

## Лабораторна робота № 6

### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ

**Мета роботи** – вивчення технологічних особливостей електроерозійної обробки металів; набуття практичних навичок в експериментальних дослідженнях режиму електроерозійної обробки.

#### 6.1 Основні технологічні характеристики процесу електроерозійної обробки металів

Електроерозійна обробка (ЕЕО) заснована на явищі ерозії металів під впливом електричного струму. Електричні розряди, що виникають між двома електродами – електродом-інструментом (ЕІ) й електродом-заготовкою (ЕЗ), які знаходяться на невеликій відстані один від одного, руйнують їхні поверхні.

Розглянемо механізм руйнування металу заготовки під дією іскрового розряду. При зближенні ЕІ з ЕЗ, які знаходяться під напругою, настає момент, коли між виступними частинами їхніх поверхонь, що найбільше наблизилися одна до одної, створюється електричне поле максимальної напруги (рисунок 6.1).

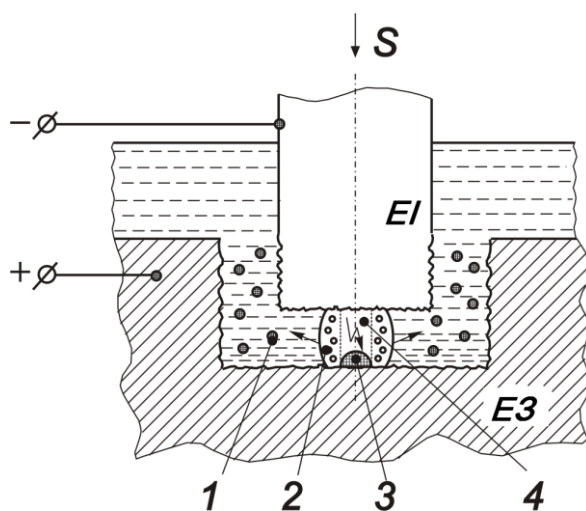


Рисунок 6.1 – Схема процесу руйнування металу при ЕЕО

Відбувається електричний пробій міжелектродного проміжку (МЕП), заповненого рідким діелектриком (водою, гасом, мінеральними маслами). У місці пробою і локалізації іскри виникає плазменний канал розряду 1, де відбуваються процеси нагрівання (до 11000°С) й іонізації речовини робочої рідини. Між електродами через канал розряду переноситься електричний розряд, у плазмі виділяється теплова енергія, а перехід зарядів через межу між плазмою й електродами супроводжується надходженням імпульсних теплових потоків на анод і катод.

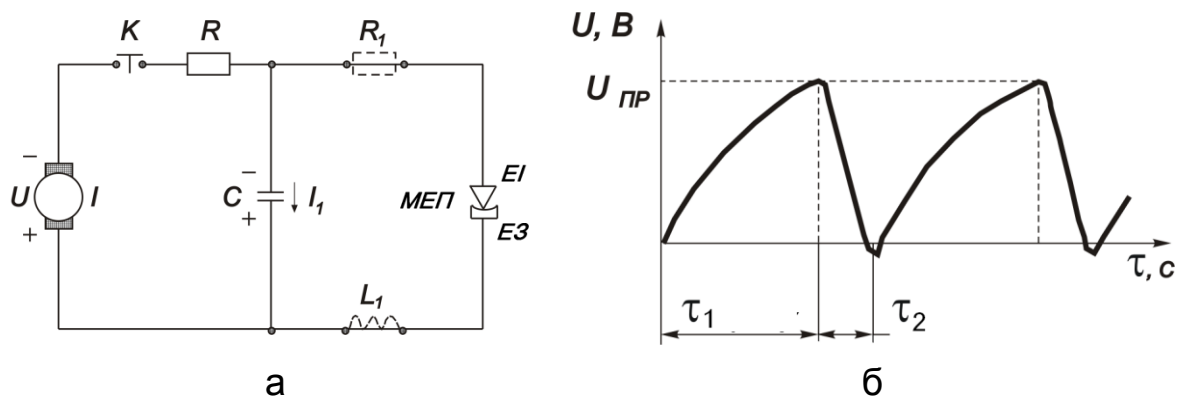
Матеріал ЕЗ з лунки 2 у вигляді рідкої краплі викидається в МЕП. Через виділення теплової енергії канал розряду оточується газоподібними

продуктами розпаду робочого середовища - газовими бульбашками 3. Стінки розширюваного бульбашки виштовхують з МЕП робоче середовище, потік якого захоплює частинки 4, раніше викинуті з лунок, і виводить їх з МЕП. Так виникає явище електричної ерозії, що використовується для знімання металу з поверхні заготовки.

Таким чином, якщо в ланцюзі ЕТ-ЕЗ створити умови, за яких періодично відбувався б іскровий розряд, то в результаті електроіскрової обробки профіль ЕІ буде точно відтворений на поверхні або в тілі заготовки. Для створення імпульсів напруги, що йдуть один за одним через певні проміжки часу, в електроерозійному верстаті передбачаються генератори імпульсів (ГІ). Імпульси невеликої енергії одержують за допомогою релаксаційних ГІ – RC і RLC, могутні імпульси – за допомогою машинних ГІ.

При виконанні лабораторної роботи використовується електроерозійний верстат моделі 183, у якому як ГІ застосовується релаксаційний

RC - генератор (рисунок 6.2, а). ГІ складається з джерела електричної енергії постійного струму  $U$  (220 В), кнопки  $K$  «Пуск», струмообмежувального зарядного резистора  $R$  і накопичувального конденсатора  $C$ , підмікненого паралельно МЕП.



**Рисунок 6.2 – Схема RC- генератора: а – принципова електрична схема; б – графік зміни напруги на конденсаторі**

Елементи U-R-C складають зарядний ланцюг, а контур C-МЕП - розрядний ланцюг.

RC-генератор працює у такий спосіб. Вважаємо, що спочатку напруга на конденсаторі  $U$  дорівнює нулю. При натисканні кнопки  $K$  в ланцюзі U-R-C з'являється зарядний струм  $I$ , напруга на конденсаторі й МЕП підвищується. При досягненні нею пробивного значення  $U_{пр}$  відбувається пробій МЕП. У ланцюзі C-МЕП виникає струм розряду  $I_1$ , при цьому енергія імпульсу, запасена в конденсаторі, за дуже короткий час вводиться в МЕП. Через те, що тривалість зарядження конденсатора  $\tau_1$  перевищує час розрядження  $\tau_2$  (рисунок 6.2, б), напруга на конденсаторі падає і розрядження у МЕП припиняється.

Відбувається деіонізація (відновлення електричної міцності МЕР) речовини каналу розрядження, і напруга на конденсаторі знову починає підвищуватися через його зарядження від джерела  $U$ . Оскільки розрядний ланцюг має деяку індуктивність  $L_1$ , конденсатор перезаряджається протягом розрядження до деякої вид'ємної напруги, що полегшує процес деіонізації.

Таким чином, джерело уніполярних імпульсів (імпульсів однієї полярності) періодично збуджує короточасні розряди між  $E1$  і  $E3$  і дозволяє здійснити процес вибіркової ерозії, тобто різко послабити ерозію одного з електродів.

Більш інтенсивному руйнуванню піддається електрод, з'єднаний з позитивною обкладкою конденсатора (анод), а електрод, підімкнений до негативної обкладки (катод), спрямовує руйнування й зумовлює його форму.

Тому застосовують два способи вмикання електродів у ланцюг:

а) пряма полярність ( $E1$  служить катодом,  $E3$  - анодом);

б) зворотна полярність ( $E1$  служить анодом,  $E3$  – катодом).

Вибір полярності зумовлений необхідністю одержувати швидкості руйнування металу на заготовці й найменше спрацювання  $E1$ .

Для підвищення інтенсивності руйнування металу МЕР заповнюють діелектричною рідиною, тобто процес ЕЕО здійснюють у ванні, заповненій робочим середовищем (гасом, дистильованою водою, соляровим маслом).

Матеріал  $E1$  вибирають залежно від матеріалу оброблюваної заготовки. При обробці сталевих заготовок як матеріал  $E1$  використовують мідь, латунь, коксографітову композицію, при обробці твердих сплавів – чавун і алюміній.

При електроерозійній обробці безпосередній контакт  $E1$  і  $E3$  відсутній. Основна область застосування ЕЕО – прошивання отворів і порожнин різної конфігурації залежно від форми перерізу  $E1$  (незалежно від твердості та в'язкості матеріалу).

## 6.2 Технологічні схеми ЕЕО

Технологічні схеми ЕЕО забезпечують реалізацію необхідного взаємозв'язку електричного режиму з технологічними показниками процесу.

Електроерозійну обробку виконують профільованими або непрофільованими  $E1$ . Форму і розміри робочих поверхонь профільованих  $E1$  визначають відповідно до заданої поверхні деталі, що виготовляється, тоді як непрофільовані  $E1$  мають найпростішу геометричну форму – у вигляді дроту, стрижня або диска.

Формоутворення оброблюваної деталі електроерозійним методом можна здійснювати за двома схемами:

1. Копіюванням форми  $E1$ , тобто одержанням у деталі порожнини або опуклості, що є зворотним відображенням робочої поверхні  $E1$ . Цю операцію, що називають прошиванням, виконують при одному поступальному русі  $E1$ . Окремий випадок описаного процесу – прошивання різних отворів у

заготовках, при якому лише копіюють форму перерізу ЕІ.

На рисунку 6.3 зображені: технологічні схеми ЕЕО заготовок 1 методами прямого (а - д) і зворотного (е) копіювання форми профільованими ЕІ 2; прошивання отворів із прямолінійними (в) і криволінійніми (г) осями; об'ємне формоутворення порожнини (д) і зовнішніх поверхонь (е).

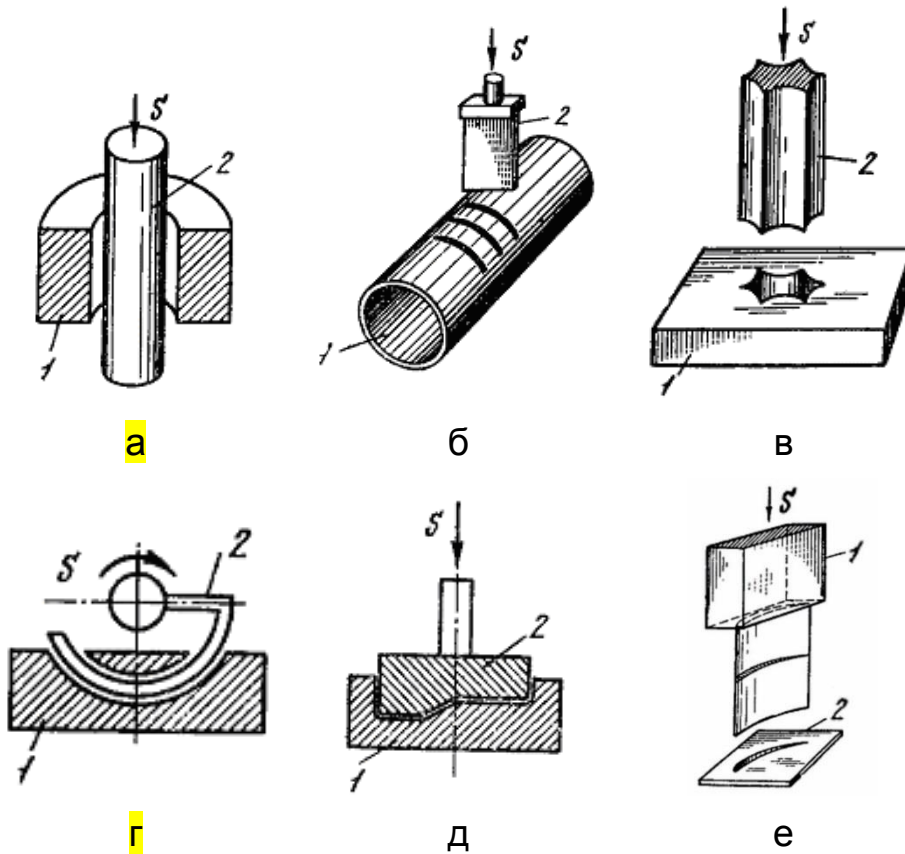


Рисунок 6.3 – Схеми процесів ЕЕО профільованим ЕІ

2. Взаємним переміщенням оброблюваної заготовки і непрофільованого ЕІ, при якому матеріал знімається з поверхні або заготовку розрізають (рисунок 6.4). У цій схемі можна виділити два види операцій: вирізання складнопрофільованих деталей і розрізування деталей 1 непрофільованим ЕІ 2 (а, б); шліфування і розточування заготовок дисковими і стрижневими ЕІ (в, г).

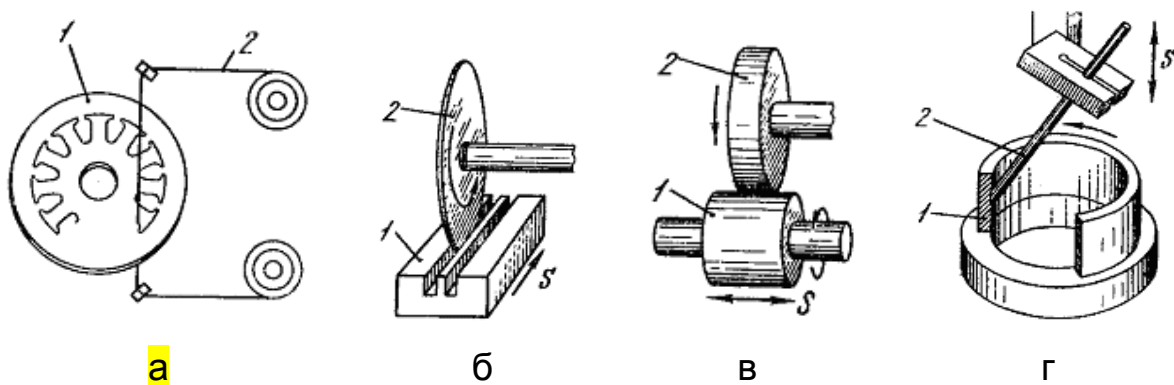


Рисунок 6.4 – Схеми процесів ЕЕО непрофільованим ЕІ

Перша технологічна схема ЕЕО профільованим ЕІ найбільш поширена. Форма ЕІ відповідає формі одержуваної поверхні.

У другій технологічній схемі ЕЕО непрофільованим ЕІ найбільшого поширення набула обробка дровим ЕІ. Переваги цього методу: можливість вирізання складних контурних листових деталей високої точності; доступність і відносна нескладність автоматизації руху подачі за заданою програмою; простота конструкції верстата. Недолік цієї схеми обробки – можливість її використання тільки при вирізних або обрізних роботах.

### 6.3 Характеристики режиму і технологічні показники ЕЕО

Важливою характеристикою режиму ЕЕО є енергія імпульсу, що визначає продуктивність, точність і якість обробленої поверхні деталі. Зі зростанням енергії імпульсів підвищується продуктивність, однак знижується якість оброблюваної поверхні.

Енергія імпульсу дорівнює енергії, накопичений у конденсаторі, Дж:

$$A_i = \frac{CU_{np}^2}{2}, \quad (6.1)$$

де  $C$  – ємність конденсатора, Ф;

$U_{np}$  – пробивна напруга, В.

Досвідним шляхом виявлено, що в оптимальному режимі конденсатор заряджається до напруги, що становить 0,50...0,75 напруги холостого ходу ( $U = 180$  В). Таким чином,  $U_{np} = (0,50...0,75)U$ .

За енергією імпульсу  $A_i$  режими ЕЕО поділяють на три основні групи: жорсткі (5,0..0,5 Дж), середні (0,4.. 0,05 Дж) і м'які (менше 0,05 Дж), що за технологічними показниками відповідає чорновим, чистовим і оздоблювальним видам розмірної обробки.

### Продуктивність ЕЕО

Продуктивність ЕЕО визначається обсягом (масою) металу оброблюваної поверхні за одиницю часу,  $\text{мм}^3/\text{хв}$  (г/хв).

Продуктивність обробки залежить від електроерозійної оброблюваності металу, сполучення марок матеріалів ЕІ і ЕЗ і потужності імпульсу, реалізованої в МЕР. При постійній енергії імпульсу і збільшенні площі обробки вона зменшується, що пояснюється уповільненням швидкості видалення продуктів ерозії з МЕР. У цьому випадку значна частина розрядів супроводжується не зніманням металу, а дробленням часток, не виведених з МЕР. З метою поліпшення умов виведення продуктів ерозії з МЕР, що стабілізує процес ЕЕО і підвищує його продуктивність, застосовують обертання або вібрацію ЕІ в напрямку його подачі та прокачування робочої рідини.

На технологічні показники ЕЕО істотно впливають види і стан робочої рідини. Наприклад, заміна гасу дистильованою водою при ЕЕО мідним ЕІ твердих сплавів і загартованих сталей знижує, а при ЕЕО вольфрамівими і тврдосплавними ЕІ підвищує її продуктивність. Протягом обробки зростають зольність і в'язкість робочої рідини, і тому останню періодично замінюють. Збільшення в'язкості робочої рідини сповільнює виведення з МЕП продуктів ерозії та знижує продуктивність.

На продуктивність ЕЕО впливає матеріал ЕІ, від властивостей якого залежать пробивна напруга і, відповідно, енергія імпульсів, характер теплообміну в МЕП, швидкість деіонізації тощо.

Усі метали і сплави за здатністю електроерозійної оброблюваності поділяють на три групи: а) добре оброблювані; б) що піддаються обробці в меншому ступені; в) які слабо руйнуються від діяння розрядів.

Різний вплив імпульсних розрядів на метали і сплави визначається їх теплофізичними властивостями (температурою плавлення і кипіння, теплопровідністю і теплоємністю). Механічні властивості (твердість, в'язкість) на ефект ерозії не впливають.

Нижче наведено відносно оброблюваність деяких матеріалів (при цьому оброблюваність сталі умовно прийнята за одиницю):

Магнієві сплави	– 6,0	Сталі	– 1,0
Алюмінієві сплави	– 4,0	Титанові сплави	– 0,6
Латунні сплави	– 1,6	Тверді сплави	– 0,5

Чим вище теплофізичні властивості матеріалу ЕІ і шорсткість робочих поверхонь, тим більше зазначена гранична потужність, оскільки теплопровідність визначає швидкість відводу тепла з поверхні ЕІ, а шорсткість – дійсну площу теплопровідної поверхні. Якщо шорсткість однакова, то найбільша гранична потужність досягається при ЕЕО мідними електродами, менша – алюмінієвими, менша – алюмінієвими.

### Точність обробки

Точність ЕЕО задається не тільки факторами, що властиві будь-якому методу розмірної обробки, але й факторами, характерними тільки для ЕЕО. Ці фактори визначають відповідно первинні похибки, сукупність яких створює сумарну похибку  $\Delta$ .

Первинна похибка  $\Delta_{МЕП}$ , що виникає через наявність міжелектродного зазору  $\alpha$ , найбільш істотна. У загальному випадку

$$\alpha = \alpha_{np} + \frac{2}{3} R_{zmax} + t, \quad (6.2)$$

де  $\alpha_{np}$  – пробивний міжелектродний зазор для чистої робочої рідини, що залежить від максимальної напруги генератора імпульсів;

$R_{zmax}$  – висота нерівностей шорсткості, яка зростає з підвищенням енергії імпульсу;

$t$  – сумарна частина міжелектродного зазору, перекритого продуктами ерозії, що збільшується з посиленням потужності режиму обробки.

Похибка форми  $\Delta\phi$  оцінюється різницею між верхнім  $\alpha_{\text{в}}$  і нижнім  $\alpha_{\text{н}}$  міжелектродними зазорами:

$$\Delta\phi = \alpha_{\text{в}} - \alpha_{\text{н}}. \quad (6.3)$$

Для підвищення точності ЕЕО необхідно зменшити різницю міжелектродних зазорів, наприклад, застосуванням оздоблювального режиму. При прошиванні наскрізних отворів погіршність їхньої форми знижують, просуваючи ЕІ за межі нижньої поверхні ЕЗ, тобто до повного припинення електричних розрядів у бічній частині МЕР.

### Якість поверхні

При ЕЕО в результаті впливу електричних розрядів оброблена поверхня набуває характерних нерівностей, тобто профіль поверхні являє собою результат накладення одної на одну величезної кількості лунок (рисунок 6.5).

Шорсткість обробленої поверхні оцінюють висотою горбиків у місці перетинання лунок, що утворюються на поверхні деталі при електричному розряді.

Якщо вважати, що дно лунки сферичне з радіусом  $r_{\text{л}}$  і глибиною  $h_{\text{л}}$ , а відстань між центрами лунок  $l = r_{\text{л}}$ , то виявиться, що висота горбиків у місці перетинання лунок  $h = R_{z\text{max}}$ .

Таким чином, з геометричних розрахунків

$$R_{z\text{max}} = h \approx 0,33h_{\text{л}}. \quad (6.4)$$

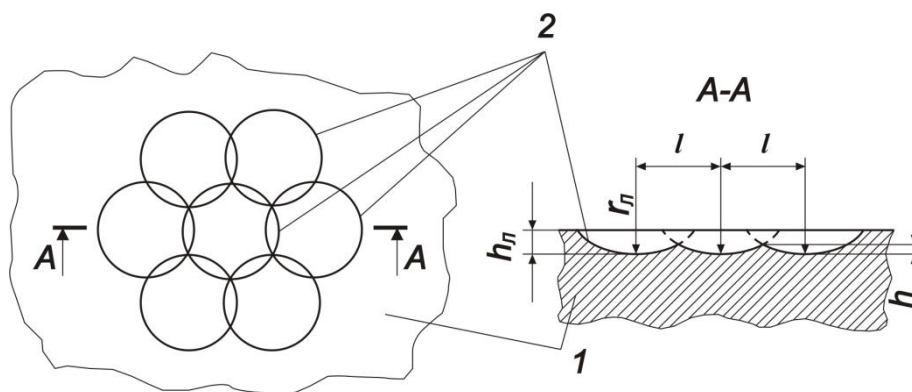


Рисунок 6.5 – Профіль поверхні ЕЗ, обробленої на електроерозійному верстаті: 1 – електрод-заготовка; 2 – лунки

Отже, шорсткість визначається тими ж умовами обробки, що й глибина лунки. Останню можна розрахувати за допомогою емпіричної залежності

$$h_{\text{л}} = kA_i^n, \quad (6.5)$$

де  $k$  – коефіцієнт глибини лунки, що залежить від механічних властивостей матеріалу заготовки (для сталей  $k = 226$  мкм/Дж, для твердих сплавів  $k = 120$  мкм/Дж);  $n$  – безрозмірний коефіцієнт (для сталей і твердих сплавів  $n = 0,38$ ).

Тоді шорсткість визначається енергією імпульсу

$$R_z = \frac{k}{3} (0,5CU_{np}^2)^{0,38}. \quad (6.6)$$

Шорсткість поверхні та продуктивність обробки зменшуються зі зниженням енергії імпульсу і відповідають даним таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – Залежність параметрів обробки від режиму ЕЕО

Параметри обробки	Оброблений матеріал							
	Сталь				Твердий сплав			
Номер режиму	I	II	III	IV	I	II	III	IV
Продуктивність процесу $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	119	66	26	9	59	32	7	5
Шорсткість поверхні $R_z$ , мкм	32	16	6	2,5	16	6	3,2	2,5
Міжелектродний однібічний зазор $\alpha$ , мм	0,15	0,08	0,05	0,03	0,08	0,04	0,03	0,01

#### 6.4 Конструкція копіювально-прошивального електроерозійного верстата моделі 183

Копіювально-прошивальні верстати призначені для одержання отворів будь-якого перерізу, заглиблень, а також нанесення на заготовки написів.

У лабораторній роботі використано копіювально-прошивальний електроерозійний верстат моделі 183, у якому механічні вузли й електричне устаткування становлять єдине ціле (рисунок 6.6).

Корпус верстата закріплюється на підставці 1 коробчастої форми. На рухомій рамі верстата установлюється ванна 2 з робочою рідиною. Переміщення ванни відбувається за допомогою гвинтової передачі, що має привід від електродвигуна, або вручну знімною рукояткою.

ЕЗ установлюють на столі 3, ЕІ – в електродотримачі 4. Інструментальну голівку 5 переміщують у двох взаємно перпендикулярних напрямках і повертають на кут  $\pm 90^\circ$  відносно столу вручну.

Електровимірвальні прилади і системи керування верстатом розташовані на бічній панелі корпусу (див. рисунок 6.6), де 6 – сигнальні лампи, 7 – вольтметр, 8 – ручка потенціометра настроювання регулятора, 9 – натискні рубильники вмикання режиму обробки, 10 – кнопки вимикання режиму обробки, 11 – кнопки керування верстатом.

Верстат моделі 183 має РС-генератор, дозволяє обробляти ЕЗ з габаритними розмірами 1100x400x120 мм і масою не більш 1350 кг із максимальною продуктивністю по сталі 115 мм<sup>3</sup>/хв і по твердому сплаву –

46 мм<sup>3</sup>/хв, забезпечуючи шорсткість поверхні відповідно від 40 до 6,3 мкм і від 2,0 до 1,6 мкм; потрібна потужність - до 5 кВт.

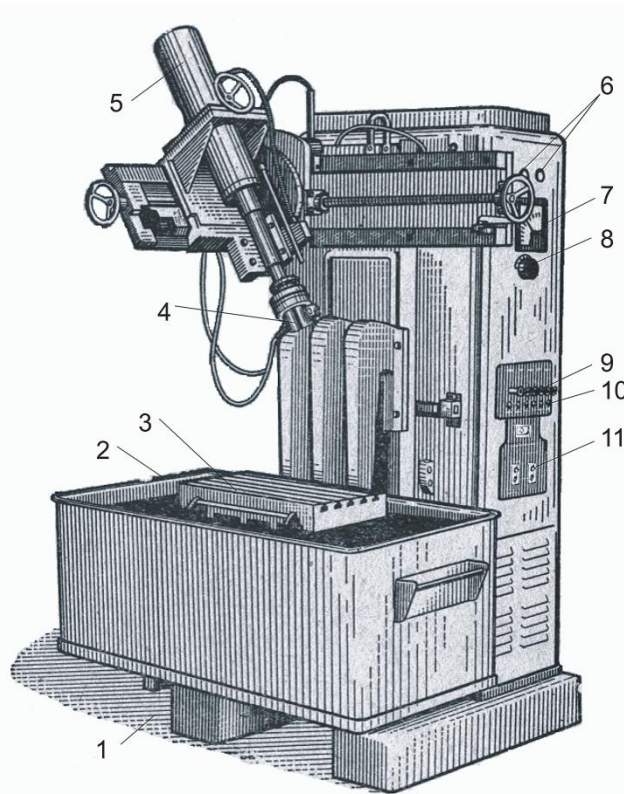


Рисунок 6.6 – Компонування верстату для ЕЕО моделі 183

#### 6.4.1 Техніка безпеки при роботі на верстатах ЕЕО

Найбільшу небезпеку при обслуговуванні електроерозійних верстатів становлять ураження електричним струмом і загоряння робочої рідини, що приводить до опіків і пожежі.

При роботі на електроерозійних верстатах слід дотримуватися загальних правил і рекомендацій, що гарантують пожежну безпеку при роботі на такому устаткуванні, а саме:

1. Забороняється вмикати верстат і працювати на ньому без дозволу викладача або навчального майстра.

2. Верстат має бути заземлений.

3. При обслуговуванні верстата слід стояти на гумовому килимку і користуватися гумовими рукавичками.

4. При роботі верстата забороняється доторкатися до струмоведучих його частин (електродотримача, електродів, столу).

5. ЕІ і ЕЗ мають бути надійно ізольовані від корпусу верстата і добре закріплені. При слабкому закріпленні може виникнути іскріння, що буде причиною загорання робочої рідини.

6. У випадку загорання рідини ванну необхідно опустити, а потім накрити щитом. Щит слід зберігати поруч з верстатом.

7. При обслуговуванні працюючого верстата варто знаходитися на

достатній відстані від ванни з метою запобігання забруднення одягу робочою рідиною.

8. Ванну опускають тільки при виключеному верстаті.

9. На ділянці електроерозійної обробки забороняється палити.

### **6.5 Комплектування лабораторної роботи**

1. Верстат електроерозійний моделі 183.

2. Мікроскоп вимірювальний МБС-9 (збільшення від 4 до 100).

3. Індикатор вимірювальний на підставці (ціна ділення 0,010 мм).

4. Зразки-свідки з матеріалів: титанового сплаву марки ВТ20-3, алюмінієвого сплаву марки Д16Т і сталі марки 40Х.

5. ЕІ з матеріалів: латунь марки ЛС59, мідь марки М1.

### **6.6 Порядок проведення експериментальних досліджень**

1. Ознайомитися з основними технологічними характеристиками процесу електроерозійної обробки металів.

2. Вивчити правила техніки безпеки при роботі на верстатах електроерозійної обробки.

3. Закріпити в електродотримачі ЕІ, зафіксувати заготовку на столі верстата прихватами і занурити її в рідину шляхом підйому ванни.

4. Увімкнути верстат натисканням рубильника 9 для обраного режиму обробки і прошити отвір.

5. Вимкнути верстат натисканням кнопки 10 для вибраного режиму.

6. Зробити вимір перерізів отвору у зразку-свідку зі сталі марки 40Х, обчислити міжелектродний однобічний зазор  $\alpha$  і занести результати до протоколу №1 (таблиця 6.2).

7. Зробити вимір глибини лунок для зразків-свідків із двох матеріалів, обчислити продуктивність ЕЕО при заданих режимах і занести результати до протоколу №2 (таблиця 6.3).

8. Відповісти на контрольні запитання.

9. Оформити звіт з лабораторної роботи.

### **6.7 Зміст звіту**

1. Короткий конспект, що відбиває основні технологічні характеристики процесу ЕЕО металів (див. підрозділ 5.1, рисунок 6.1).

2. Ескізи технологічних схем ЕЕО (див. рисунки 6.3, в, г і 6.4, а).

3. Ескіз профілю поверхні ЕЗ, обробленої на електроерозійному верстаті (див. рисунок 6.5).

4. Операційні ескізи для обробки поверхонь ЕЗ і ЕІ з виконавчими розмірами.

5. Протокол №1 (див. таблицю 6.2) про результати залежності міжелектродного однобічного зазору  $\alpha$  від режиму ЕЕО.

6. Графік залежності міжелектродного однобічного зазору  $\alpha$  від режиму ЕЕО зразка-свідка зі сталі 40Х.

7. Протокол про результати залежності продуктивності ЕЕО від коефіцієнтів теплоємності матеріалів зразків-свідків: ВТ20-3 і Д16Т згідно з протоколом №2 (див. таблицю 6.3.)

8. Графіки залежності продуктивності ЕЕО від часу обробки при заданих режимах, зазначених у протоколі №2.

9. Висновки про результати проведених експериментальних досліджень на зразках-свідках.

Таблиця 6.2 - Протокол №1. Залежність міжелектродного одностороннього зазору  $\alpha$  від режиму ЕЕО

1. Зразок- свідок – пластина, матеріал – сталь марки 40Х, твердість від 58 до 63 НС, лист товщиною $S = 5$ мм.			
2. ЕІ – пруток ш.Н.М – 14/ латунь марки ЛС 59 (ш - шестигранник; Н - нормальної точності; М - м'який).			
3. Час обробки $\tau = 10$ хв.			
Номер режиму (потужність, кВт)	Розміри перерізів отворів, мм		Міжелектродний односторонній зазор $\alpha$ , мм
	верхнього	нижнього	
I (5,0)			
II (3,0)			
III (2,0)			

Таблиця 6.3 - Протокол №2. Залежність продуктивності ЕЕО від режиму і часу обробки

1. Зразок – пластина, матеріал і їхня питома теплоємність, кДж/кг·К –титановий сплав марки ВТ20-3 (550); алюмінієвий сплав марки Д16Т (900);					
2. ЕІ – пруток ш.Н.М – 14/ латунь марки ЛС 59 ;					
Час обробки $\tau$ , хв	1,0	1,5	2,0	2,5	
Глибина лунки зразка-свідка $h_L$ , мм					
Номер режиму обробки (потужність $N$ , кВт)	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				
Продуктивність ЕЕО при заданому режимі і часі обробки $Q$ , мм <sup>3</sup> /хв	I (5,0)				
	II (3,0)				
	III (2,0)				
	IV (1,0)				

## 6.8 Контрольні запитання

1. За яких умов виникає явище електричної ерозії металу?
2. На які технологічні показники впливає зростання енергії імпульсу?
3. Як впливає на шорсткість режим ЕЕО металів?
4. Які фактори впливають на якість ЕЕО поверхні?
5. Які фактори в процесі ЕЕО впливають на точність обробки?
6. Від яких показників залежить продуктивність ЕЕО заготовок?
7. Наведіть приклади взаємозв'язку електричного режиму з технологічними показниками процесу ЕЕО.