний зазор, мм ;
- шорсткість обробленої поверхні, мкм ;
- відносний лінійний знос графітового ЕІ, %.

Загальні відомості

Фізична сутність способу РОД. Сутність способу РОД полягає в тому, що обробку здійснюють стаціонарною електричною дугою, яка горить між ЕІ та ЕЗ в потоці рідини при динамічному тиску в зоні обробки не менш 1 – 2 кПа (рис. 2.1). Одержана таким чином дуга переміщується по поверхні електродів і має високі енергетичні характеристики, в зв'язку з чим відбувається інтенсивне локальне руйнування поверхні металу за рахунок випаровування та крапельного викидання розплаву, а потік рідини видаляє із зони обробки отримані продукти ерозії. Все це в сукупності забезпечує оптимальне протікання процесу розмірної обробки.

Про особливу роль гідродинамічного фактора при РОД. При реалізації процесу РОД гідродинамічний потік робочої рідини в МЕП виконує потрійну функцію:

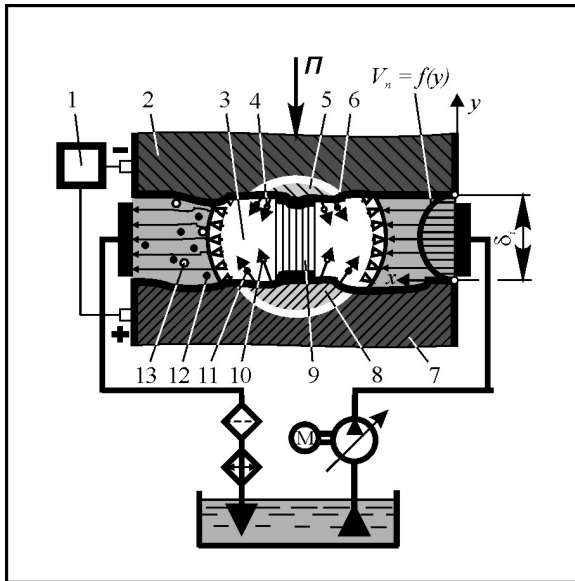


Рис. 2.1. Принципова схема способу РОД: 1 - джерело живлення; 2 - ЕІ; 3 - газова порожнина (пузир); 4 - газоподібна частка; 5 - мікропорція матеріалу, що виплавлено з ЕІ; 6 - розплавлена частка матеріалу ЕІ; 7 - ЕЗ; 8 - мікропорція матеріалу, що виплавлено з ЕЗ; 9 - електрична дуга; 10 - газоподібна частка матеріалу ЕЗ; 11 - розплавлена частка матеріалу ЕЗ; 12 - частка твердої фази продуктів ерозії; 13 - частка газової фази продуктів ерозії

- визначає енергетичний стан електричної дуги. Із підвищенням динамічного тиску (тиску у напрямку течії робочої рідини): напруженість електричного поля E в стовпі дуги зростає (рис. 2.2) і, порівняно зі звичайними зварювальними та плазмовими дугами, за інших рівних умов (сила струму, напруга), в десятки разів вище, досягає 3 кВ/см і більше, та відповідає напруженості в стовпі нестационарного (імпульсного) електричного розряду в умовах відомих способів ЕЕО. Густина струму в дузі j зростає і досягає 50 кА/см², що, порівняно зі звичайними зварювальними та плазмовими дугами, за інших рівних умов, принаймні в декілька разів більше і відповідає густині струму в стовпі нестационарного електричного розряду в умовах відомих способів ЕЕО;

- визначає геометричний стан електричної дуги як інструмента для розмірної обробки поверхонь. Із підвищенням динамічного тиску потоку P_0 площа поперечного перерізу дуги S зменшується і, порівняно зі звичайними зварювальними та плазмовими дугами, за інших рівних умов, принаймні в декілька разів менша; довжина дуги L зменшується і, порівняно зі звичайними зварювальними та плазмовими дугами, за інших рівних умов, в десятки разів менша. Це дозволяє використати таку дугу для достатньо точного розмірного формоутворення поверхонь;

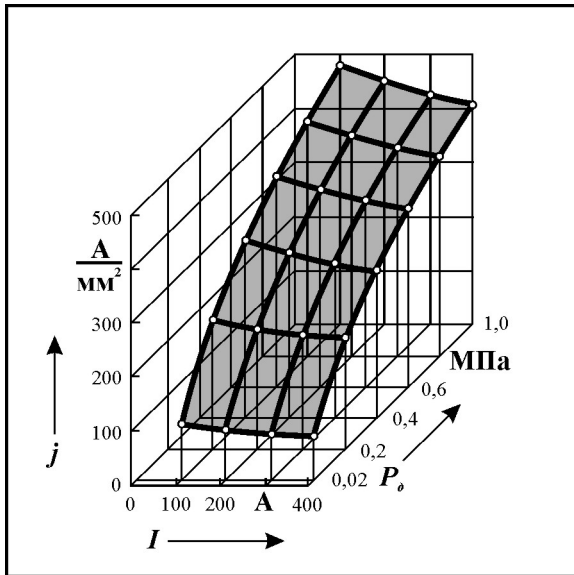


Рис. 2.2. Вплив гідродинамічного фактора на фізичний стан дуги

- відповідає за процес вилучення продуктів ерозії із зони горіння дуги, та інтенсифікує його, чим забезпечує передумови стабілізації процесу обробки поверхонь.

Технологія РОД отворів. При реалізації процесу РОД отворів (рис. 2.3) робоча рідина (звичайно органічне середовище або технічна вода) нагнітається в торцевий міжелектродний зазор за напрямком від периферії до центру електрода-інструмента, а вилучається із нього разом з продуктами ерозії крізь центральний отвір (канал) в електроді-інструменті. Для забезпечення даного способу прокачування, який отримав назву зворотного, робоча зона верстата для РОД отворів постачається герметичною камерою, яка локалізує зону підвищеного тиску рідини на вході потоку в між електродний проміжок. Останнє дозволяє уникнути застосування великогабаритної ванни з робочою рідиною, якою постачаються електроімпульсні верстати.

В рамках експерименту режим РОД задається наступними факторами, які впливають на процес:

- силою струму (50 – 500 А);
- напругою на дузі (25 – 35 В);

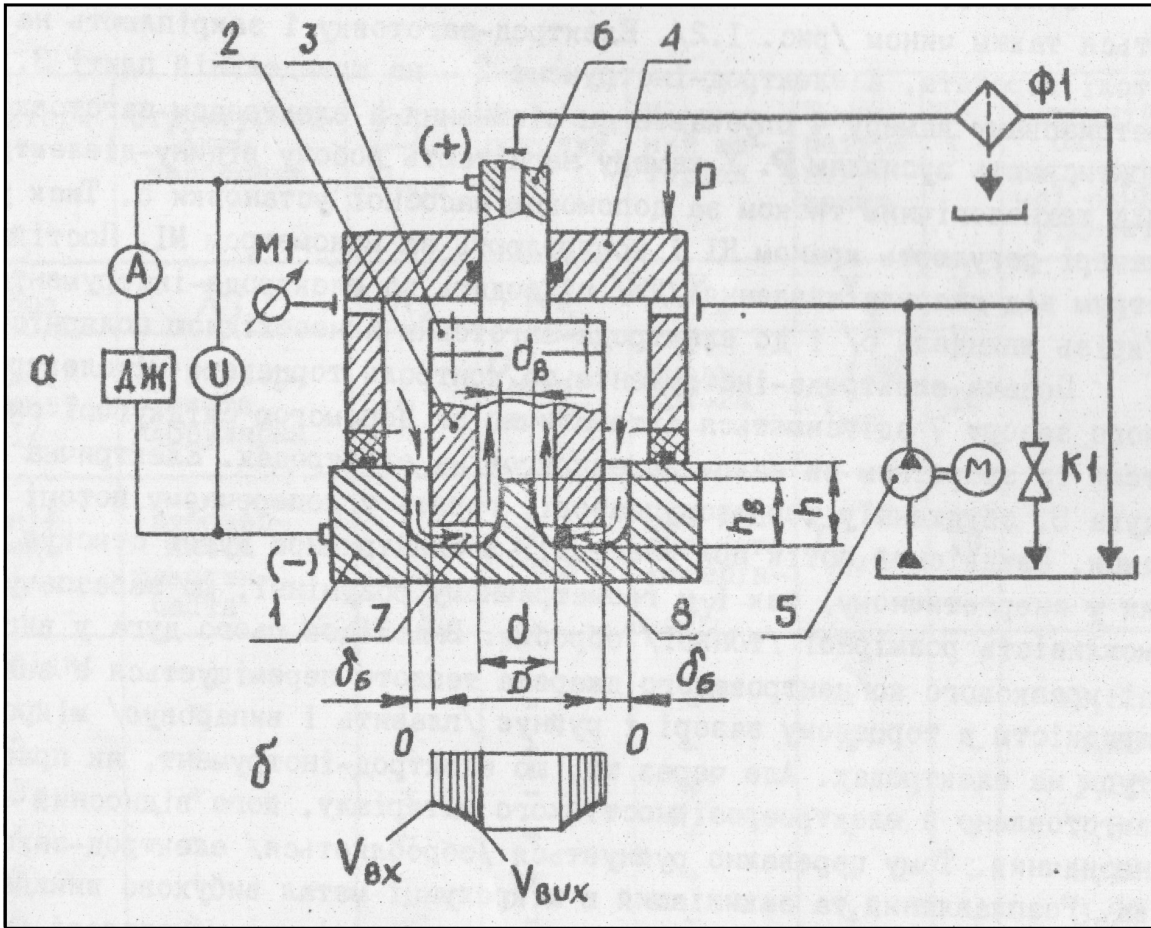


Рис. 2.3. Принципова схема процесу РОД отворів: а - схема; б - епюра швидкостей потоку в радіальному напрямку торцевого МЕЗ; 1 - ЕЗ; 2 - ЕІ; 3 - шпindelна плита; 4 - герметична камера; 5 - насосна установка; 6 - шпindel; 7 - торцевий МЕЗ; 8 - електрична дуга

- статичним тиском рідини на вході потоку в торцевий МЕЗ (0,4 – 2 МПа);

В якості робочої рідини використовувалося органічне середовище (індустріальне масло – 50 %; гас – 50 %).

Крім того, як показано в роботі [5], на процес РОД отворів впливають наступні геометричні параметри електродів:

- площа обробки F ;
- відносний діаметр отвору в ЕІ D/d ;
- ширина пояса на ЕІ c .

На рис. 2.4 в якості приклада показано отвір $\varnothing 40$ мм, який отримано способом РОД в заготовці із титанового сплаву ВТЗ-1.



Рис. 2.4. Отвір $\varnothing 40$ мм в деталі із титанового сплаву ВТЗ-1 після РОД

Обладнання, електроди, інструменти

Робота виконується в лабораторії РОД на експериментальному електроерозійному копіювально-прошивному верстаті моделі «Дуга-8Г», що реалізує процес РОД.

Використовується графітовий ЕІ круглого перерізу робочої частини. В якості ЕЗ застосовується круглий зразок із сталі 45 або з іншого матеріалу.

Вимірювання шорсткості поверхні після РОД здійснюється за допомогою зразків шорсткості методом порівняння.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Виміряти діаметр робочої частини ЕІ d .
3. Виміряти висоту ЕІ H .
4. Виміряти товщину ЕЗ S .
5. Встановити ЕІ та ЕЗ на верстат «Дуга-8Г» за допомогою експериментального технологічного пристрою.

6. Прошити отвір в ЕЗ способом РОД на глибину 10 – 15 мм з фіксацією режиму обробки (I, U, P_{cm}), полярності обробки та часу обробки t . Глибину обробки отвору h фіксувати через кожну хвилину часу з початку до моменту закінчення обробки.

7. Вимкнути верстат. Відкрити герметичну камеру. Зняти ЕІ та ЕЗ. Витерти електроди від робочої рідини серветкою.

8. Виміряти діаметр отриманого отвору в ЕЗ d_o .

9. Виміряти глибину отвору h_o .

10. Виміряти висоту ЕІ після РОД отвору H_o .

11. Розрахувати продуктивність обробки отвору M за формулою

$$M = \frac{\pi \cdot d_o^2 \cdot h_o}{4t}, \text{ мм}^3/\text{хв.}$$

12. Розрахувати питому продуктивність обробки отвору M_a за формулою

$$M_a = \frac{M}{I}, \text{ мм}^3 \cdot \text{А}/\text{хв.}$$

13. Розрахувати питому витрату електроенергії a за формулою

$$a = \frac{I \cdot U \cdot t}{V \cdot \rho}, \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{кг},$$

де V – об'єм матеріалу, що вилучено при отриманні круглого отвору

$$V = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4}, \text{ см}^3;$$

ρ – густина матеріалу ЕЗ. Для сталі $\rho = 7,85 \text{ г}/\text{см}^3$.

14. Розрахувати бічний МЕЗ δ_σ за формулою

$$\delta_\sigma = \frac{d_o - d}{2}, \text{ мм.}$$

15. Виміряти шорсткість бічної поверхні отвору Ra за допомогою зразків шорсткості.

16. Розрахувати відносний лінійний ний знос графітового ЕІ γ_n за формулою

$$\gamma_n = \frac{(H - H_o) \cdot 100}{h_o}, \%$$

17. Побудувати графічну залежність $h = f(t)$.

Зміст звіту

Коротко навести опис про фізичну сутність процесу РОД, про особливу роль гідродинамічного фактора та про технологічні особливості процесу РОД отворів. Навести результати розрахунків технологічних характеристик процесу отвору РОД. Навести графік залежності $h = f(t)$.

Контрольні питання

1. Фізична сутність процесу РОД.
2. Особлива роль гідродинамічного фактору при реалізації процесу РОД.
3. Як розрахувати M ?
4. Як розрахувати M_a ?

5. Як розрахувати a ?

6. Як розрахувати δ_σ ?

7. Як виміряти шорсткість обробленої поверхні отвору Ra після РОД?

8. Як розрахувати γ_L ?

Лабораторна робота № 3

**ВИВЧЕННЯ ПРИНЦИПУ ДІЇ ПЛАЗМОТРОНА
ДЛЯ РІЗАННЯ МЕТАЛУ**

Мета роботи – ознайомлення з принципом дії сучасних плазмотронів та с технологією різання металу [6].

Загальні відомості

Історична довідка. В 1802 році Професор Санкт-Петербурзької медико-хірургічної академії В. В. Петров вперше отримав електричний дуговий розряд. Подальші дослідження показали, що в дуговому проміжку речовина при високій температурі знаходиться в особливому стані, де поряд з нейтральними молекулами та атомами є заряджені частки – іони та електрони. В 1923 році американські фізики Л. Тонкс та І. Ленгмюр запропонували називати таке середовище, в якому значна частина молекул або атомів іонізована, *плазмою*.

Плазмотрони. Для отримання плазми розроблений ряд спеціальних пристроїв, що називаються плазмотронами. Найбільш поширені плазмотрони, в яких нагрівання газу до необхідної температури здійснюється електричним дуговим розрядом.

В дугових плазмотронах плазма може бути отримана при різних видах взаємодії дуги з газом, що утворює плазму. Дані гази можуть бути різні.

Стабілізація дуги в плазмотроні може здійснюватися *аксіальним потоком газу 1*, що створює шар *2*, який обмежує стовп дугового розряду (рис. 3.1, а).

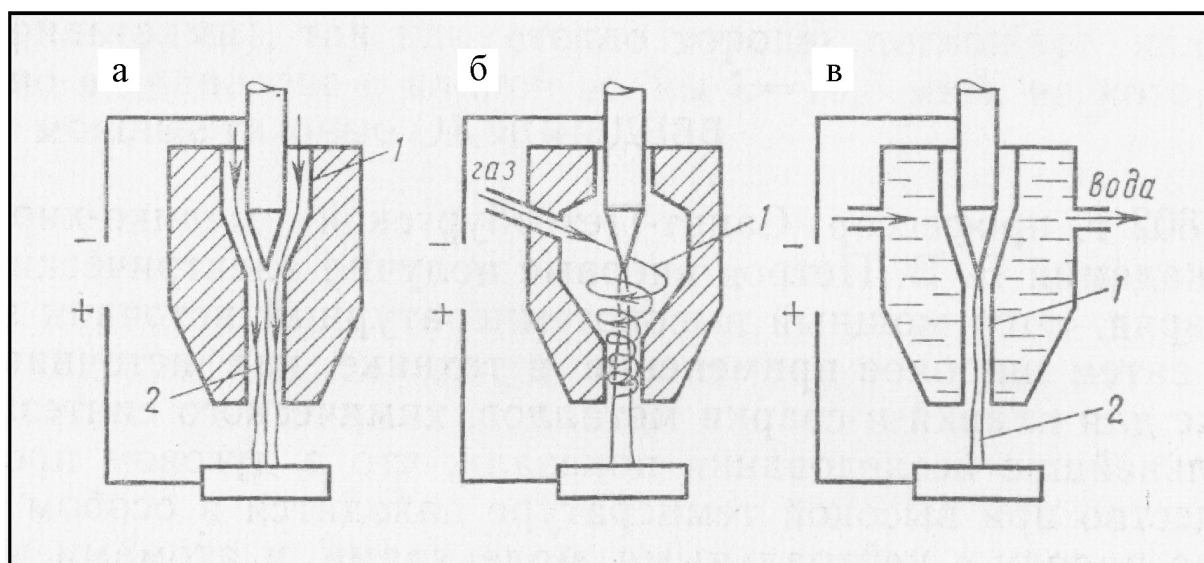


Рис. 3.1. Способи стабілізації дуги в плазмотроні

Найбільш ефективним способом стабілізації дугового розряду в плазмотроні та підвищення його питомих енергетичних характеристик є обмеження діаметра стовпа дугового розряду стінкою, що охолоджується. Звичайно ця стінка виконується у вигляді мідного сопла 1, що охолоджується водою. Сопло має порівняно невеликий діаметр, який обмежує зовнішній діаметр дуги 2 (рис. 3.1, в). В реальних умовах в плазмотроні може застосовуватися одночасно декілька способів стабілізації стовпа дугового розряду.

Розрізняють три основні принципові схеми плазмотронів. В перших двох схемах (рис. 3.2, а, б) для отримання плазми використовується електричний дуговий розряд, а в третій (рис. 3.2, в) – нагрівання газу та утворення плазми здійснюється за рахунок безелектродного високочастотного індукційного розряду.

Схема, що показана на рис. 3.2, а, отримала назву *плазмової дуги*, а плазмотрон для її отримання – *плазмотрон прямої дії*.

Якщо виріб 1 гальванічно не зв'язаний з плазмотроном (рис. 3.2, б), то схема називається *плазмовим струменем*, а плазмотрон носить назву *плазмотрона непрямої дії*.

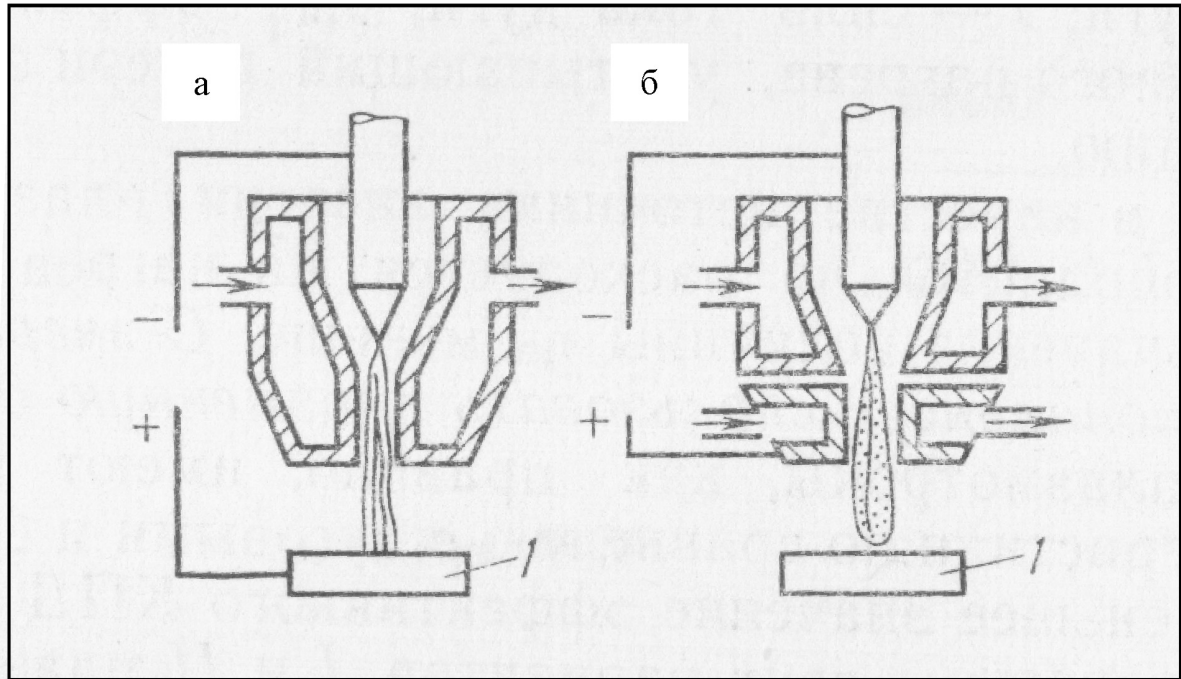


Рис. 3.2. Принципові схеми плазмотронів

Найбільш широко в якості газів, що утворюють плазму, використовуються аргон, гелій, азот, водень, кисень та повітря.

Характеристики плазмового джерела. Основними характеристиками плазмового джерела енергії є його *ефективна теплова потужність*, що визначає відношення кількості тепла, яке вводиться в основний метал, до часу та *коефіцієнт зосередженості* (рос.: «сосредоточенности»), що визначає розподіл питомого теплового потоку за поверхнею виробу, який обробляється.

Для плазмової дуги ефективна теплова потужність визначається за формулою

$$q = U \cdot I \cdot \eta_i,$$

де U – напруга дуги;

I – сила струму дуги;

η_i – ефективний коефіцієнт корисної дії процесу плазмового нагрівання, який враховує втрати енергії при передачі її до виробу.

Розподіл температури плазмової дуги (рис. 3.3, а) та плазмового струменя (рис. 3.3, б) за радіусом r та за довжиною l вкрай нерівномірний.

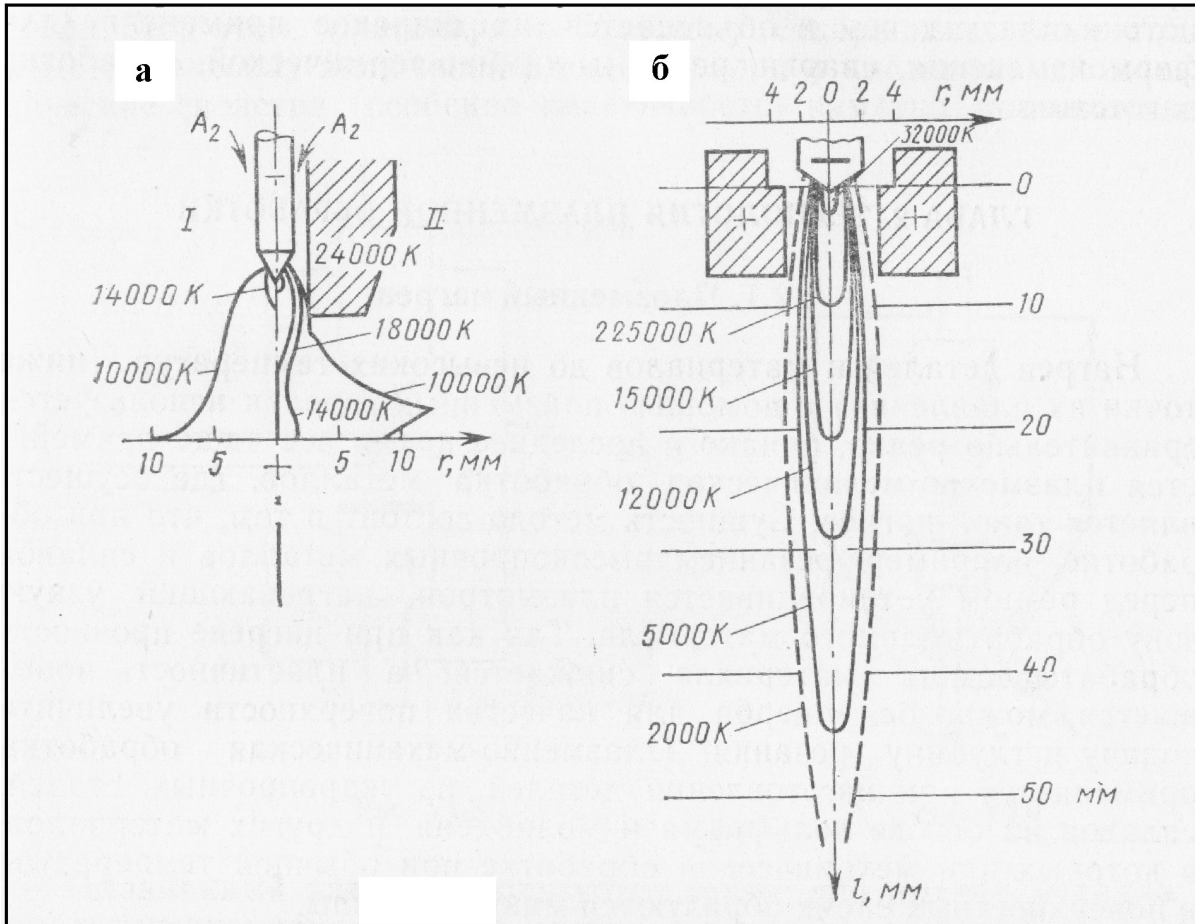


Рис. 3.3. Розподіл температури за радіусом r та довжиною l : а - плазмова дуга; б - плазмовий струмень

Максимальна температура спостерігається в центрі на осі плазмового струменя, причому вона значно вище, ніж у відкритій дуги. Густина теплового струменя для плазмових джерел енергії вище, ніж для відкритої дуги, та досягає 10^6 Вт/см².

Технологія плазмового різання. Плазмове різання має певні переваги, порівняно з різанням механічним інструментом:

- незначна залежність продуктивності обробки від механічних властивостей матеріалів, що розрізаються;

- можливість різання заготовок значної товщини (до 250 – 300 мм);

- можливість різання заготовок будь-якої конфігурації.

Існує два основних різновиду плазмового різання:

- розділове (рис. 3.4, а), коли метал прорізується на усю глибину;

- поверхневе (рис. 3.4, б), що називається струганням.

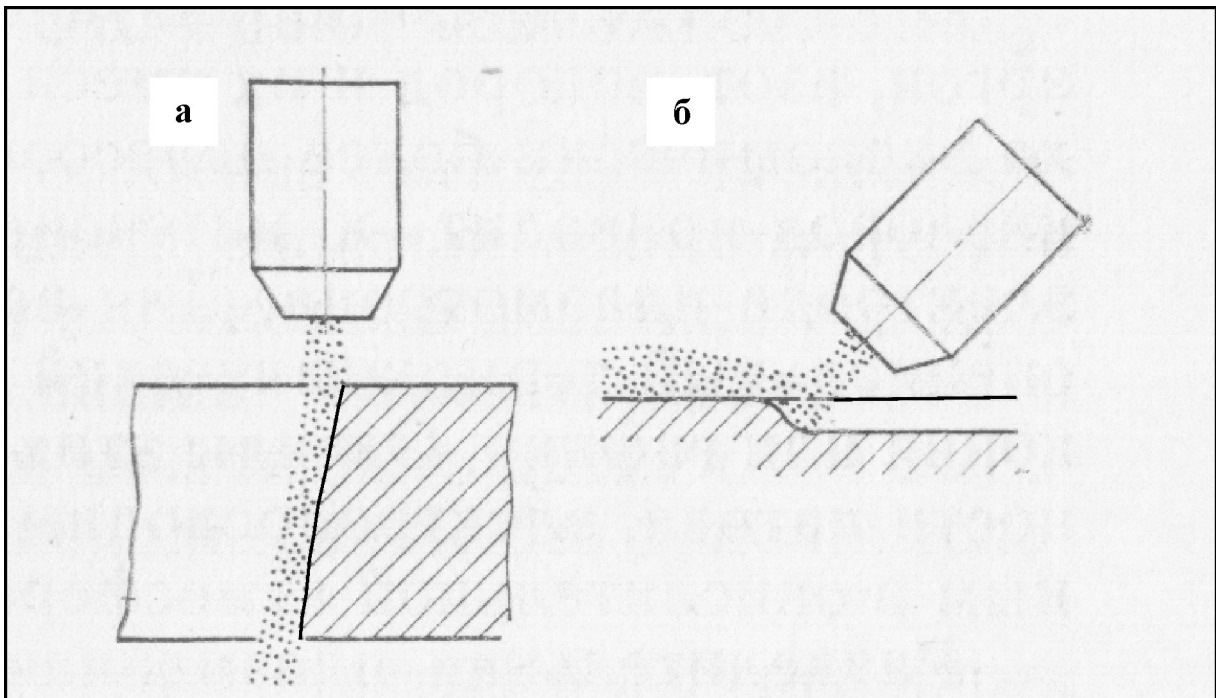


Рис. 3.4. Різновиди плазмового різання: а - розділове; б - поверхневе

В основі процесу лежить локальне розплавлення металу в зоні різку та вилучення його у рідкій фазі за рахунок гідродинамічних сил, що створюються потоком плазми. При цьому відсутній силовий контакт між інструментом та заготовкою, а на поверхні різку залишається шар оплавленого металу в декілька десятків часток міліметра.

Розділове плазмове різання (РПР) широко застосовується у промисловості та будівництві у якості як попередньої, так і остаточної операції виготовлення деталі.

У ливарному виробництві за допомогою РПР вилучають літникові системи на відливках із чавуну та інших важкооброблюваних матеріалів. Причому, різання може здійснюватися як в холодному, так і в гарячому стані відливки.

Крім того, РПР застосовують для різання чавунних труб та розкрою сортового і листового прокату.

Одним із нових напрямків застосування РПР матеріалів є зрізування металу з поверхні заготовки, що обертається, яке здійснюється за схемою звичайної токарної обробки, в якій різець замінений плазмовою горілкою без переносу дуги (рис. 3.5) [7].

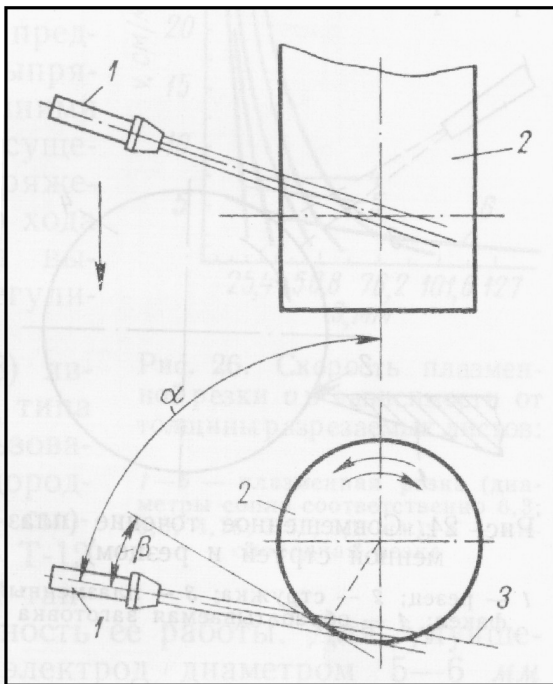


Рис. 3.5. Схема точіння плазмовим струменем: α - кут нахилу горілки до вертикалі; β - кут різання; 1 - плазмова горілка; 2 - деталь; 3 - вісь струменю

Горілка встановлюється тангенціально до поверхні заготовки, плавить та вилучає метал. Швидкість плазмового точіння жароміцних сплавів в 5 – 10 разів вище, ніж точіння механічними методами.

Швидкість точіння може бути значно підвищена при одночасному об'єднанні чорнової плазмової обробки з чистою обробкою різцем, як показано на рис. 3.6.

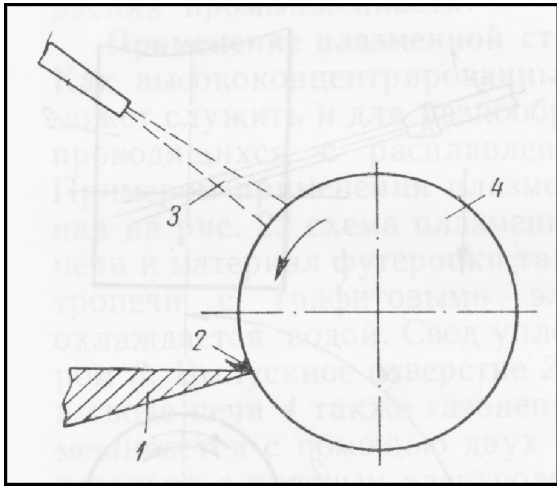


Рис. 3.6. Сполучене точіння (плазмовим струменем та різцем): 1 - різець; 2 - стружка; 3 - плазмовий факел; 4 - заготовка, що обробляється

Обладнання для плазмового різання. На рис. 3.7 наведена установка плазмового різання Plasma-Jet DS.

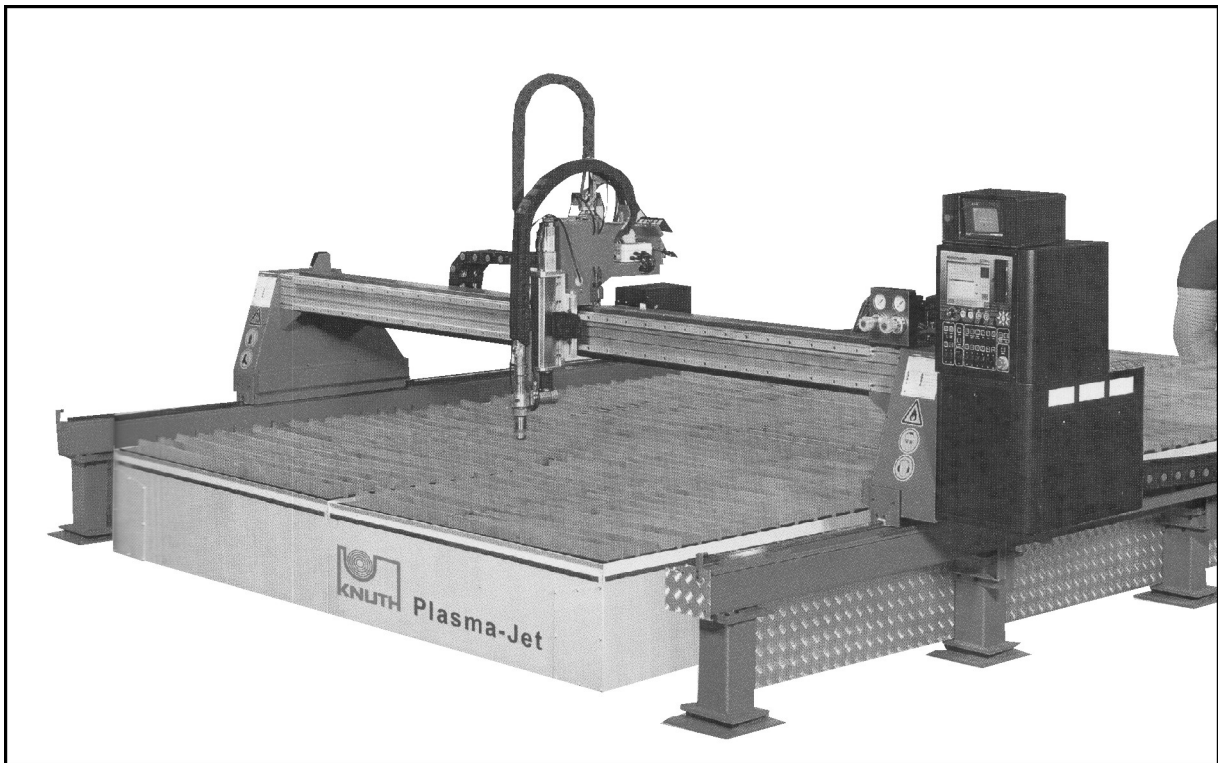


Рис. 3.7. Установка плазмового різання Plasma-JetDS

Дана установка має:

- ЧПК Burny Phantom;
- лінійні напрямні за трьома осями;
- двобічний привод порталу;

- динамічні сервоприводи (АС) змінного струму за трьома координатами з безззорним планетарним приводом;
- розраховані на безперервну роботу малозносні зубчасто-рейкові приводи;
- джерело плазми у відповідності з виробничим завданням;
- автоматичне керування висотою плазмового струменя головки, що ріже;
- окремий стіл для плазмового різання з високим допустимим навантаженням сталевій конструкції;
- швидку заміну головки, що ріже за допомогою спеціального пристрою;
- магнітний тримач головки, що ріже.

Типова горілка для плазмового різання (типу Т-18) представлена на рис. 3.8.

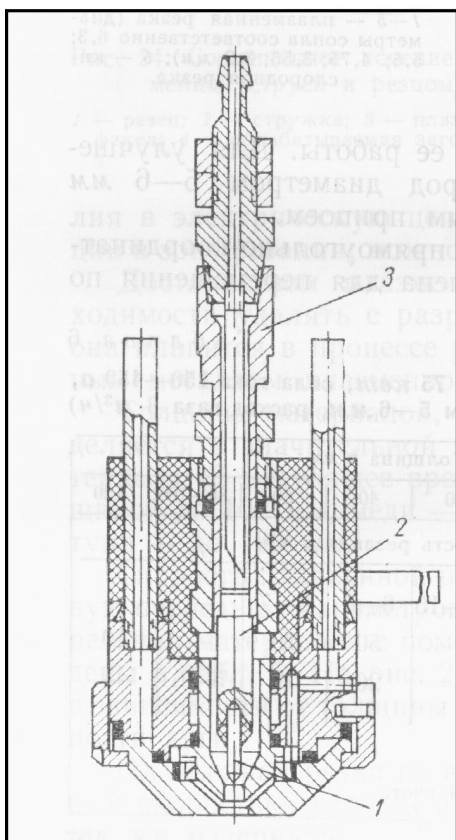


Рис. 3.8. Горілка для плазмового різання типу Т-18:

- 1 - електрод;**
- 2 - мідна втулка;**
- 3 - латунний корпус**

Обладнання, матеріали

Робота виконується на ВАТ «Червона Зірка» біля установки для плазмового різання, що працює.

Установка призначена для розкрою листового сталевих прокату з використанням засобів ЧПК.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Вивчити складові установки для плазмового різання (ВАТ «Червона Зірка»).
3. На підставі спостереження, вивчити технологічну послідовність розкрою листового сталевих прокату на установці плазмового різання.
4. Сфотографувати установку та типову деталь, що отримано плазмовим різанням.

Зміст звіту

1. Коротко навести опис плазмотронів, що використовуються для різання різних матеріалів.
2. Коротко навести опис характеристик плазмового джерела енергії.
3. Коротко навести опис особливостей технології плазмового різання.
4. Коротко навести опис сучасної установки для плазмового різання.

Контрольні питання

1. Хто вперше отримав електричну дугу та коли?
2. Що таке плазма?

3. Способи стабілізації дуги в плазмотронах.
4. Принципові схеми плазмотронів.
5. Формула для визначення ефективної теплової потужності плазмової дуги.
6. Як розподіляється температура за радіусом r та довжиною l плазмового струменя?
7. Різновиди плазмового різання.
8. Схеми точіння заготовок з використанням плазмового струменя.

Лабораторна робота № 4

**ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ
КОПІЮВАЛЬНО-ПРОШИВНОГО ВЕРСТАТА ДЛЯ
ЕХО ПОРОЖНИН КУВАЛЬНИХ ШТАМПІВ**

Мета роботи – ознайомлення з конструкцією типового копіювально-прошивного верстата для ЕХО порожнин кувальних штамів [2, 6, 8].

Загальні відомості

Історична довідка. В 1928 році В. Н. Гусев та Л. А. Рожков запропонували спосіб розмірної електрохімічної обробки (ЕХО). Під розмірною ЕХО розуміють процес отримання із заготовки деталі потрібної форми та розмірів за рахунок анодного розчинення металу.

Область застосування ЕХО. Існує декілька основних схем ЕХО:

- обробка з нерухомими електродами (рис. 4.1). За цією системою отримують місцеве об'єднання в деталях, отвори в листових матеріалах, наносять інформацію, вилучають задирки, округлюють гострі кромки. Потрібна форма поглиблень або отвору утворюється за рахунок нанесення на електроди шару діелектрика;

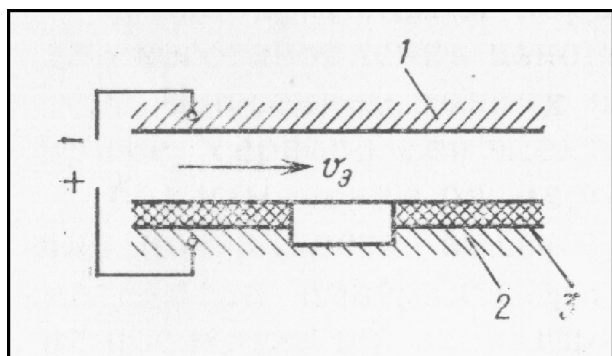


Рис. 4.1. Схема ЕХО з нерухомими електродами

- прошивання поглиблень, порожнин, отворів (рис. 4.2, а). За даною схемою ЕІ 1 має один робочий рух – поступальне переміщення із швидкістю V_i до деталі. Система регулювання зазору підтримує постійний міжелектродний зазор S . Через МЕП прокачують електроліт зі швидкістю V_E . В заготовці інколи передбачають технологічні отвори або щілини для підведення та відведення електроліту та продуктів обробки. За цією схемою виготовляють робочі порожнини кувальних штампів, прес-форм, прошивають отвори, пази, обробляють лопатки турбін, вирізують заготовки різного профілю. До такої схеми відносять і отримання отворів струміневим методом (рис. 4.2, б). Так отримують отвори діаметром 1,5 – 2,0 мм та вирізують контури деталей складної форми;

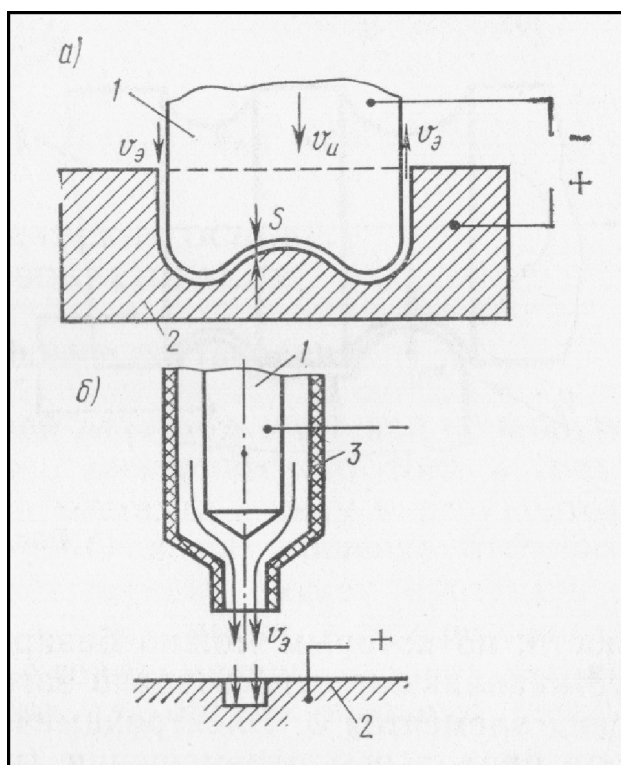


Рис. 4.2. Схеми електрохімічного прошивання

- точіння зовнішніх та внутрішніх поверхонь (рис. 4.3). За даною схемою ЕІ 1 виконує роль різця, але знаходиться від неї на відстані S ;

- протягування зовнішніх та внутрішніх поверхонь. Застосовується лише у спецвиробництвах;

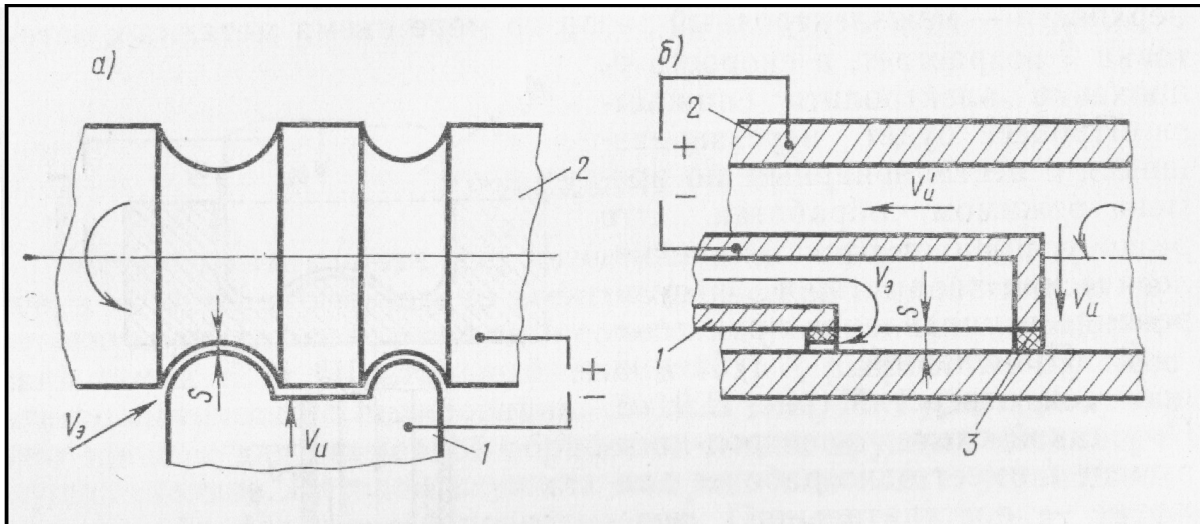


Рис. 4.3. Схеми електрохімічного точення

- різання заготовок. Інструментом може бути диск 1, що обертається (рис. 4.4, а), або дрiт 1 (рис. 4.4, б);

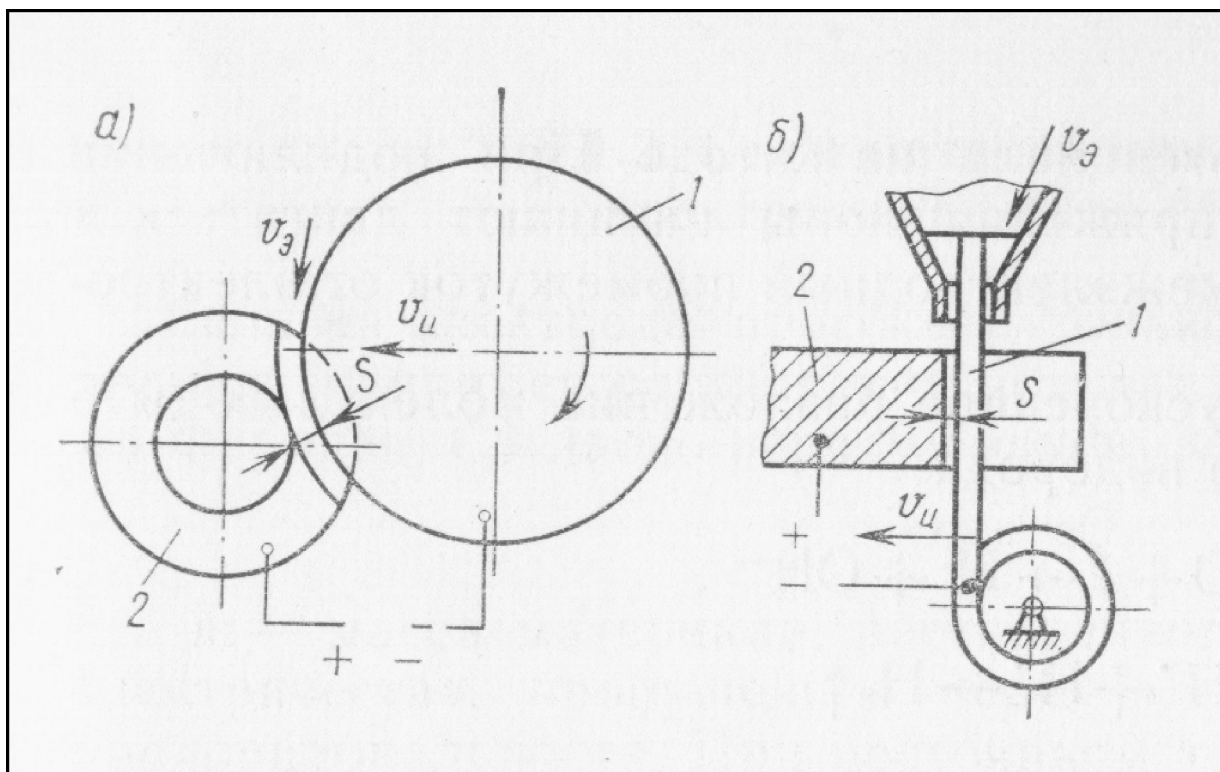


Рис. 4.4. Схеми електрохімічного різання

- шліфування (рис.4.5). При шліфуванні використовують металевий інструмент 1, що обертається, циліндричної форми.

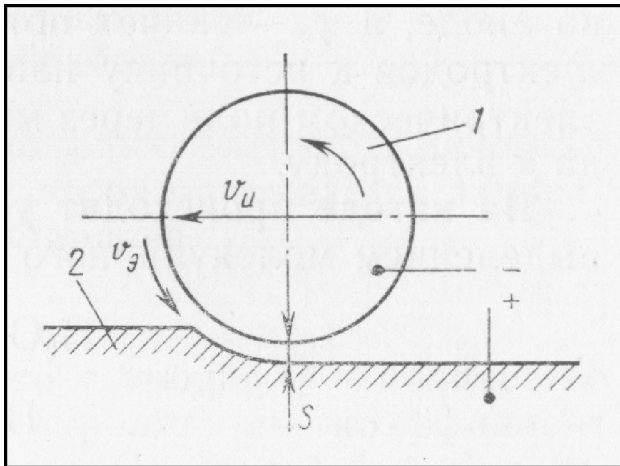


Рис. 4.5. Схема електрохімічного шліфування:

1 - металевий ЕІ;

2 - ЕЗ

Типовий копіювально-прошивний верстат для ЕХО. В якості типового копіювально-прошивного верстату для ЕХО розглянемо верстат моделі 4422 (рис. 4.6).

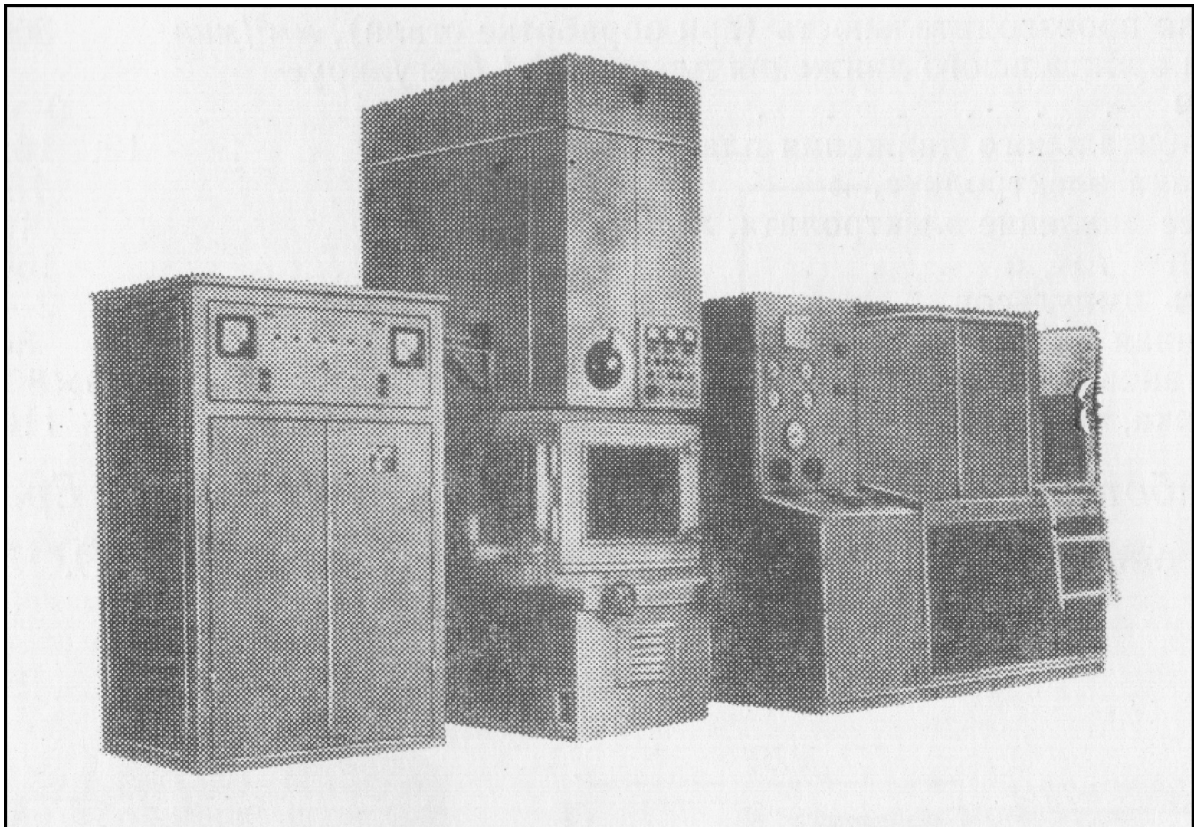


Рис. 4.6. Електрохімічний копіювально-прошивний верстат моделі 4422

Верстат призначений для виготовлення порожнин кувальних штампів, прес-форм, ливарних форм, а також для обробки отворів різної форми в деталях із важкооброблюваних матеріалів.

Верстат включає в себе (див. рис. 4.6) джерело живлення 1, механічну частину 2, гідравлічний агрегат 4. В окремому блоці 3 або в корпусі механічної частини розміщують пристрої для регулювання процесу. Механічну частину верстата виконують жорсткої коробчастої конструкції. Робочий стіл 7 може переміщуватися у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Стіл розташовують в герметичній камері 6 з вікном 5 для спостереження за ходом процесу. Тиск у камері регулюють зміною прохідного перерізу вентиля на виході електроліту із камери.

Конструкція робочої камери верстата 4422 показана на рис.4.7.

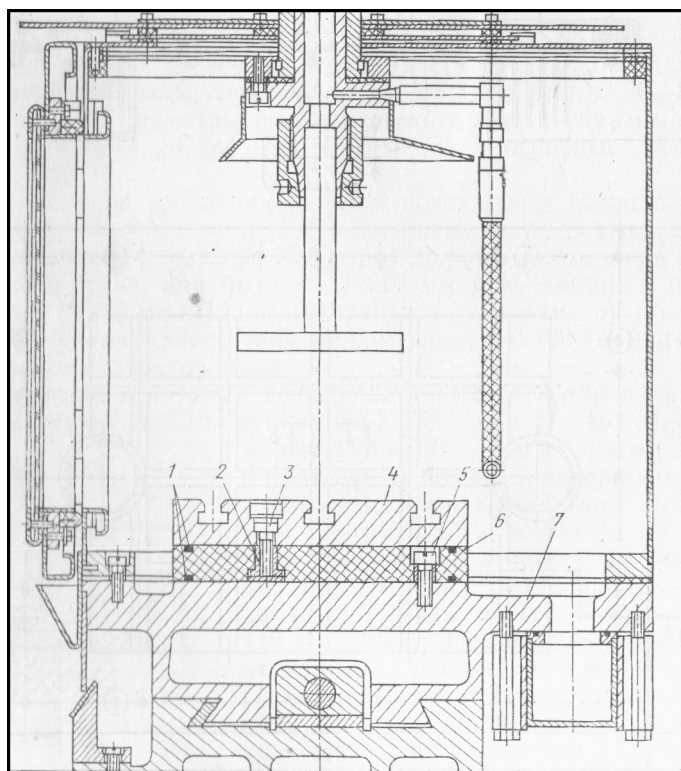


Рис. 4.7. Робоча камера електрохімічного копіювально-прошивного верстата моделі 4422: 1 - ущільнення; 2 - гайка; 3 - гвинт; 4 - інструментальна плита; 5 - гвинт; 6 - ізолятор; 7 рухомий стіл

Для ЕХО порожнини кувального штампа проектується технологічний пристрій, який дозволяє позиціонувати ЕІ (катод) відносно ЕЗ (анод). Крім того, пристрій повинен забезпечити ефективне прокачування

електроліту в міжелектродному зазорі протягом всього циклу обробки порожнини. Принципи забезпечення ефективного прокачування пари ЕХО схожі із принципами прокачування робочої рідини через МЕЗ при РОД. Дані принципи розглядалися вище.

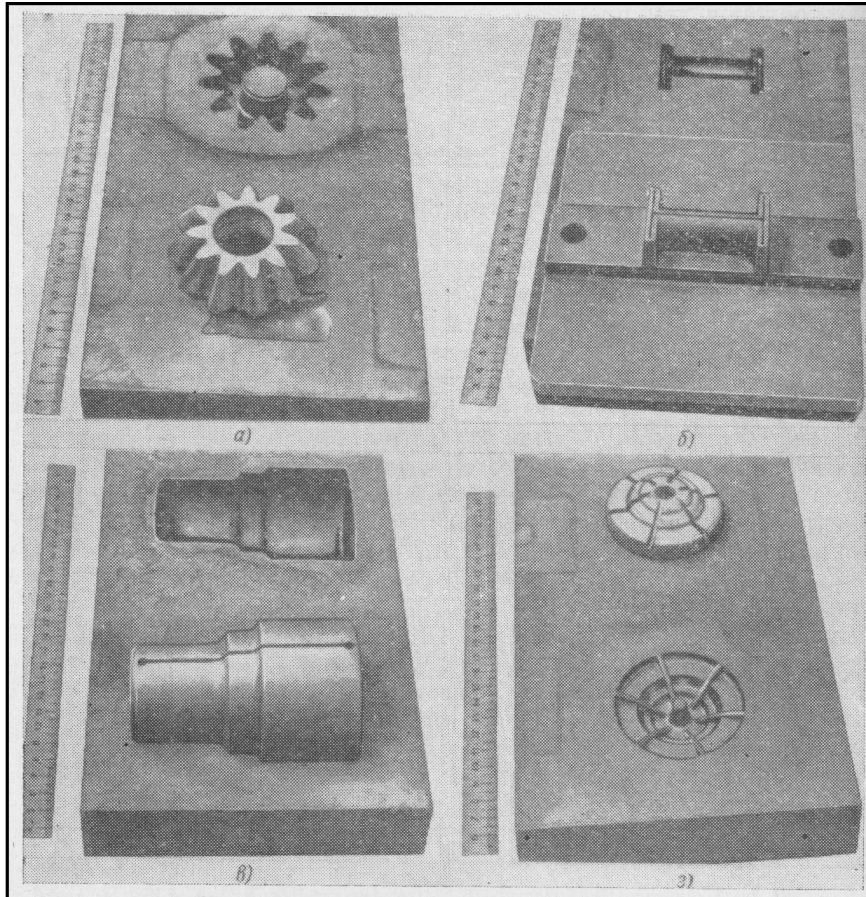


Рис. 4.8. Порожнини кувальних штампів після ЕХО: а - для конічної шестерні; б - для пальця ланцюга; в - для ступінчастого валика; г - для розрізної кришки

На рис. 4.8, як приклад, наведено порожнини штампів після ЕХО.

Основні данні верстата 4422

Найбільші розміри заготовки (довжина × ширина ×
висота), мм 250 × 300 × 160
Розміри робочої поверхні стола (довжина × ширина), мм 250 × 400

Найбільша відстань між поверхнею стола та торцем катодотримача, мм	315
Найбільший хід ЕІ, мм	200
Величина переміщення стола, мм:	
- поздовжнього	260
- поперечного	190
Номінальна сила струму, А	3200
Подача ЕІ, мм	0,3 – 12
Найбільша продуктивність по сталі, мм ³ /хв.	6500
Точність обробки, мм:	
- отворів	0,05 – 0,2
- порожнин	0,1 – 0,3
Шорсткість обробленої поверхні, мкм	<i>Rz 20 – Ra 0,32</i>
Встановлена потужність, кВт	100
Маса верстата, кг	4500

Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися з інструкцією до лабораторної роботи.
2. Ознайомитися з фізичною сутністю процесу ЕХО.
3. Ознайомитися з областю застосування процесу ЕХО.
4. Ознайомитися з типовим копіювально-прошивним верстатом для ЕХО.
5. Ознайомитися з елементами технології процесу ЕХО кувальних штампів.

Зміст звіту

1. Як називається електрод-інструмент в ЕХО?

2. Привести приклад електроліту, що застосовується при ЕХО.
3. Як вилучаються продукти обробки при ЕХО із зони обробки?
4. Як вибирається сила струму та напруга при ЕХО?
5. Яка перевага процесу ЕХО порожнин кувальних штампів порівняно з процесом РОД?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Размерная электрическая обработка металлов: учеб. Пособие / [Артомонов Б. А., Вишницкий А. Л., Волков Ю. С., Глазков А. В.]; под ред. А. В. Глазкова. – М.: Высш. шк., 1978. – 336 с., ил.

2. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: учеб. Пособие / [Артомонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И., Седыкин Ф. В. и др.]; под ред. В. П. Смоленцева. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента. – М.: Высш. шк., 1983. – 247 с., ил.

3. Электрофизические и электрохимические станки: каталог. – М.: НИИИМ, 1978. – 228 с.

4. Боков В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою: монографія / В. М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2002. – 300 с.

5. Боков В. М. Обробка отворів електричною дугою: монографія / В. М. Боков, М. І. Попова. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс – ЛТД», 2014. – 160 с.

6. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: учеб. Пособие / [Артомонов Б. А., Волков Ю. С., Дрожалова В. И., Седыкин Ф. В. и др.]; под ред. В. П. Смоленцева. Т. 2. Обработка материалов с применением высококонцентрированных источников энергии. – М.: Высш. шк., 1983. – 208 с., ил.

7. Попилов Л. Я. Основы электротехнологии и новые её разновидности. Вип. 1 / Л. Я. Попилов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 216 с.

8. Седыкин Ф. В. Размерная электрохимическая обработка деталей машин / Ф. В. Седыкин. – М.: Машиностроение, 1976. – 303 с.

ДОДАТОК А

Загальні правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт

Найбільшою небезпекою при роботі на обладнанні, що охоплює електрофізичні та електрохімічні методи обробки є:

- ураження електричним струмом;
- опіки внаслідок займання робочого середовища;
- отруєння газоподібними речовинами розкладання робочого середовища та речовинами ерозії;
- отримання травм від рухомих частин верстатів.

Перед тим як розпочати роботу на верстаті, необхідно ознайомитися з інструкцією техніки безпеки при роботі на даному верстаті. Переконайтеся, що верстат оснащений засобами індивідуального захисту від впливу електричного струму.

До засобів індивідуального захисту відносяться гумові килимки, які мають тавро про дату іспитів їх на електричну міцність. Необхідно слідкувати за чистотою гумових килимків і не допускати попадання на них масла, гасу, емульсії, які застосовуються в якості робочих середовищ, тому що це приводить до їхнього руйнування та зниженню захисних властивостей.

При роботі верстата не можна торкатися до його струмопровідних частин.

У приміщенні, де знаходиться та обслуговується працюючий верстат, повинно знаходитися не менш двох людей, які вивчили правила безпеки, допущені до роботи верстата, які можуть надати першу допомогу при ураженні електричним струмом. Обслуговування та ремонт верстата однією людиною заборонено.

Приміщення, де встановлено обладнання, повинно постачатися попереджувальними плакатами, а також плакатами, зміст яких має вказівки або запобігання, які відносяться до особливостей виконання тієї чи іншої операцій на цьому верстаті або ділянці.

Вмикання, вимикання та ремонт верстата здійснюється спеціалістами – електриками. В умовах ЦНТУ це може бути викладач або технік (провідний фахівець).

Зміст

Лабораторна робота № 1. Вивчення конструкції та принципу дії електроіскрового та електроімпульсного верстатів	3
Лабораторна робота № 2. Дослідження та розрахунок технологічних характеристик процесу РОД	15
Лабораторна робота № 3. Вивчення принципу дії плазмотрона для різання металу	23
Лабораторна робота № 4. Вивчення конструкції та принципу дії копіювально-прошивного верстата для ЕХО кувальних штамтів	33
Список використаних джерел.....	41
Додаток А Загальні правила техніки безпеки при виконанні лабораторних робіт.....	42