

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Чернігівська політехніка»**

Сучасне металообробне обладнання

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для здобувачів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування»
другого (магістерського) рівня вищої освіти

Затверджено
на засіданні кафедри
автомобільного транспорту
та галузевого
машинобудування
Протокол №
від 2024 р.

ЧЕРНІГІВ 2024

Сучасне металообробне обладнання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для здобувачів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» другого (магістерського) рівня вищої освіти / Укл.: Кальченко В.В., Сіра Н.М., Кологойда А.В. – Чернігів: НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – 65 с.

Укладачі:

Кальченко Володимир Віталійович,
доктор технічних наук, професор
Сіра Наталія Миколаївна,
кандидат технічних наук,
Кологойда Антоніна Вікторівна,
кандидат технічних наук

Відповідальний за випуск:

Кальченко В.І., завідувач кафедри
автомобільного транспорту та
галузевого машинобудування,
доктор технічних наук, професор

Рецензент:

Венжега В.І., кандидат технічних наук,
доцент кафедри автомобільного
транспорту та галузевого
машинобудування Національного
університету «Чернігівська
політехніка»

ВСТУП

Електрофізичні (ЕФ) і електрохімічні (ЕХ) методи обробки з'явилися порівняно недавно. Деяким з них всього декілька десятків років. Нові методи почали інтенсивно розвиватися у зв'язку зі створенням сучасних галузей промисловості: космічної, атомної, електронної та стрімким зростанням машинобудування, енергетичного і хімічного приладобудування, інструментального виробництва. Розвиток вказаних галузей зумовив появу нових високоміцних матеріалів, які важко піддаються класичним методам обробки різанням на металорізальних верстатах. Широке впровадження в промисловість обробки тиском, точного лиття, пластмас збільшило потребу у штампах, ливарних формах, прес-формах та інших виробках складної конфігурації. У зв'язку зі створенням нових конструкцій машин і приладів, тенденцією до мініатюризації в електроніці виникла потреба в операціях, які неможливо здійснити звичайними методами обробки різанням. Для багатьох із зазначених галузей актуальною проблемою стало створення високопродуктивних методів різання і розкрою листового матеріалу при мінімальній кількості відходів. У зв'язку з постійно зростаючими вимогами до підвищення якості, надійності і довговічності виробів, все більшої актуальності набуває створення нових методів зміцнювальної технології для підвищення їх зносостійкості, корозійної стійкості, жароміцності.

Вирішення багатьох проблем розвитку сучасного виробництва знайдено у створенні, розробці і удосконаленні електрофізичних і електрохімічних методів обробки. Основою вказаних методів є використання різних фізико-хімічних процесів, енергетичного впливу на заготовку. Їх можна розділити на 7 основних груп:

1. *Електроерозійна (ЕЕР) обробка* – використання енергії електричних розрядів, що утворюються між електродом-інструментом і електродом-заготовкою.

2. *ЕХ обробка* – заснована на анодному розчиненні матеріалів при пропусканні постійного електричного струму через електрод-інструмент і електрод-заготовку в середовищі електроліту.

3. *Ультразвукова обробка* – зняття матеріалу відбувається внаслідок впливу на заготовку інструменту, який коливається з ультразвуковою частотою.

4. *Променеві методи* – для обробки використовують енергію пучків часток або високоенергетичних променів. У групу променевих методів входить лазерна, електронно-променева і плазмова обробки.

5. *Комбінована обробка* – використовує різні сполучення процесів перших чотирьох груп в одному.

6. *Електровибухова обробка.*

7. *Магнітоімпульсне формоутворення.*

Широкому впровадженню ЕФ і ЕХ методів сприяє те, що необхідне обладнання можна одержати завдяки модернізації існуючих металорізальних верстатів або виготовити самостійно.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

Вивчення конструкції електроерозійного копіювально-прошивального верстату 4Г721М

1.1 Мета роботи

Вивчити конструкцію електроерозійного копіювально-прошивального верстату 4Г 721М.

1.2. Теоретичні відомості

1.2.1. Призначення та область застосування

Верстат моделі 4Г721М є універсальним електроерозійним копіювально-прошивальним верстатом нормальної точності і призначений для обробки деталей із струмопровідних матеріалів.

Верстат може бути застосований при виготовленні отворів, щілин, складних фасонних профілів і порожнин у деталях із важкооброблюваних звичайними способами матеріалів: металокераміки, твердих сплавів, жароміцних, нержавіючих і загартованих сталей, магнітних сплавів і т.д.

На верстаті можна виконувати наступні операції:

- виготовлення отворів малих діаметрів і вузьких щілин,
- гравірувальні роботи,
- видалення уламків механічного інструменту (мітчиків, свердел) з деталей невеликого розміру,
- розрізання заготовок невеликого перерізу,
- виготовлення і ремонт штампів невеликого розміру,
- виготовлення сіток.

Верстат може бути використаний у приладобудівній, радіотехнічній та інших галузях промисловості.

1.2.2. Загальна компоновка

Електроерозійний копіювально-прошивальний верстат моделі 4Г721М складається з основних вузлів, позначених на рисунку 1.1:

1. Тумба з баком.

2. Стіл-ванна.
3. Механізм дротової різки.
4. Шпиндель, що обертається.
5. Пристрій для надання вібрацій.
6. Голівка.
7. Стійка.
8. Генератор.
9. Каретки.
10. Комплект інструмента і пристосувань.
11. Розміщення електрообладнання.

Всі вузли верстата змонтовані на тумбі прямокутної форми. Тумба виконана у вигляді коробки із відкритою лицьовою стороною і нішею усередині, в якій розміщується бак із робочою рідиною. Зверху на горизонтальній площині тумби розташовані стійка і стіл-ванна. Із задньої стінки тумби виходять два шланги, один з яких підключає верстат до водопроводу для охолодження робочої рідини в баці, інший шланг підключений до каналізації.

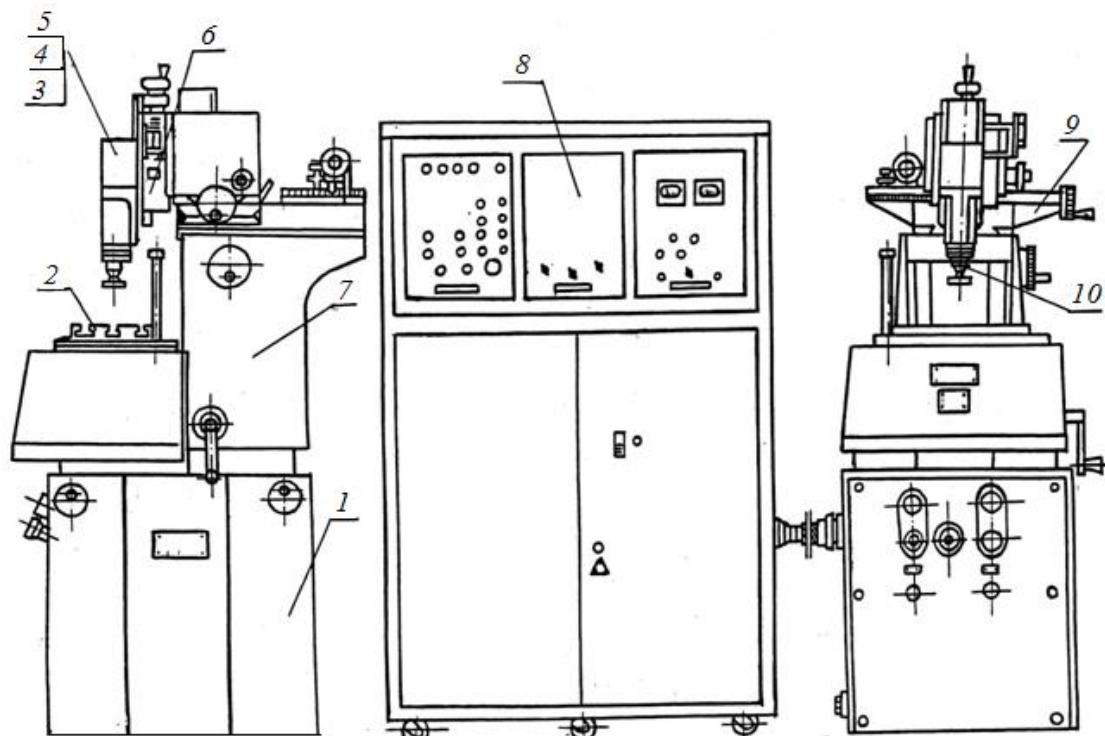


Рисунок 1.1 – Загальний вид верстату 4Г721М

На напрямні стійки типу «хвіст ластівки» встановлюються каретки. В середині стійки знаходиться механізм піднімання ванни. На верхній стійці закріплений відліковий пристрій поперечних координатних переміщень.

Стіл з ванною, що піднімається, закріплений на верхній площині тумби і розташований перед стійкою. Подача робочої рідини у ванну здійснюється по трубопроводу, розташованому усередині підставки столу. Стіл-ванна закритий зварним кожухом, що може зніматися.

Оброблюваний виріб встановлюється безпосередньо на стіл і закріплюється. На стіл верстата і шпindel голівки можуть встановлюватися спеціальні пристосування, які розширюють технологічні можливості застосування верстата.

Поперечне переміщення нижньої каретки здійснюється маховичком, розташованим праворуч на бічній стінці стійки. Верхня каретка повздовжнього ходу переміщується по напрямній типу «хвіст ластівки». Маховичок ручного переміщення каретки повздовжнього ходу розташований справа на торці нижньої каретки. На лівій бічній стінці верхньої каретки розташований відліковий пристрій повздовжніх координатних переміщень, а на правій стороні закріплена лампа місцевого освітлення.

До верхньої каретки кріпиться голівка. У залежності від роду роботи на каретці голівки кріпиться одне із трьох пристосувань: пристрій для надання вібрацій, шпindel, що обертається, або механізм дротової різки.

Для кріплення електрода-інструмента використовуються пристосування, що входять в комплект пристосувань і інструменту.

Генератор технологічного струму розташовується ліворуч від верстата.

Стійка являє собою чавунну вилітку коробчатого перерізу. До передньої стінки стійки кріпиться плита із круглими напрямними і ходовим гвинтом. По круглим напрямним за допомогою ходового гвинта переміщується траверса, що несе на собі ванну. На верхній площині стійки кріпиться відліковий пристрій поперечних координатних переміщень. Стійка кріпиться до тумби.

Тумба служить підставкою для установки і закріплення стійки і столу з ванною, а також для розміщення баку з робочою рідиною.

В **баці** змонтована система подачі й очистки робочої рідини. Бак, ємністю 70 літрів, зварний, прямокутної форми, усередині розділений на два відсіки. Менший відсік виконує роль попереднього відстійника. В другому відсіку розташований дворядний зміювик, призначений для охолодження робочої рідини. Зміювик підключається до джерела технічної води. Зверху бак закритий кришкою, на якій установлені шестеренний насос із електродвигуном і розподільна коробка.

Голівка призначена для автоматичної і ручної подачі інструменту у вертикальному напрямку. Каретка голівки переміщується по кругових напрямних вручну. Для забезпечення заданої глибини обробки на голівці знаходиться відліковий пристрій. Каретка має напрямні типу «хвіст ластівки» для установки змінних пристосувань.

Пристрій для надання вібрації служить для передачі електроду-інструменту вібрації, необхідної для стійкого процесу електроерозійної обробки. Вібрація шпинделя здійснюється електромагнітом, закріпленим на верхній площині корпусу пристрою для надання вібрацій. Шпиндель підвішений на пружній мембрані і переміщується по напрямним кочення. Нижня частина шпинделя виконана у вигляді фланця, до якого кріпляться змінні пристосування.

В деяких випадках, при роботі зі значними зусиллями прокачування робочої рідини через електрод-інструмент, вібрації інструмента не потрібно. При цьому з метою запобігання повздовжніх переміщень інструменту застосовується стопор шпинделя.

Електрод-інструмент встановлюється в цанговому, трьохкулачковому або у поворотному патронах, що кріпляться до фланця шпинделя пристрою для надання вібрацій.

Поворотний патрон служить для повороту електрода в горизонтальній площині й установки інструмента перпендикулярно поверхні столу.

Амплітуда коливань пристрою для надання вібрацій регулюється пультом керування генератора.

Шпindel призначений для обробки виробів, які мають циліндричні порожнини й отвори. Обертання електрода-інструмента дає можливість отримати більш точні за геометричною формою отвори в порівнянні з відсутністю вказаного руху.

У шпинделі, в залежності від діаметра хвостової частини інструмента, встановлюються цанги діаметром 8 або 12 мм.

Механізм дротового різання призначений для обробки виробів непрофільованим електроодом-інструментом.

У якості електроду-інструменту застосовується *латунний* або *мідний дріт*. При розрізуванні металокерамічних або твердих сплавів отримання високої продуктивності досягається використанням в якості електроду-інструмента дроту з *латуні Л-63*. Для розрізування вказаних матеріалів можна використовувати також мідний дріт, але режим при цьому буде менш стійкий і продуктивність процесу значно нижчою.

Обробка здійснюється дротом, який постійно перемотується. Швидкість і режим обробки регулюються пультом керування генератора. Величина натягу дроту встановлюється максимально можливою для даного діаметра та істотно впливає на стійкість режиму, а отже, на продуктивність процесу і чистоту оброблюваної поверхні.

Каретки служать для надання інструменту поздовжнього і поперечного переміщень. Вузол складається з двох кареток: нижньої і верхньої. Відлік координат ведуть по відлікових мікроскопах, один із яких установлений на лівій стінці верхньої каретки, інший – на верхній площині стійки. Обидві каретки можна фіксувати в потрібному положенні.

Підставка до столу – кругла порожниста виливка, установлена на тумбі. У середині круглої підставки проходить трубопровід від шестеренного насосу для подачі робочої рідини у ванну.

У верстаті в якості робочої рідини застосовують суміш 1:1 гасу з оливою «Індустріальне І-12А».

Система подачі й очищення робочої рідини забезпечує:

- подачу робочої рідини у ванну;
- прокачування робочої рідини через електрод-інструмент;
- відсмоктування робочої рідини через електрод-інструмент;
- фільтрацію робочої рідини;
- охолодження робочої рідини.

Кінематика верстату забезпечує:

- автоматичну вертикальну робочу подачу електрода;
- ручне вертикальне переміщення електроду-інструменту;
- ручні координатні установочні переміщення електроду-інструменту в поздовжньому і поперечному напрямках відносно столу;
- ручне піднімання і опускання ванни;
- обертання електроду-інструменту;
- натяг та перемотування дроту.

1.2.3. Основні технічні дані і характеристики верстата 4Г721М

Клас точності	Н
Ширина робочої поверхні столу, мм.....	200
Довжина робочої поверхні столу, мм	360
Число Т-подібних пазів	3
Ширина паза, мм	12
Відстань від робочої поверхні столу до торця шпинделя пристрою для надання вібрацій, мм	
найбільше	330
найменше	190
Переміщення голівки щодо столу, мм	
поперечне	160
подовжнє	250

Найбільший робочий хід каретки голівки, мм	100
Точність відліку координатних переміщень, мм	0,01
Найбільші розміри деталі (довжина x ширина x висота).....	320x190x130
Найбільша маса оброблюваної деталі, кг	60
Номінальна площа обробки (по сталі), мм ²	1500
Мінімальний діаметр обробки (при глибині обробки не більше 5мм)....	0,6
Матеріал електрода-інструмента:.....	мідь
.....	латунь
.....	графітний матеріал ЭЭГ
Найбільша маса електрода, кг.....	5
Найбільша продуктивність, мм ³ мідним електродом по сталі 45	250
шорсткість поверхні, R _z мкм.....	80
Латунним електродом по твердому сплаву ВК 8.....	40
шорсткість поверхні, R _z мкм.....	20
Найменша шорсткість обробленої поверхні, R _a мкм	
при обробці мідним електродом по сталі 45	1,25...0,80
латунним електродом по твердому сплаву ВК8	1,25...0,40
Найбільша висота рівня робочої рідини над площиною столу, мм.....	180
Габаритні розміри верстата (довжина x ширина x висота), 760 x 865 x 1630	
Маса верстату (без генератора), кг	600

1.2.4. Технічна характеристика пристосувань

Пристрій для надання вібрацій

Частота коливань шпинделя, Гц

100

Габаритні розміри пристрою для надання вібрацій (довжина, ширина, висота), мм

150x85x310

Маса пристрою для надання вібрацій, кг.....

9,6

Обертний шпиндель

Частота обертання шпинделя, об/хв.....

250...500

Діаметр цангового патрона, мм

8...12

Габаритні розміри обертового шпинделя, мм

(довжина-ширина-висота)	168x98x412
Маса обертового шпинделя, кг	10,5
<i>Механізм дротового різання</i>	
Тип електрода-інстр. – не профільований електрод-дріт діам.	0,1...0,3
Матеріал електрода-інструмента.....	латунь Л 63
Габаритні розміри механізму поздовжнього різання	270x140x525

1.3 Хід виконання роботи

1. Вивчити призначення верстату.
2. Зробити рисунок загального виду верстату із позначенням основних вузлів.
3. Вивчити призначення основних вузлів верстата.
4. Ознайомитись із основними технічними даними і характеристиками верстату.

1.4 Контрольні запитання

1. Назвіть призначення та область застосування електроерозійних копіювально-прошивальних верстатів.
2. Назвіть основні частини, із яких складаються електроерозійні копіювально-прошивальні верстати.
3. Чим здійснюється обробка деталей?
4. Від яких факторів залежить продуктивність обробки на електроерозійних копіювально-прошивальних верстатах?
5. Які кінематичні рухи забезпечуються на електроерозійних копіювально-прошивальних верстатах?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

Визначення швидкості знімання металу та зношення електроду-інструменту при електроерозійній обробці

2.1. Мета роботи

Навчитись визначати експериментальним шляхом швидкість знімання металу та величину зношення електроду-інструменту.

2.2 Теоретичні відомості

В основі електроерозійної обробки – використання енергії електричного розряду, який виникає між електродом-інструментом і заготовкою. Енергія електричного розряду перетворюється в теплову. За рахунок високої температури матеріал заготовки розплавляється і частково випаровується.

Електроерозійну обробку широко використовують в машинобудуванні при виготовленні деталей із важкооброблюваних струмопровідних матеріалів.

Робота виконується на універсальному електроерозійному копіювально-прошивальному верстаті моделі 4Г72ІМ.

Матеріалами для електродів-інструментів використовують *мідь, латунь, вольфрам* та інші матеріали і сплави.

Продуктивність визначається об'ємом матеріалу, який видаляється, за одиницю часу. Величина залежить від режиму обробки, матеріалу заготовки і матеріалу електроду-інструменту, а також від діелектричного середовища, в якому відбувається процес обробки.

При можливості вести процес з постійною енергією імпульсів продуктивність Q можна оцінити як добуток енергії імпульсів на їхню частоту. На практиці умови протікання кожного окремого імпульсу можуть відрізнитися внаслідок різного розміру зазору, невідповідності між числом імпульсів, вироблених генератором, і реалізованих у зазорі та ін. При розрахунку:

$$Q = \psi \cdot a \cdot A_i \cdot f, \quad (2.1)$$

де ψ – коефіцієнт, що враховує кількість холостих імпульсів;

a – об’єм металу, який знімається одним або декількома імпульсами із сумарною енергією 1 Дж;

A_i – енергія імпульсу, Дж;

f – частота імпульсів, що викликають ерозію, Гц.

Для отримання високопродуктивного режиму ψ повинен бути ближче до одиниці, тобто, якнайбільше імпульсів повинно брати участь у процесі ерозії. При малій частоті імпульсів – $\psi = 0,85$, у випадку високої частоти – $\psi = 0,75$.

З іншого боку, продуктивність визначається:

$$Q = \frac{k \cdot A_i}{q \cdot \tau_i}, \quad (2.2)$$

де q – скважність;

k – коефіцієнт, що знаходять експериментально; залежить від виду і стану робочого середовища, матеріалів і розмірів електродів, характеристики імпульсів;

τ – тривалість імпульсу, с.

З метою підвищення продуктивності необхідно досягти оптимального співвідношення між максимальним значенням сили струму I_{max} імпульса і його тривалості τ_i .

Наприклад, у випадку режимів обробки із середньою силою струму 10...100 А найбільша продуктивність може бути досягнута при співвідношенні: $\frac{I_{max}}{\tau_i} = 5...8 \text{ мА/с}$.

Для чорнових операцій використовують імпульси з енергією більше 1 Дж, для чистових – від 0,1 до 1 Дж і оздоблювальних — менше 0,1 Дж. Технологічні показники розглядаються для рідкого діелектричного середовища.

У випадку малої площі обробки кількість ділянок, на яких можливий розряд, значно менше, ніж кількість імпульсів, що поступають від генератора, тому що частина площі перекрита газовими бульбашками від попередніх розрядів. Час існування газового бульбашки в 5...10 разів більше, ніж тривалість імпульсу, а

розряд через газ можливий тільки при більш високій напрузі, тому частина імпульсів генератора не викликає ерозії. Знижується коефіцієнт ψ , а отже, і продуктивність Q .

Якщо збільшувати площу оброблюваної поверхні, то швидкість знімання металу буде зростати, але далі відбудеться її зниження. Це пояснюється тим, що з часом погіршуються умови видалення продуктів обробки з міжелектродного проміжку. Все більша кількість імпульсів генератора не буде викликати ерозії внаслідок нагромадження газів і металевих часток у просторі між електродами.

Об'єм продуктів обробки залежить також від енергії імпульсів, їхньої кількості та часу дії, тобто від потужності, реалізованої в міжелектродному проміжку. При малій потужності об'єм розплавленого металу невеликий, із зростанням потужності він збільшується. При цьому збільшується об'єм продуктів обробки, які гальмують процес знімання металу. Для одержання високої продуктивності необхідно правильно вибрати співвідношення площі оброблюваної поверхні і потужності. Такий вибір виконують за допомогою просторових діаграм у координатах сила струму – площа обробки – продуктивність.

В процесі обробки має місце не тільки руйнування деталі, але і руйнування електроду-інструменту, яке супроводжується зміною його профілю, що призводить до зміни геометричної форми оброблюваної поверхні.

До матеріалу електроду-інструменту пред'являються наступні вимоги:

1. Ерозійна стійкість;
2. Висока оброблюваність при його виготовленні потрібної конфігурації і точності;
3. Достатня міцність;
4. Невисока вартість матеріалу.

Практично дуже важко в одному матеріалі електроду-інструменту задовольнити одночасно всі вищевказані вимоги, тому вибір матеріалу електроду-інструменту є складною задачею.

Рекомендації з використання матеріалів електродів-інструментів при виконанні різних операцій наведені в табл. 2.1. Умовні позначення:

«+» – використовується;

«-» – не використовується;

«0» – обмежене використання.

Таблиця 2.1-Рекомендовані матеріали електродів

Операція	Матеріал									
	Мідь	Чавун	Латунь	Сталь	Вуглеграфіт	Алюміній	Твердий сплав	Феросплав	Свинець	Міднографіт
Прошивання малих отворів	0	-	+	-	-	-	-	-	-	-
Прошивання середніх отворів	+	+	+	0	+	+	0	-	-	+
Гравіювання по сталі	+	0	+	-	0	-	-	-	-	+
Розрізування	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-
Шліфування і заточування	+	+	+	+	0	-	-	-	-	0
Легування і зміцнення	-	0	-	-	+	-	+	+	-	0
Розпис по металу	+	-	-	0	-	+	0	-	+	-

Вибір матеріалу інструменту залежить не тільки від виду оброблюваного матеріалу, але й від типу генератора імпульсів, яким оснащений верстат. При обробці твердих сплавів найбільша продуктивність забезпечується при використанні латунних, вольфрамових, міднографітових електродів, а також вольфрамомідних, молібденомідних. Непридатні для виготовлення електроду-інструменту при обробці твердих сплавів сталь, алюміній і графіт.

Таким чином, при обробці твердих сплавів електроіскровим способом можна виготовляти електроди-інструменти із латуні ЛС-59, міді, чавуну. При виготовленні прецезійних отворів в якості матеріалу інструментів використовують вольфрам.

В процесі обробки деталі відбувається знос електроду-інструменту.

Відносним зносом електроду-інструменту називається відношення зменшення кількості матеріалу електроду до о'єму матеріалу, знятого з оброблюваної деталі. *Це відношення виражається у відсотках.*

На початку обробки розряди, які виникають між поверхнею деталі і торцем інструменту, не дуже впливають на зміну форми електроду-інструменту. При заглибленні інструмента в тіло деталі на деяку величину відбувається знос його торцевої поверхні та бокових поверхонь заготовки. При подальшому заглибленні інструменту його профіль все більше змінюється і при виході його торця з протилежної сторони деталі геометричні форми обробленої поверхні відрізняються від потрібної. *Для наближення одержаної форми до заданої обробку продовжують до тих пір, поки торець інструменту не вийде за межі деталі на величину, яка приблизно складає 1,5-2,0 глибини обробки.*

На величину зносу інструменту значно впливає хімічний склад матеріалу електроду і заготовки.

Знаючи масу металу, яку зняли з заготовки, і час обробки можна визначити продуктивність процесу:

$$Q = \frac{m_{\partial 1} - m_{\partial 2}}{\gamma_{\partial} \cdot t} \cdot 1000, \text{ м}^3/\text{хв}, \quad (2.3)$$

де $m_{\partial 1}$ – маса зразка до обробки, г;

$m_{\partial 2}$ – маса зразка після обробки, г;

t – час обробки, хв.;

γ_{∂} – питома вага матеріалу деталі, г/см³. Для сталі $\gamma = 7,8 \text{ г/см}^3$.

В процесі обробки відбувається знос електроду-інструменту. Відносний знос інструменту можна визначити за формулою:

$$S = \frac{(m_{e1} - m_{e2}) \cdot \gamma_{\partial}}{(m_{\partial 1} - m_{\partial 2}) \cdot \gamma_e} \cdot 100, \% \quad (2.4)$$

де m_{e1} – вага електроду-інструменту до обробки, г;

m_{e2} – вага електроду-інструменту після обробки, г;

γ_e – питома вага матеріалу електроду-інструменту. Питома вага міді $\gamma_e = 8,6 \text{ г/см}^3$.

На рисунку 2.1 приведений графік залежності відносного спрацювання інструменту від ємності, а на рисунках 2.2, 2.3 – графіки залежностей продуктивності електроерозійної обробки від напруги та діаметру інструменту.

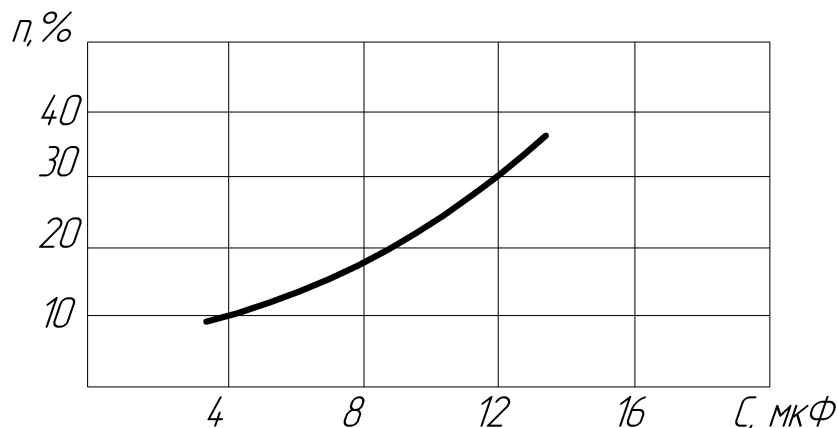


Рисунок 2.1. – Графік залежності відносного спрацювання інструменту від ємності

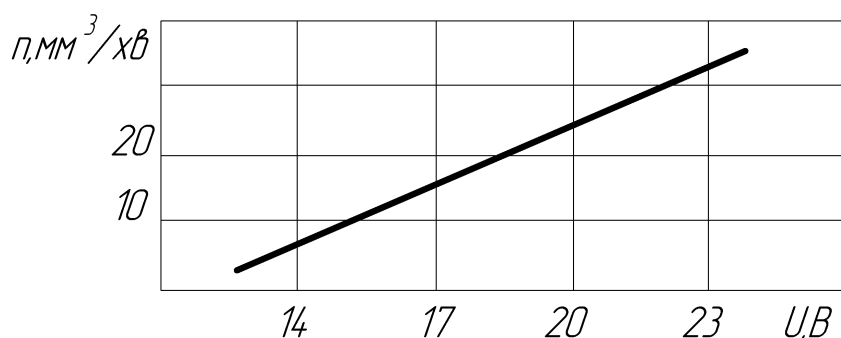


Рисунок 2.2. – Графік залежності продуктивності від напруги

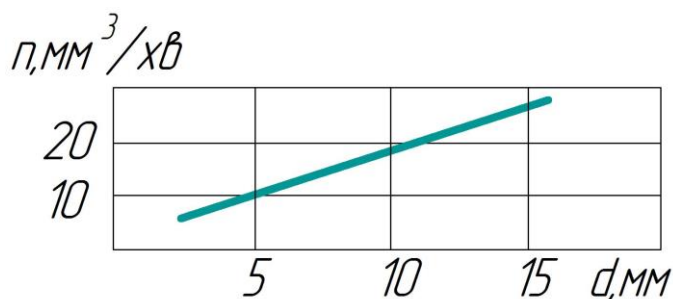


Рисунок 2.3. – Графік залежності продуктивності від діаметру інструменту

2.3 Хід виконання роботи

1. Визначити масу електроду-інструменту і деталі до обробки.
2. Встановити і закріпити оброблювану деталь на столі верстату.
3. Встановити і закріпити електрод-інструмент.
4. Провести обробку отвору.
5. Визначити масу електрода-інструмента і заготовки після обробки.
6. Визначити продуктивність процесу і відносний знос електроду-інструменту.
7. Заповнити таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Експериментальні значення даних

Маса електрода-інструмента, г		Матеріал електроду-інструменту	Маса заготовки, г		Матеріал заготовки	Час обробки, хв.	Продуктивність обробки мм ³ /хв.	Відносний знос інструменту %
До обробки	Після обробки		До обробки	Після обробки				

8. Накреслити пластину відповідно до варіанту завдання (таблиця А1, додаток А).
9. У графічному редакторі визначити масу оброблюваної пластинки до та після обробки.
10. Визначити діаметр електроду-інструмента до обробки:

$$d_{e1} = d_{\partial} - 2 \cdot s_{\bar{\sigma}}, \text{ мм}, \quad (2.5)$$

де d_{∂} – діаметр оброблюваного отвору, мм;

$s_{\bar{\sigma}}$ – бічний зазор; на чорнових режимах $s_{\bar{\sigma}} = 0,15 \dots 0,5$ мм, на чистових – $s_{\bar{\sigma}} = 0,005 \dots 0,05$ мм.

11. У графічному редакторі визначити масу електрода-інструмента до обробки.
12. Визначити масу електрода-інструмента після обробки:

$$m_{e2} = m_{e1} - (m_{\partial1} - m_{\partial2}) \cdot 0,4, \quad (2.6)$$

де m_{e2} , m_{e1} – маси електрода-інструмента після і до обробки відповідно, г;

m_{d1} , m_{d2} – маси деталі до і після обробки відповідно, г.

13. Визначити час обробки із залежності (2.3). При цьому величину продуктивності обробки знайти із графіка (рис. 2.3)

14. Визначити відносний знос інструменту за залежністю (2.4).

15. Порівняти величини відносного зносу інструменту, отримані експериментально та теоретично.

2.4 Контрольні запитання

1. Які матеріали використовують для виготовлення електродів-інструментів при електроерозійній обробці?

2. Які фактори впливають на продуктивність електроерозійної обробки?

3. Як забезпечити високопродуктивний процес електроерозійної обробки?

4. Які вимоги висуваються до електродів-інструментів?

5. Від чого залежить вибір матеріалів для виготовлення електродів-інструментів?

6. За якою формулою визначається продуктивність електроерозійної обробки?

7. Як визначити відносний знос електроду-інструменту, знаючи маси його та деталі до і після обробки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

Обробка деталей непрофільованим електродом-інструментом

3.1 Мета роботи

Ознайомлення з процесом обробки заготовок непрофільованим електродом-інструментом, визначення продуктивності і точності обробки.

3.2 Теоретичні відомості

Різні операції електродом-інструментом часто використовують на машинобудівних і приладобудівних підприємствах. Обробку ведуть непрофільованим електродом-дротом, який постійно відновлюється в зоні обробки перемотуванням з котушки.

Механізм різання дротом (рис. 3.1) складається з двох механізмів: механізму натягування і механізму перемотування дроту. Обидва механізми змонтовані в одному корпусі. Для збільшення зони обслуговування столу корпус механізму нахилений на 15° відносно напрямних (на рисунку не вказано).

Механізм різання дроту закріплюється на каретці голівки.

Для здійснення необхідного натягу тонкого дроту-електроду використовується електродвигун **9**. Котушка **1** з дротом закріплюється на осі **2**, яка через пару конічних шестерень **3** і **4** зв'язана з валом двигуна. Двигун обладнаний гальмівним механізмом **5**, який перешкоджає розкручуванню котушки з дротом при її обриві.

Дріт з котушки механізму натягування **2** протягується між двома роликками **6** і **7**, один з яких є привідним, другий натискним. Потім дріт натягується на приймальну котушку **8**.

Швидкість перемотування дроту визначається, виходячи із параметрів вибраного режиму обробки, енергії імпульсів, частоти повторення розрядних імпульсів, перерізу дроту. Знос дроту не повинен впливати на точність обробленої деталі. Діапазон швидкостей перемотування дроту 4-20 мм/с. Необхідну швидкість перемотування дроту встановлюють варіатором, який

розташований на генераторі. Швидкість перемотування залежить від діаметру дроту, його матеріалу, матеріалу оброблюваної деталі та ін.

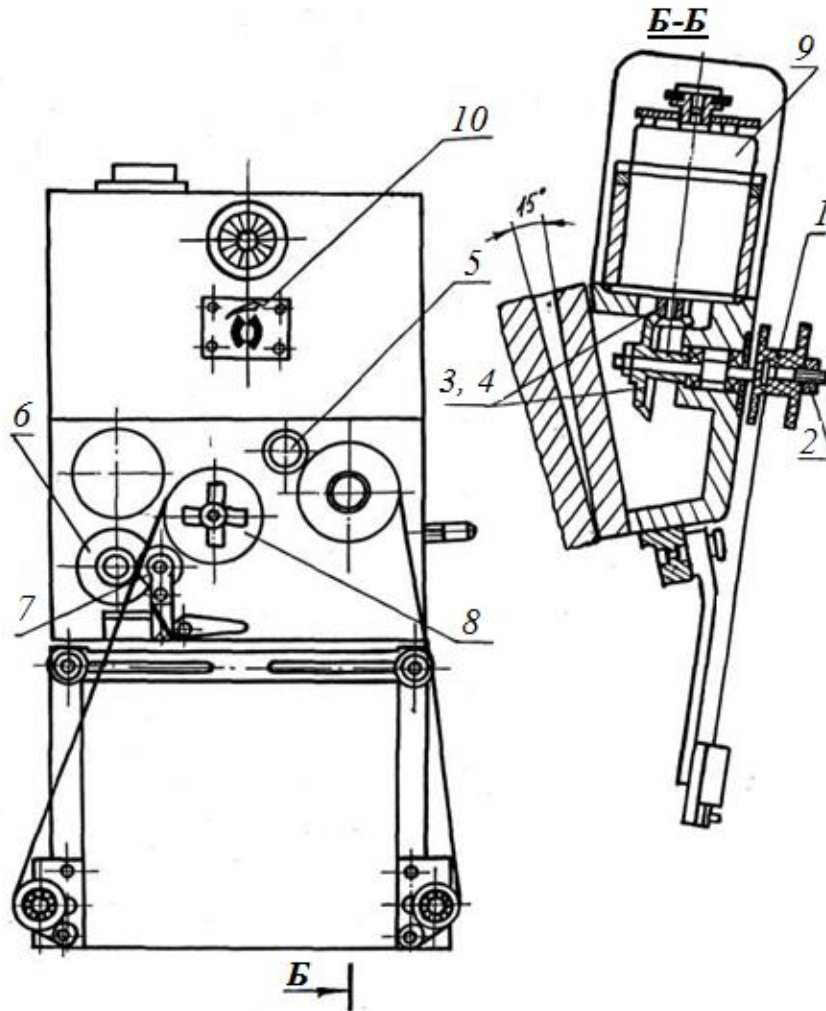


Рисунок 3.1 – Механізм дротового різання:

1 – котушка з дротом; 2 – вісь; 3,4 – конічні шестерні; 5 – гальмівний механізм; 6 – ролик приводу; 7 – ролик притискний; 8 – котушка приймальна; 9 – електродвигун; 10 – ручка регулювання натягу дроту

Дротовий електрод-інструмент розраховують, виходячи із ширини паза b_n . При цьому варто враховувати зменшення діаметру дроту за рахунок ерозії. Початковий діаметр дроту:

$$d_n = k \cdot b_n - 2 \cdot s, \text{ мм}, \quad (3.1)$$

де $k = 2...5$ – коефіцієнт, що враховує ерозію дроту;

s – міжелектродний зазор.

Варто враховувати, що стандартні діаметри вольфрамового і латунного дроту не можуть у всіх випадках відповідати розрахунковим значенням. Тому доводиться або протягувати дріт на необхідний діаметр, або так підбирати швидкість його перемотування, щоб отримати коефіцієнт k , який забезпечує одержання заданої ширини пазу. Для латунного дроту діаметром $d_i = 0,1$ мм швидкість перемотування повинна бути не менше 5 мм/с ($k = 2,5$);

для $d_i = 0,2$ мм – не менше $1,5$ мм/с ($k = 2...2,3$);

для $d_i = 0,3$ мм – не менше $0,8$ мм/с ($k = 3...3,5$).

Якщо швидкість перемотування дроту діаметром $0,3$ мм подвоїти, то коефіцієнт $k = 1,8...2$. Таким чином, змінюючи швидкість перемотування, можна в кілька разів змінити розрахунковий діаметр дроту і підібрати найближчий стандартний його розмір. Для обробки заготовок товщиною понад $15...20$ мм рекомендується використовувати дріт діаметром більше $0,2$ мм.

Якщо ширина пазу в деталі не обмежена, то швидкість перемотування дроту близька до мінімального значення, а розрахунок ширини паза не проводять.

Зазори залежать від режиму обробки, натягу дроту і змінюються в межах: при обробці сталі – $s = 7 - 17$ мкм, при розрізуванні твердих сплавів – $s = 6 - 18$ мкм. При цьому менші значення зазорів беруть для менших діаметрів дроту, а більші – для більших.

При вирізуванні по контуру непрофільованим електродом-інструментом постійний за часом його знос не впливає на точність обробки. Однак, за рахунок зменшення діаметра електрода від ерозії зменшуються міцність дроту, його натяг і здатність зберігати прямолінійність при обробці. Це визначає ступінь повторення на заготовці заданого контуру, тобто точність форми і розмірів деталі. Якщо непрофільованим електродом-інструментом виготовляють вузькі пази, то похибки їхніх розмірів будуть залежати від зносу дротового електрода-інструмента.

На рис. 3.2 показаний вплив ерозії дроту на ширину паза. Знос дроту є причиною різної ширини паза по висоті заготовки, тобто стінки паза матимуть ухил. Цей ухил залежить від швидкості руху дроту, його матеріалу, діаметру, режимів обробки, товщини заготовки. Звичайно ухил складає $1...2^\circ$.

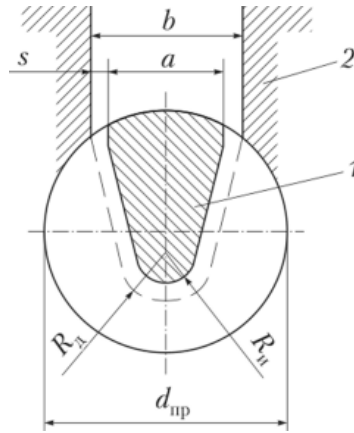


Рисунок 3.2. – Вплив ерозії проволочки на ширину паза

Знос дроту визначає радіус округлення пазу на деталі:

$$R_{\partial} = R_i + s_i, \text{ мм}, \quad (3.2)$$

де R_i – радіус округлення електрода-інструмента зі сторони деталі, мм, (рис. 3.2). Для латунного дроту діаметром від 0,1 до 0,3 мм $R_{\partial \text{ min}} = (0,2...0,35) \cdot d_{\text{нр}}$.

Найкращим матеріалом для електроду-дроту є мідь. Однак, дріт із діаметром, меншим 0,06 мм, не використовують внаслідок недостатньої міцності. У таких випадках використовують вольфрамовий або молібденовий дріт діаметром 0,005-0,04 мм.

Продуктивність обробки непрофільованим електродом – відношення площі бічної поверхні обробленої деталі до часу обробки. Площа бічної поверхні визначається добутком довжини шляху, який проходить дротовий електрод-інструмент у напрямку подачі за час обробки, на товщину заготовки.

Зі збільшенням товщини заготовки продуктивність спочатку зростає до деякої величини, а потім починає зменшуватись (рис.3.3).

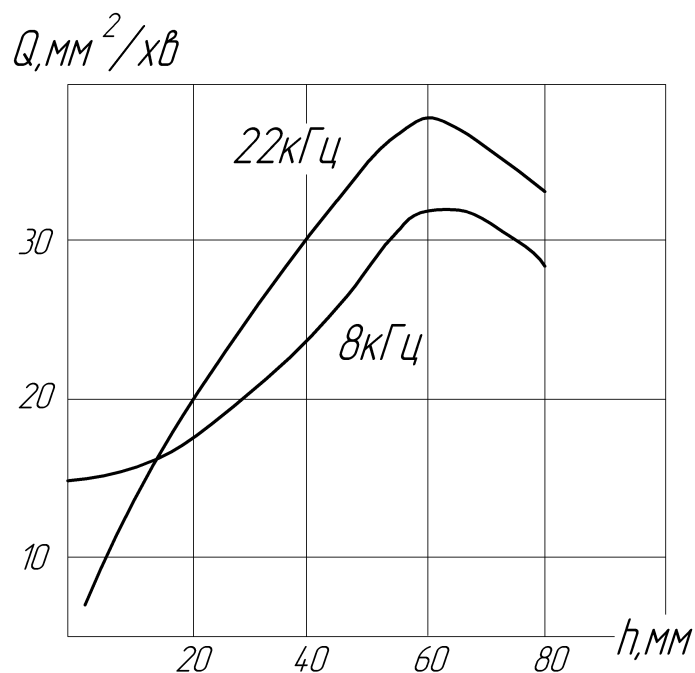


Рисунок 3.3. – Залежність максимальної продуктивності різання від товщини заготовки (матеріал сталь 45, діаметр дроту 0,25 мм)

Для кожного значення імпульсного струму вибирається оптимальна товщина заготовки, при якій продуктивність досягає максимуму. Із зростанням імпульсного струму продуктивність також зростає. Для досягнення максимальної продуктивності при обробці деталей товщиною менше 15 мм потрібно використовувати частоту імпульсів 8 кГц, для деталей товщиною більше 15 мм – 22 кГц.

Продуктивність обробки незагартованих і загартованих сталей відрізняється несуттєво. Використання тугоплавких легованих елементів знижує продуктивність обробки сталей.

Непрофільованим електродом розрізують високоточні деталі, прорізають тонкі прямі, фасонні та наскрізні отвори постійного перерізу, виготовляють сталеві та твердосплавні матриці, вирубні штампи, фасонні різці та ін.

3.3 Хід виконання роботи

1. Розрахувати початковий діаметр латунного електроду-дроту для прорізування наскрізної щілини шириною 0,2 мм в сталевій пластині.

Коефіцієнт, що враховує ерозію дроту для даних умов обробки, прийняти рівним 1,8.

Значення зазору s прийняти рівним 10 мкм .

2. Провести обробку наскрізної щілини шириною $0,2 \text{ мм}$ на верстаті 4Г721М та заповнити таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Експериментальні дані

Діаметр дроту, <i>мм</i>	Час обробки, <i>хв</i>	Довжина обробки, <i>мм</i>	Товщина заготовки, <i>мм</i>	Матеріал заготовки	Продуктивність обробки, <i>мм²/хв</i>

3.4 Контрольні запитання

1. Опишіть конструкцію та принцип роботи механізму різання дротом за рис. 3.1.

2. Як розраховують діаметр дротового електрода-інструмента?

3. Як впливає знос дроту на оброблюваний отвір?

4. Дайте визначення продуктивності обробки непрофільованим інструментом. Як вона змінюється в залежності від товщини заготовки?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Розрахунок профільованого електроду-інструменту

4.1. Мета роботи

Вивчення конструкцій та набуття навичок проектування електродів-інструментів для обробки заданих поверхонь.

4.2. Теоретичні відомості

При виборі матеріалу електроду-інструмента враховують його ерозійну стійкість, питому провідність, можливість виготовлення інструменту необхідної форми з мінімальними витратами, вартість, міцність, корозійну стійкість, відсутність шкідливих для здоров'я обслуговуючого персоналу виділень під дією високих температур при розряді.

Для чистової обробки, яка здійснюється зазвичай в електроіскровому режимі, найбільш часто використовують інструменти зі звичайної і пористої міді та латуні. Мідь повинна бути без домішок, оскільки навіть мінімальні включення інших елементів різко знижують електроерозійні властивості, підвищують знос.

Для чорнових операцій, які виконують в електроімпульсному режимі, в якості матеріалу електродів-інструментів використовують графітові і мідно-графітові композиції, алюміній, цинкові сплави. Графітові матеріали повинні бути дрібнозернистої структури – підвищена механічна міцність. З таких матеріалів можна виготовляти інструменти з гострими кутами і тонкими перетинками, ефективні на чистових операціях. До недоліків варто віднести підвищену вартість у порівнянні з матеріалами із більш великими зернами та нижчу продуктивність процесу. Для чорнових операцій частіше застосовують дешеві і стійкі графітові матеріали із збільшеним зерном.

Для виготовлення невеликих отворів (діаметром менше 0,1 мм) використовують інструменти з вольфраму, молібдену, латуні. Вольфрам і молібден мають високу ерозійну стійкість в широкому діапазоні режимів.

Однак відрізняються високою вартістю, дефіцитом та важко піддаються обробці.

Для електроконтактної обробки використовують інструменти з міді, латуні, чавуна, дешевих марок сталі. Можливе застосування і звичайних ерозійностійких матеріалів. Сірий чавун має задовільну ерозійну стійкість при обробці на всіх режимах. Він добре оброблюється, недорогий, з нього виконують електроди-інструменти для чистових операцій.

Непрофільовані електроди-інструменти зазвичай виготовляють з вольфрамового або латунного дроту. Вольфрамовий дріт має велику питому міцність, але низьку питому провідність і застосовується для електродів діаметром менше 0,08 мм.

У залежності від призначення і матеріалу електроди-інструменти можуть бути суцільними або збірними. При схемі прошивання застосовують електроди-інструменти у вигляді стрижнів (рис. 4.1, а) і трубок (рис. 4.1, б) із прокату різноманітного перерізу. У них робоча і технологічна частини об'єднані.

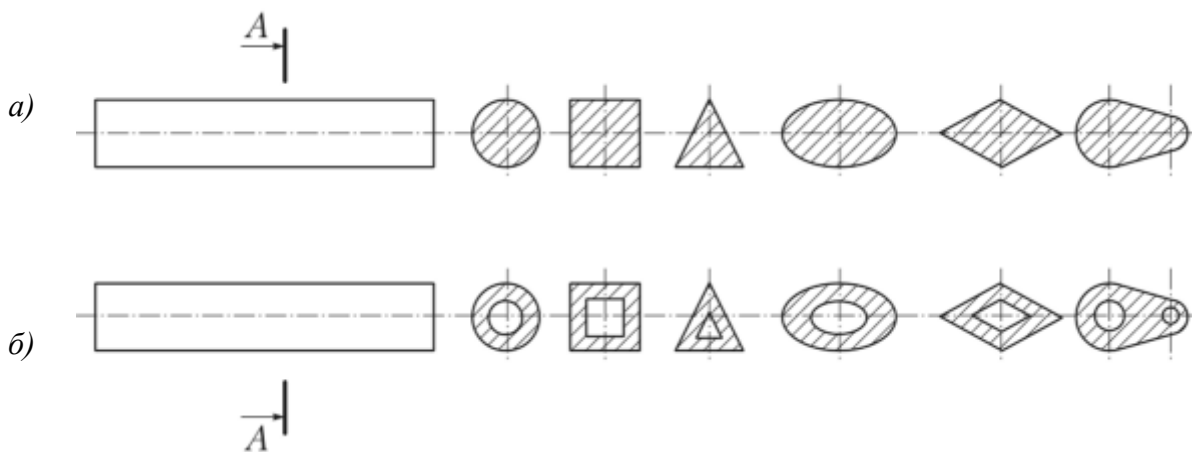


Рисунок 4.1 – Форма поперечного перерізу електродів

Отвори в трубках можуть бути круглими, прямокутними, гвинтовими й ін. Мідні стрижні і трубки випускають серійно з мінімальним зовнішнім діаметром 0,2 мм; допустима похибка $\pm 0,01$ мм. Аналогічні електроди-інструменти можуть бути виконані з латуні, алюмінію і його сплавів. Для прошивання отворів використовують дріт діаметром 0,025...1,5 мм, з похибкою не більш $\pm 1,5\%$ від номінального розміру.

Обробку прецензійних отворів здійснюють спочатку робочою частиною **2** інструмента (рис. 4.2), а потім – калібрування (доведення). Для цього калібрувальну частину **1** виконують з більшим діаметром і підключають її до генератора з більш м'яким калібрувальним режимом.

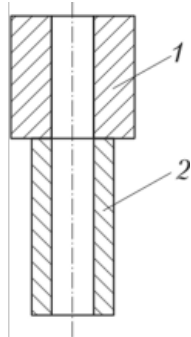


Рисунок 4.2 – Інструмент для виконання прецензійних отворів

За необхідності виконують електроди ступінчастої форми з декількома східцями і підключенням кожної з них на окремий електричний режим.

Іноді калібрування виконують спеціальним грибоподібним електродом-інструментом (рис. 4.3), у якого робочий діаметр **D** значно перевищує діаметр **d**, за який електрод-інструмент встановлюють у електродотримачі.

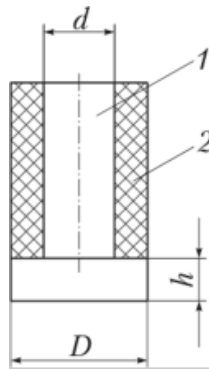


Рисунок 4.3 – Спеціальний грибоподібний електрод-інструмент

Різниця в діаметрах знижує похибку діаметра отвору, яка виникає внаслідок бічних розрядів. З тієї ж причини намагаються зменшити висоту **h**. Грибоподібні конструкції можуть бути цільними і збірними. Неробочі ділянки електрода-інструмента **1** іноді покривають ізоляцією або втулкою **2** з діелектрика.

Для прошивання порожнин застосовують суцільні або збірні електроди-інструменти з графітових матеріалів. Іноді корпус електроду-інструменту

виконують з дешевого конструкційного матеріалу, а на робочу частину гальванічним методом або напилюванням наращують ерозійностійкий шар.

Збірні електроди-інструменти можуть бути виконані, наприклад, із набору стрижнів або трубок (рис. 4.4).

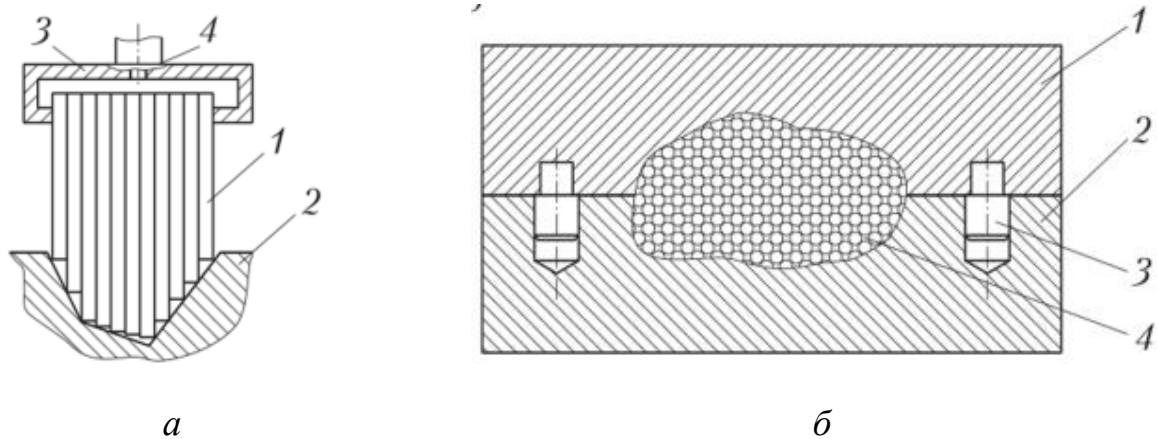


Рисунок 4.4 – Збірні електроди-інструменти із набору стрижнів і трубок

Для виготовлення порожнин стрижні або трубки **1** у вигляді пакета встановлюють в макеті **2** деталі і закріплюють у такому положенні електродотримачем **3**, в якому можуть бути передбачені порожнина й отвір **4** для прокачування робочої рідини через електроди (рис. 4.4, а). Якщо необхідно виготовити глухий або наскрізний отвір складної форми, то трубки або стрижні **4** набирають у шаблони **1, 2**, що зцентровані штифтами **3** або іншими елементами (рис. 4.4, б).

При електроерозійному шліфуванні в якості інструменту використовують металевий або графітовий диск; для відрізання застосовують диски з листового матеріалу товщиною від 0,3...0,5 мм до кількох міліметрів або сталеву стрічку, що переміщується по шківках. Товщина стрічки не перевищує 1...1,5 мм.

В процесі обробки форма і розміри електроду-інструменту змінюються в результаті зносу, однак остаточний профіль поглиблення формується незношеною ділянкою електроду-інструменту, тому електрод-інструмент виготовляють на 1...2 квалітети точніше, ніж оброблювані деталі. Допуски на розміри електроду-інструменту складають звичайно 0,015...0,1 мм, що відповідає вимогам до виготовлення металорізальних інструментів.

Інструменти з міді, алюмінію і їхніх сплавів зазвичай виготовляють штампуванням, витягуванням, прокатуванням. Точність виготовлення відповідає 8...10-му квалітетам точності, шорсткість поверхні $R_a = 2,5...5 \text{ мкм}$. Для надання електродам-інструментам прямолінійності їх правлять у спеціальних пристосуваннях.

Заготовки для електродів-інструментів, що мають складну об'ємну форму, виконують литтям. Це економічно доцільно, якщо потрібна значна кількість однакових інструментів. Наприклад, при литті в оболонковій формі їх повинно бути не менше 50. Внаслідок усадки литі заготовки мають невисоку точність і вимагають додаткової механічної обробки лезовим та абразивним інструментами (точіння, фрезерування, свердління, шліфування й ін.). Для точного базування електроду-інструменту у верстаті перший оброблюють разом з електродотримачем, використовуючи в якості установчих баз приєднувані до верстата елементи електродотримача.

При механічній обробці міді, алюмінію та їх сплавів передні кути інструменту повинні бути невеликі. Швидкість різання для твердосплавних різців і фрез досягає 5 м/с, подача – до 0,3 мм/об. У випадку обробки графітових матеріалів бажано використовувати твердосплавний інструмент із переднім кутом 10...12° при швидкості різання до 6 м/с, подачі при фрезеруванні – до 10 мм/с, глибині різання на чистових операціях – 0,5...2 мм. Інструменти з графітових матеріалів шліфують.

При прошиванні отворів постійного перерізу розміри електроду-інструменту визначають, виходячи з розмірів отвору. Для круглих перерізів:

$$d_e = d_\partial - 2 \cdot s_\partial, \quad (4.1)$$

де d_e – діаметр електрода-інструмента, мм;

d_∂ – діаметр отвору в деталі, мм;

s_∂ – боковий зазор – відстань між протилежними ділянками поверхонь електрода і заготовки, паралельними напрямку їх руху, мм.

Боковий зазор залежить від енергії імпульсів, матеріалу електродів, складу і напрямку руху робочого середовища, розмірів отвору. На чорнових режимах $s_{\delta} = 0,15 \dots 0,5$ мм, на чистових $s_{\delta} = 0,005 \dots 0,05$ мм.

Довжина електроду-інструменту:

$$L = L_1 + L_2 + L_3 + L_4, \quad (4.2)$$

де L_1 – довжина ділянки закріплення в електродотримачі, мм;

L_2 – глибина отвору, мм;

L_3 – скорочення довжини інструмента за рахунок зносу, мм;

L_4 – довжина ділянки, необхідної для калібрування наскрізного отвору, мм.

Для розрахунку $L_1 = 20 \dots 30$ мм., $L_4 = (1,2 \dots 1,8) \cdot L_2$; скорочення довжини L_3 можна оцінити як знос γ у відсотках від довжини отвору L_2 , тобто $L_3 = L_2 \cdot \gamma / 100$. Тоді:

$$L = 20 \dots 30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100} + (1,2 \dots 1,8) \cdot L_2. \quad (4.3)$$

У випадку обробки глухого отвору використовують електроди-інструменти довжиною L' для чорнової обробки і довжиною L'' для чистової обробки:

$$L' = 20 \dots 30 + L_2 + \frac{L_2 \cdot \gamma}{100}, \quad (4.4)$$

$$L'' = 20 \dots 30 + L_2. \quad (4.5)$$

У тих випадках, коли одного електроду-інструменту для калібрування глухого отвору підвищеної точності недостатньо, використовують кілька калібрувальних електродів-інструментів з робочою частиною, що має довжину $L' > L''$. При зміні електроду-інструменту варто зберігати єдині установчі бази, що дозволяє усунути похибки базування.

4.3. Завдання

Розрахувати профільований електрод-інструмент для прошивання отвору заданої форми і глибини на електроерозійному верстаті 4Г721М. Варіанти завдань приведені в таблиці Б1 (додаток Б).

Розрахунок проводити в такій послідовності:

1. Обґрунтувати і вибрати матеріал електроду-інструменту.
2. Обґрунтувати і розробити конструкцію.
3. Обґрунтувати і призначити технологічні параметри електроду-інструменту.
4. Розрахувати робочу частину.
5. Розробити креслення електроду-інструменту.

4.4 Контрольні запитання

1. Дайте коротку характеристику електродів-інструментів із міді, латуні, графітових матеріалів, вольфраму.
2. Як класифікують електроди-інструменти за призначенням, формами поперечного перерізу?
3. Які електроди-інструменти використовують при виготовлення прецизійних отворів?
4. Які електроди-інструменти використовують при електроерозійному шліфуванні?
5. Як розраховують довжину електродів-інструментів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

Проектування технологічного процесу обробки деталі на електроерозійному верстаті 4Г721М

5.1. Мета роботи

Ознайомитись із особливостями проектування технологічних процесів обробки деталей електроерозійним методом.

5.2. Теоретичні відомості

Для проектування технологічних процесів необхідно мати вихідну документацію і відомості, необхідні для розрахунку режимів обробки та оцінки техніко-економічних показників електроерозійної обробки.

1. Креслення деталі з технічними умовами.
2. Креслення заготовки після операції, що передувала електроерозійній обробці.
3. Програму випуску виробів.
4. Техніко-економічні показники процесу.
5. Каталог електроерозійного обладнання.
6. Каталог і альбоми креслень інструменту і пристосувань для електроерозійної обробки.

Порядок проектування технологічних процесів електроерозійної обробки:

1. За формою оброблюваної поверхні, її розмірами і вимогами до шорсткості намічають один або кілька способів обробки, що дозволяють забезпечити відповідність деталі кресленню і технічним умовам; підбирають схему обробки деталей; розглядають можливість і доцільність використання багатоконтурної і багатоелектродної обробки.

2. Намічають маршрут технологічного процесу електроерозійної обробки, для чого визначають послідовність і кількість операцій, які виконуються на верстаті.

3. Розраховують технологічні показники процесу для кожної операції: продуктивність, точність, якість поверхні. Розрахунок режимів виконують в залежності від технологічних вимог до деталі.

Режими обробки розраховують у такій послідовності:

3.1. *Вибирають технологічний критерій, який необхідно отримати наприкінці операції (точність, шорсткість, продуктивність і т.д.).*

3.2. *Для обраного критерію знаходять енергію імпульсу A_i .*

Енергія імпульсу A_i як робота електричного струму залежить від добутку сили струму I на напругу U за час τ протікання імпульсу:

$$A_i = \int_0^{\tau} I \cdot U \cdot \tau . \quad (5.1)$$

У першому наближенні енергію A_i можна розраховувати за середнім значенням сили струму і напруги:

$$A_i = I_{сеп} \cdot U_{сеп} \cdot \tau_i . \quad (5.2)$$

Середнє значення напруги пробою $U_{сеп} = (0,5...0,75) \cdot U_0$, де U_0 – напруга холостого ходу при розімкнутих електродах. Напруга U_0 легко контролюється в процесі обробки.

При електроіскровому режимі приймають $U_0 = 40...180 \text{ В}$. Якщо використовують електроімпульсний режим, то $U_0 = 18...36 \text{ В}$. Електроконтактна обробка в рідкому середовищі протікає при $U_0 = 18...40 \text{ В}$, у повітрі – при $U_0 = 3...12 \text{ В}$.

Середню силу струму визначають через її значення I_k при короткому замиканні електродів: $I_{сеп} = (0,5...0,75) \cdot I_k$. Силу струму короткого замикання можна встановлювати і контролювати за приладами верстата. Її вибирають в залежності від оброблюваного матеріалу і необхідної шорсткості поверхні. При чорновій обробці сталей $I_k = 20...120 \text{ А}$, при чистовій – $I_k = 0,5...5 \text{ А}$, для твердих сплавів – $I_k = 0,05...0,2 \text{ А}$.

Тривалість імпульсів τ_i зворотно пропорційна частоті f їхнього проходження. Оскільки між імпульсами є паузи, то при розрахунку τ_i необхідно враховувати скважність q – відношення періоду τ_0 повторення імпульсів до їх тривалості:

$$q = \frac{\tau_0}{\tau_i}, \quad (5.3)$$

$$\tau_i = \frac{1}{q \cdot f}. \quad (5.4)$$

Тривалість імпульсу для чорнової обробки сталей $\tau_i = 200 \dots 10^5$ мкс, для чистової обробки $\tau_i = 5 \dots 200$ мкс. Для твердих сплавів тривалість імпульсу ще на 2...3 порядки нижче. При електроерозійній обробці використовуються імпульси різної форми, але однієї полярності (уніполярні).

3.3. Знаходять шорсткість поверхні.

У результаті електроерозійної обробки на поверхні утворюються характерні нерівності, а у поверхневому шарі металу відбуваються фізико-хімічні зміни. Це впливає на експлуатаційні показники оброблюваних деталей.

Оброблена поверхня формується з довільно розташованих поглиблень, які перекривають одне одного. Розміри поглиблень залежать від енергії імпульсу і матеріалу електродів. Їх глибина зростає із збільшенням енергії імпульсів та зменшенням частоти їхнього проходження. Висота нерівностей $h_{лi}$ залежить від степені перекриття поглиблень. Висота нерівностей профілю:

$$R_z = \frac{h_{л1} + h_{л2} + h_{л3} + h_{л4} + h_{л5}}{5}, \quad (5.5)$$

де $h_{ли}$ – глибина одного з п'яти поглиблень у межах базової довжини, мкм.

Якщо допустити, що розміри всіх поглиблень на ділянці поверхні, де проводять вимірювання шорсткості, однакові, то можна вважати $R_z \approx h_{л}$. Оскільки розмір поглиблення залежить від енергії імпульсу, то можна висоту нерівностей виразити через енергію імпульсу:

$$R_z = k_n \cdot A_u^p, \quad (5.6)$$

де k_n – коефіцієнт, що залежить від режиму обробки, матеріалу електродів, їхніх розмірів, виду і стану робочого середовища;

$p = 0,3 \dots 0,04$ – показник степеню, який характеризує форму поглиблення.

При чистових режимах для твердих сплавів $k_n = 1 \dots 5$, для сталей $k_n = 2 \dots 12$; при чорнових режимах $k_n = 10 \dots 50$. При вимірюванні висоти нерівностей необхідно враховувати специфіку поверхні після електроерозійної обробки.

Шорсткість після обробки в електроіскровому режимі твердих сплавів – $R_a = 0,2 \dots 0,3$ мкм; після обробки сталей – $R_a = 0,3 \dots 0,6$ мкм.

Після обробки в електроімпульсному режимі – $R_z = 20 \dots 40$ мкм; при шліфуванні в рідині – $R_a = 0,5 \dots 0,8$ мкм; при розрізуванні – $R_z = 80 \dots 200$ мкм; при електроконтактному обдирному шліфуванні і розрізуванні на повітрі – $R_z = 150 \dots 400$ мкм. Висота нерівностей при зміцненні і легуванні зростає зі збільшенням товщини нанесеного шару – $R_z = 10 \dots 200$ мкм.

3.4. Розраховують продуктивність обробки.

Продуктивність Q процесу електроерозійної обробки профільованим інструментом вимірюється відношенням об'єму або маси видаленого металу до часу обробки. Якби вдалося вести процес при постійній енергії імпульсів, то продуктивність можна було б оцінити як добуток енергії імпульсів на їхню частоту. На практиці умови протікання кожного окремого імпульсу можуть відрізнятися, тому при розрахунках:

$$Q = \frac{k \cdot A_i}{q \cdot \tau_i}, \quad (5.7)$$

де k – коефіцієнт, який знаходять експериментально, залежить від виду робочого середовища, його стану, прокачування, матеріалів і розмірів електродів, характеристики імпульсів: при чистових режимах обробки для сталей $k = 2 \dots 12$, при чорнових режимах $k = 10 \dots 50$.

A_i – енергія імпульсу, Дж;

q – скважність.

При $q = 1$ імпульси струму підводяться безперервно, тому безперервно підводиться і тепла енергія до ділянки оброблюваної поверхні. Діапазон скважностей, які застосовують для електроерозійної обробки, знаходиться в межах 1...30. При $q > 30$ вважають, що на поверхню діють не періодичні, а одиночні імпульси енергії.

При малій площі обробки число ділянок, на яких можливий розряд, значно менше, ніж кількість імпульсів, які поступають від генератора, тому що частина площі перекрита газовими бульбашками від попередніх розрядів.

Якщо збільшувати площу оброблюваної поверхні, то швидкість знімання металу буде зростати, але надалі відбудеться її зниження. Це пояснюється тим, що з часом погіршуються умови видалення продуктів обробки з міжелектродного проміжку. Все більша кількість імпульсів генератора не буде викликати ерозії через нагромадження газів і металевих часток у просторі між електродами.

3.5. Точність обробки.

Точність обробки деталей – ступінь відповідності їх форми і розмірів кресленню. Відхилення від форми і розмірів називаються похибкою. Електроерозійному процесу властиві ті ж систематичні і випадкові похибки, що і при механічній обробці. Так само як і при механічній обробці, на розміри похибок впливають стан технологічної системи, похибки установки, базування інструмента, внутрішні напруження в матеріалі заготовки, її нагрів при обробці. У випадку електроерозійної обробки жорсткість технологічної системи не залежить від режиму обробки, але на неї істотно впливає тиск рідини при прокачуванні робочого середовища.

При ЕЕО на точність виготовлення деталей впливають:

- точність виготовлення електроду-інструменту;
- зношування електроду-інструменту внаслідок ерозії;
- похибки форми і розмірів поглиблення на заготовці відносно електрода-інструмента.

4. Розраховані показники точності, шорсткості і стану поверхневого шару порівнюють з вимогами креслення і технічних умов. Якщо хоча б один з показників виявляється нижчим, необхідно внести корективи до розрахунків.

5. Визначають швидкість лінійної подачі електрода-інструмента:

$$v_i = \frac{Q}{s}, \quad (5.8)$$

де Q – продуктивність процесу, $m^3/xв.$;

s – площа оброблюваної поверхні, m .

6. Знаходять основний час обробки деталі на верстаті:

$$t_0 = \frac{z}{v_i}, \quad (5.9)$$

де z – розмір припуску (рівний заглибленню електрода-інструмента в напрямку подачі), m .

7. За нормативами знаходять інші складові штучно-калькуляційного часу $t_{шк.}$: допоміжний час $t_е$, час обслуговування $t_{обс}$, час відпочинку $t_{відп}$, підготовчо-заключний час $t_{н.з.}$ (при спрощених розрахунках час обслуговування і відпочинку беруть у залежності від суми $t_о + t_е$):

$$t_{шк.} = \frac{t_0 + t_е + t_{відп} + t_{н.з.}}{N}, \quad (5.10)$$

де N – число деталей у партії.

8. Якщо необхідно здійснити додаткові операції з метою отримання технологічних показників відповідно до вимог креслення деталі, необхідно розрахувати їхню трудомісткість і знайти загальні витрати часу на виконання електроерозійної і наступної операцій.

9. Порівнюють загальні витрати часу на електроерозійну обробку і ту, яка раніше застосовувалась на даній операції. Якщо проектують процес виробництва нового виробу, то для порівняння беруть технологію механічної обробки, що дозволяє одержати необхідну деталь. З вихідних даних беруть програму випуску деталей, підбирають серійний верстат, що забезпечує

виготовлення заданої деталі, і проводять попереднє техніко-економічне обґрунтування доцільності використання електроерозійної обробки.

Електроерозійний метод дозволяє обробляти поверхні, що не можуть бути оброблені традиційними методами. До них відносяться криволінійні глухі і наскрізні отвори перемінного перетину, вузькі наскрізні і глухі пази, сполучні канали між поглибленнями. У подібних випадках немає необхідності в техніко-економічному обґрунтуванні.

10. При позитивних результатах розрахунку розробляють операційні карти технологічного процесу в кількості, обумовленій маршрутною картою.

11. Намічають схему базування, установки і закріплення заготовки, обґрунтовують доцільність проектування спеціальних пристосувань для установки заготовки і інструмента.

12. Вибирають з числа наявного або проектують і виготовляють інструмент. При обробці непрофільованим електродом-інструментом вибирають матеріал, діаметр, швидкість переміщення дроту або стрижня, натяг дроту і розраховують траєкторію руху електроду-інструменту.

13. Розробляють технічні завдання на проектування спеціальних пристосувань. При цьому враховують умови установки деталей у пристосуванні, необхідність ізоляції, захист рухомих елементів від попадання продуктів обробки, що викликають абразивний знос.

14. Після виготовлення всього оснащення й інструмента здійснюють настроювання верстата і виготовлення першої деталі.

15. Уточнюють режими обробки в операційних картах, конструкцію інструмента і пристосувань.

16. Проводять уточнений розрахунок техніко-економічних показників від впровадження електроерозійного процесу.

5.3. Завдання

Розробити технологічний процес обробки поверхні деталі, заданої в лабораторній роботі №4.

5.4 Контрольні запитання

1. Назвіть порядок проектування технологічних процесів електроерозійної обробки.
2. Як знаходять енергію імпульсу A_i ?
3. Як залежить тривалість імпульсів τ_i від частоти f їхнього проходження?
4. Що представляє собою шорсткість поверхні при електроерозійній обробці та від яких параметрів залежить її величина?
5. Як визначають продуктивність Q процесу електроерозійної обробки профільованим інструментом?
6. Що таке скважність?
7. Які параметри впливають на точність виготовлення деталей при ЕЕО?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

Розробка технологічного процесу електрохімічної обробки та розробка конструкції електроду-інструменту

6.1. Мета роботи

Набути навички розробки технологічного процесу електрохімічної обробки та конструкцій електродів-інструментів.

6.2. Теоретичні відомості

6.2.1.1. Проектування технологічного процесу

При розробці технологічного процесу складають послідовність виконання операцій з урахуванням особливостей електрохімічної обробки (ЕХО). Якщо вона обрана правильно, то одержують деталь із заданими формою, розмірами і якістю поверхні.

Перш ніж почати проектування, необхідно знати:

- матеріал оброблюваної заготовки (марку, щільність, дані про структуру, твердість, наявність неелектропровідних включень). Таку інформацію беруть із креслення деталі;
- допуски на розміри (також зазначені в кресленні деталі);
- припуск на обробку, його мінімальний розмір і нерівномірність. Дані отримують із креслень заготовки, деталі і технічних умов на заготовку;
- шорсткість поверхні деталі і заготовки;
- розміри виготовленої деталі і заготовки;
- аналіз технологічності деталі з урахуванням виготовлення ЕХО;
- дані про технологічні можливості процесу.

Для більш повного використання переваг ЕХО необхідно проектувати деталі з урахуванням особливостей процесу анодного розчинення матеріалів. Варто враховувати, що при ЕХО немає поділу на чорнові і чистові операції – *при будь-якому режимі ЕХО висота нерівностей відповідає чистовим операціям механічної обробки, і зі зростанням швидкості знімання металу шорсткість поверхні знижується.* На відміну від механічної обробки,

технологічні показники ЕХО навіть підвищуються зі збільшенням твердості матеріалу заготовки. Крім того, при ЕХО інструмент або взагалі не зношується, або зношується незначно (при комбінованому способі обробки).

При використанні ЕХО необхідно задовольняти наступним вимогам, загальним для усіх видів заготовок і схем обробки:

1. Поверхня перед ЕХО повинна бути зачищена від окалин та інших неелектропровідних речовин.

2. У місцях, де видалення металу планують виконувати із застосуванням ЕХО, не допускається місцеве зачищення поверхні, наприклад, для контролю твердості.

3. ЕХО необхідно проводити після термічної обробки заготовок. Це дозволяє уникнути порушення точності за рахунок короблення при термообробці.

4. При проектуванні заготовок припуск не повинен бути меншим деякого граничного значення, що визначається з урахуванням можливого розчинення на оброблюваних і сусідніх поверхнях, де метал може розчинятися за рахунок струмів розсіювання і прискореного знімання на краю деталі.

5. В технологічному процесі не передбачають операції і переходи із видалення задирок і округленню крайок на поверхнях після ЕХО.

Після вивчення креслень заготовки, деталі, технологічних можливостей ЕХО проектують технологічний процес в наступному порядку:

1. Вибирають схему ЕХО з огляду на форму оброблюваної поверхні, виходячи із наявності устаткування й інструмента.

2. Оцінюють технологічність деталі і вносять необхідні зміни в креслення з урахуванням застосування ЕХО.

3. Оцінюють технологічні показники ЕХО і порівнюють їх із аналогічними показниками механічної обробки.

4. Обґрунтовують доцільність застосування ЕХО. Якщо деталь не можна виготовити іншим способом, такого обґрунтування не потрібно.

У серійному виробництві ЕХО доцільно застосовувати при обробці заготовок складної форми з високоміцних сплавів або матеріалів з підвищеною крихкістю, в'язкістю (жароміцні, титанові й інші сплави). Деталі з конструкційних матеріалів виготовляють, використовуючи ЕХО, якщо обмежений доступ інструменту в зону різання, наприклад, обробка труб і отворів некруглої форми при відношенні довжини до діаметра більше 10.

Варто враховувати також, що процес ЕХО легко піддається автоматизації і його можна застосовувати для виготовлення деталей з токсичних, вогненебезпечних матеріалів, наприклад берилію, магнію.

5. Порівнюють отримані розрахунковим шляхом показники точності, якості поверхні з вимогами креслення деталі. Якщо можливості ЕХО не задовольняють цим вимогам, то передбачають доводочні операції.

6. Визначають мінімальний припуск на обробку і уточнюють креслення заготовки.

7. Розроблюють маршрутний процес ЕХО й уточнюють його місце в загальному технологічному процесі виготовлення деталі.

8. Намічають способи захисту необроблюваних поверхонь від анодного розчинення.

9. Розроблюють операційні карти з вказівкою режимів обробки.

10. Розроблюють контрольні карти з урахуванням специфіки ЕХО.

11. Видають технічні завдання на проектування електродів-інструментів і пристосувань.

6.2.1.2. Точність обробки

Точність розмірів і форми деталі залежить від похибки електроду-інструменту і від похибок, викликаних відхиленнями режиму ЕХО від розрахункового.

При ЕХО між інструментом і заготовкою немає механічного контакту, а видалення матеріалу йде по всій поверхні одночасно. Обмежити розчинення на ділянках, де знятий весь припуск, практично не вдається. Крім того, похибка

деталі залежить від припуску на обробку, його нерівномірності, стабільності процесу анодного розчинення оброблюваної поверхні, точності обладнання.

Різні фактори не однаково впливають на загальну похибку обробки. Найбільший вплив вносить нестабільність електропровідності електроліту, зазору, виходу струму (до 50% від загальної похибки). Великі похибки вносять відхилення від розрахункового режиму прокачування електроліту (до 20%), пружні і температурні деформації (до 15%), похибки налагоджування і установки (до 15%).

6.2.1.3. Якість поверхні

Формування мікрорельєфу поверхні при ЕХО залежить від структури матеріалу заготовки, складу, температури, швидкості прокачування електроліту, електричних параметрів режимів обробки. Усі ці фактори постійно змінюються за часом, і процес анодного розчинення в кожній точці протікає по-різному. Відмінності можуть бути незначними і практично не впливають на швидкість знімання металу, але викликають утворення мікронерівностей.

Якщо ЕХО виконують після механічної обробки, то на початку процесу анодного розчинення мікрорельєф повторює профіль заготовки. Після точіння, наприклад, необхідно видалити за допомогою ЕХО припуск, у 6...10 разів більший, ніж початкова висота нерівностей, доки стане відсутнім вплив обробки, яка передує ЕХО. Надалі при стабільних параметрах процесу шорсткість поверхні не змінюється. Характер мікронерівностей залежить від структури оброблюваного матеріалу.

Глибина мікронерівностей залежить від щільності струму. Для більшості сплавів із збільшенням щільності струму шорсткість поверхні знижується.

Зі зниженням температури електроліту при тій же щільності струму зменшується висота нерівностей, але стає нижчою швидкість розчинення металу. У більшості випадків використовують електроліти з температурою 290...3100 К.

В процесі ЕХО отримують шорсткість поверхонь $Ra \leq 0,3 \mu\text{м}$.

6.2.1.4. Продуктивність

Продуктивність процесу виражається через швидкість подачі електрода-інструмента. При прошиванні:

$$v_i = \frac{\eta \cdot \varepsilon \cdot \xi \cdot U}{\rho \cdot s}, \quad (6.1)$$

де η – вихід по струму (для конструкційних і низьколегованих сталей $\eta = 0,8...0,85$, для високолегованих $\eta = 0,85...0,93$);

ε – електрохімічний еквівалент: для високолегованих сталей – $\varepsilon = 0,14...0,16$; для конструкційних – $\varepsilon = 0,2...0,22$; для жаростійких – $\varepsilon = 0,26...0,29$;

U – напруга, V ;

ξ – питома провідність;

ρ – густина оброблюваного матеріалу, $кг/м^3$;

s – міжелектродний зазор, $м$.

Для обробки отворів значення s приймають в межах $0,1...0,3$ $мм$.

Питома провідність для розчинів хлориду натрію і нітрату натрію різної концентрації (г/л) має наступні значення:

концентрація	50	100	150	200
хлорид натрія	6,7	12,1	16,4	19,6
нітрат натрія	4,36	7,82	11	13

Для більшості схем обробки використовують діапазон напруг $U = 9...18$ V (для титанових сплавів $U = 25...30$ V). Розрізування матеріалів виконують при напрузі $U = 25...30$ V . При шліфуванні напругу знижують до $U = 6...8$ V .

При напрузі вище $15...18$ V починають зростати втрати в приелектродних шарах – підведена потужність зростає швидше, ніж корисна. Крім того, зі збільшенням напруги знижується точність за рахунок розчинення металу на ділянках заготовки, відокремлених від оброблюваної зони.

При напрузі понад 30 V може виникнути пробиття міжелектродного проміжку.

Швидкість подачі інструмента коливається в межах 0,005...0,1 мм/с.

Час обробки τ визначається із:

$$\tau = \frac{z}{V_i}, \quad (6.2)$$

де z – глибина отвору, м.

6.2.2. Проектування електроду-інструменту

6.2.2.1. Матеріал електроду-інструменту

Для електродів-інструментів необхідно вибирати сплави, які мають корозійну стійкість, високу електропровідність, високий опір місцевому руйнуванню при коротких замиканнях, високу адгезією до діелектричних покриттів, достатню механічну міцність й оброблюваність, низьку вартість.

Найбільше цим вимогам задовольняють мідь, мідні сплави, нержавіючі сталі; в меншій ступені – титанові сплави. Мідь і її сплави мають високу електропровідність, зварюваність, задовільну адгезію до покриттів, достатню механічну міцність. Головним їхнім недоліком є висока чутливість до коротких замикань, при яких виплавляються великі ділянки робочої поверхні, що затрудняє їх відновлення. Якщо заготовку електрода-інструмента отримують литтям, то в якості матеріалу використовують латунь або бронзу.

Електроди-інструменти підвищеної міцності виготовляють з нержавіючих сталей, наприклад 12Х18Н9Т, що не руйнуються при коротких замиканнях, мають межу міцності в 2...3 рази вищу, ніж мідь, мають високу адгезію до покриттів. При цьому варто враховувати низьку питому електричну провідність (у 30...50 разів менше, ніж у міді). Тому контактні ділянки для підведення напруги в таких інструментах повинні бути великими.

При проектуванні електродів-інструментів діелектричні матеріали використовуються:

- у вигляді покриттів товщиною 0,05...0,5 мм;

– у вигляді механічно оброблених конструктивних елементів (стрижнів, брусків, листів, плит), які або закріплюються на оброблюваній поверхні, або складають частину електроду-інструменту.

6.2.2.2. Форма робочої частини та довжина електроду-інструменту

Електроди-інструменти для схеми прошивання отворів виготовляють у залежності від:

- виду обробки – металевим інструментом або струминним методом;
- виду поглиблення – з постійним або змінним периметром;
- форми поверхні – конічної, сферичної з кільцевою вирізкою (трепанція) і ін.;
- виду отвору – глухого або наскрізного.

В більшості випадків електрод (рис. 6.1) виконують у виді трубки **1**, ізолюваної зовні покриттям **2**. З боку робочого торця роблять буртик **3**, що захищає покриття **2** від руйнувань струменем електроліту і продуктами обробки. Якщо отвір круглий, то електроду-інструменту надають додаткове обертання, що дозволяє підвищити точність розмірів. При розрахунку електроду-інструменту необхідно знайти діаметр d_i , який забезпечує одержання отвору діаметром D .

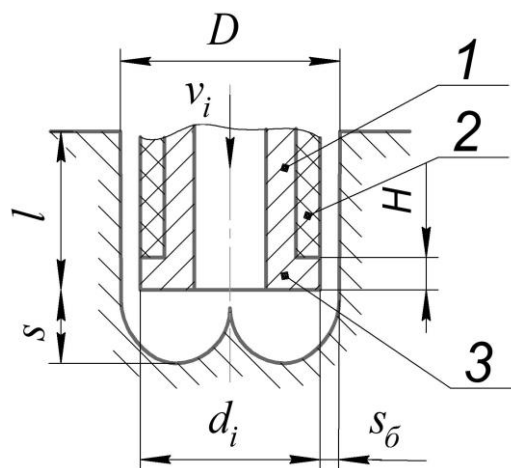


Рисунок 6.1 – Форма електроду

За рахунок знімання буртиком **3** металу з бічних поверхонь отвору:

$$d_i = D - 2 \cdot y, \quad (6.3)$$

де y – величина знімання металу з бічних поверхонь, m .

Для ЕХО отворів і невеликих порожнин, а також при розрізуванні заготовок установлюють і підтримують значення $y = 0,1...0,3$ мм.

Для одержання прицевійних отворів висота бурту повинна бути якнайменша, однак по можливості технології $H = 0,2...0,3$ мм.

В електродів-інструментів з товстими стінками замість ізоляції бічної поверхні можна діаметр інструмента зменшити на 1,5...2 мм у порівнянні з діаметром бурту. Довжина електрода:

$$l = k_{рем.} \cdot (l_{\partial} + l_3 + l_6), \quad (6.4)$$

де l_{∂} – глибина отвору, m ;

l_3 – довжина ділянки для закріплення електрода в електродотримачі, m ;

l_6 – довжина виходу інструмента (при прошиванні наскрізних отворів), m ;

$k_{рем.} = 1,2...2$ – коефіцієнт, що враховує скорочення довжини електрода при ремонті.

Якщо $l_{\partial} > (10...12) \cdot D$, то інструмент варто розраховувати на твердість, при цьому підвищені вимоги пред'являють до технологічної системи в цілому.

6.2.2.3. Вимоги до точності та шорсткості

Електрод-інструмент проектують і виготовляють, як правило, для кожного типорозміру деталі. Точність форми і розмірів робочого профілю інструмента повинна бути на один квалітет вище, ніж оброблюваної деталі.

Шорсткість поверхні робочої частини електрода не впливає на якість обробленої поверхні деталі, але визначає характер протікання електроліту, інтенсивність забруднення зазору продуктами обробки. Шорсткість робочої поверхні $Ra \leq 2,5$ мкм. Для зниження зносу діелектричних направляючих електродів-інструментів, наприклад при протягуванні, шорсткість поверхні $Ra \leq 1,25$ мкм. При проектуванні електродів-інструментів необхідно передбачити, щоб електроліт протікав плавно, без різких поворотів, оскільки це приводить до зривів потоку і появі місцевих неопрацьованих ділянок. При

розробці робочої частини варто враховувати можливість багаторазового її коригування за результатами експериментів і залишати припуск для ремонту після коротких замикань.

Електроди-інструменти проектують за результатами розрахунку профілю робочої частини. Заготовками для них можуть служити стандартний прокат, лиття, штамповані вироби, кування, форми, отримані гальванопластикою і напилюванням.

6.2.2.4. Послідовність виготовлення електроду-інструменту

Електрод-інструмент виготовляють у наступній послідовності:

1. Розраховують діаметр d_i .
2. Трубку необхідного діаметра в нагрітому стані розтягують уздовж осі.
3. Відрізують частину трубки за розрахованою довжиною.
4. Шліфують або проточують зовнішню поверхню на глибину шару ізоляції, зберігаючи борт і ділянку для закріплення електроду-інструменту в електродотримачі.
5. Наносять шар ізоляції.
6. Зачищають робочу частину електрода-інструмента від ізоляції й інших неструмопровідних часток.
7. Здійснюють контроль електроду-інструменту.

При прошиванні отворів струминним методом їх діаметр залежить від розмірів струменя і визначається діаметром сопла.

6.3. Завдання

1. Спроекувати електрод-інструмент для обробки отвору, заданого в лабораторній роботі №4.
 - 1.1. Обґрунтувати і вибрати матеріал електроду-інструменту.
 - 1.2. Розрахувати форму робочої частини та довжину електрода.
 - 1.3. Вибрати точність і шорсткість електроду-інструменту.
 - 1.4. Зробити креслення спроектованого електроду-інструменту.
2. Спроекувати технологічний процес ЕХО заданого отвору.

2.1. Ознайомитись із загальним порядком проектування технологічних процесів ЕХО.

2.2. Вибрати необхідні технологічні параметри ЕХО та розрахувати продуктивність обробки заданої поверхні.

6.4 Контрольні запитання

1. Назвіть вимоги, які висуваються до заготовок при використанні ЕХО.
2. Від чого залежить точність розмірів і форми деталі при ЕХО?
3. Від чого залежить формування мікрорельєфу поверхні при ЕХО?
4. Від яких параметрів залежить глибина мікронерівностей при ЕХО?
5. Як визначають продуктивність процесу ЕХО при прошиванні отворів?
6. Які вимоги висуваються до матеріалу інструменту, який використовується при ЕХО? Назвіть матеріали, які задовольняють вказані вимоги.
7. Від чого залежить форма електрода-інструмента для схеми прошивання отворів при ЕХО?
8. Від чого залежить вибір точності форми і розмірів робочого профілю інструмента?
9. На що впливає шорсткість поверхні робочої частини електрода?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Технологічні характеристики процесів електроконтактного різання та електроабразивного шліфування

7.1. Мета роботи

Ознайомлення з фізичними основами і технологічними характеристиками процесів електроконтактного різання та електроабразивного шліфування.

7.2. Теоретичні відомості

В якості інструментів для контактної електроерозійної обробки застосовують звичайні диски з будь-якого струмопровідного матеріалу – міді, алюмінію, сталі та ін. Металевий диск, що обертається, із визначеним зусиллям притискається до поверхні деталі. Він створює механічний і електричний контакт між інструментом і заготовкою. В результаті тертя з деталлю механічна енергія в зоні контакту перетворюється в теплову. Проходження через контакт електричного струму також не залишається безслідним. Контакт ділянок електродів (диска і деталі) спричиняє виникнення контактного опору і виділення тепла. Коли короточасні контакти в процесі обертання диска руйнуються і віддаляються один від одного, то між ними спалахують електричні розряди, які затухають при подальшому роз'єднанні поверхонь, які раніше контактували між собою.

Таким чином, одночасно діють три джерела високих температур: механічне, електроконтактне і розрядне. Відбувається змішування несхожих за фізичною суттю процесів, кожен з яких може бути домінуючим у визначених умовах. Якщо напруги незначні, то електричні розряди відсутні, переважає генерація тепла. Із зростанням напруги електрична енергія перетворюється на теплову завдяки контактному опору дотичних між собою мікроділянок по поверхні інструменту та деталі. При високих напругах виникають електричні дугові розряди і процес видалення металу стає в основному електроерозійним.

Поєднання двох останніх процесів як найефективніших дозволило назвати обробку електроконтактною, або електроконтактно-дуговою.

За допомогою простих інструментів отримують високу продуктивність. Так, якщо проводиться груба обробка, інтенсивність знімання металу досягає $3\,000\,000\text{ мм}^3/\text{хв}$ при силі струму до 2700 А . Електроконтактне розрізування характеризується меншою продуктивністю – до $2\,000\text{ мм}^3/\text{хв}$, але, не дивлячись на це, процес виявляється ефективнішим механічного і супроводжується меншим зносом дешевого інструменту.

Електроконтактну обробку, як один із різновидів електророзрядної, використовують при виготовленні деталі із важкооброблюваних струмопровідних матеріалів. Цей метод можна використовувати для різних операцій, операцій точіння, фрезерування, шліфування деталей і т.д.

Технологічні характеристики електроконтактної обробки (продуктивність, точність, якість, оброблюваність різних матеріалів та ін.) визначаються режимами (електричними параметрами) процесу, тими умовами (середовище), в яких відбувається обробка, властивостями оброблюваних матеріалів і т.п.

В залежності від середовища, в якому відбувається процес, розрізняють *електроконтактну обробку в повітрі та рідині* (воді). В першому випадку в зону процесу можна підвести більшу потужність (до $300 - 500\text{ кВт}$) при силі струму до $15 - 20\text{ кА}$. Але в такому випадку утворюється більший дефектний шар. Його товщина значно знижується при обробці в рідині. Використання води підвищує якість обробленої поверхні, краще охолоджує заготовку і інструмент, зменшує приварювання металу, що виплавляється, до поверхні заготовки. Обробка у воді проходить при порівняно невеликих потужності (до $50 - 70\text{ кВт}$) і силі струму ($2 - 3\text{ кА}$) з невисокою продуктивністю. Використовується в основному для грубої (чорнової) обробки металів, хоча при деяких режимах якість обробленої поверхні доволі висока. *Обробку в повітрі використовують в тих випадках, коли потрібна висока продуктивність і*

неважлива якість обробленої поверхні (наприклад, розрізання злитків) при цьому шорсткість, як правило, отримують значною. При обробці в воді шорсткість $R_z = 320 - 160$.

Глибина шару із зміненою структурою досягає 2 – 3 мм у залежності від режиму обробки. При обробці деталей із твердого сплаву (внутрішнє та зовнішнє шліфування, розрізання і т. д.) на чистових (м'яких) режимах при низькій напрузі і малому струмі можна отримати шорсткість обробленої поверхні $R_a = 0,32$. Глибина зони із зміненою структурою при таких режимах досягають декількох сотих міліметра.

Із збільшенням сили робочого струму при постійній напрузі та інших рівних умовах зростає середня висота мікронерівностей:

$$R_z = n \cdot I^m, \quad (7.1)$$

де I – сила робочого струму,

n, m – коефіцієнт і показник степені, що залежать від конкретних умов обробки.

Ефективність зняття металу при електроконтактній обробці залежить від теплофізичних властивостей оброблюваного матеріалу. Краще за все оброблюються жаростійкі сталі (див. табл. 7.1).

Таблиця 7.1 – Порівняння оброблюваності матеріалів

Матеріал	Оброблюваність
Сатль 45	1
1X18H12T	1,5
Г13Л	1,52
2X13	1,53
X13	1,56
X25H13T	1,6

Інструменти для електроконтактної обробки в більшості операцій – профільні диски. Метал із заготовки знімається шарами, ширина яких дорівнює товщині диску або подачі на прохід, а товщина - глибині врізання. В залежності від потужності джерела живлення, диском можна знімати шари перерізом 6 – 7 см² і більше.

Для зовнішнього і плоского електроконтактного шліфування служать диски із сірого чавуна (наприклад, із СЧ 18), для внутрішнього – круги із міді чи іншого ерозійно-стійкого матеріалу. Щоб зменшити спрацювання інструментів, їм надають підвищені швидкості обертання (до 40-60 м/с). При цьому відносно спрацювання дискових електродів, наприклад, вуглецевих конструкційних сталей при роботі в рідині становить всього 3-5% (сила струму 2 кА) а в повітрі – 0,8... 12% (сила струму 15 кА).

Охолодження електроду-інструменту можна покращити, обдуваючи його повітрям або за допомогою рідини, що подається на диск (зовнішнє охолодження) чи такої, що прокачується через його внутрішні канали (внутрішнє охолодження). В якості охолоджувальної рідини можна використовувати воду, емульсію, мінеральні мастила та їх суміші.

Подача електроду-інструменту при електроконтактній обробці змінюється в межах 0,75...4 м/хв.

Робоча поверхня дискових електродів-інструментів 2 може бути гладкою (рисунок 7.1, а) чи з невеликими виступами (рисунок 7.1, б).

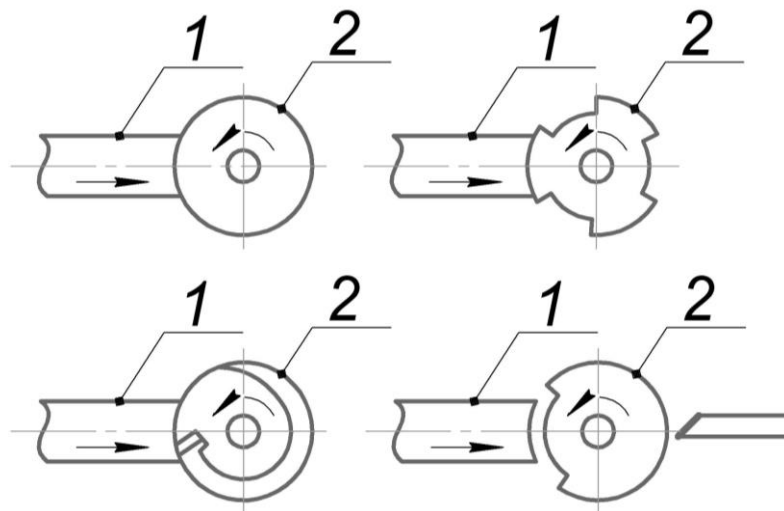


Рисунок 7.1 – Схеми електроконтактної обробки різноманітними електродами-інструментами

Інструмент, профіль якого виготовлено по спіралі Архімеда (рисунок 7.1, в), і диск з одним зубом і невеликим виступом (рисунок 7.1, г) – покращені варіанти електрода. Використання дисків з широким зубом і гвинтових,

внаслідок покращення умов видалення металу із зони обробки, дозволяє значно збільшити подачу. У результаті продуктивність цих дисків у порівнянні з гладкими дисками зростає на 30% при одночасному підвищенні якості оброблюваної поверхні.

Електроконтактне різання проводиться диском, що обертається, або безперервною смугою з підведенням струму низької напруги до інструмента і заготовки. Такий метод рекомендується для різання труб, круглих і прямокутних заготовок, профільного прокату та інших деталей з різноманітних струмопровідних матеріалів. Продуктивність його досягає $2000 \text{ мм}^2/\text{с}$ для сталі і до $4000 \text{ мм}^2/\text{с}$ для алюмінієвих сплавів. Електроконтактне різання проводять при наступних режимах:

Робочий струм, kA	1,5-20
Робоча напруга, В	24-31
Вид струму	Постійний
Швидкість диска-електрода, м/хв	30-100
Зношування диску-електроду (% об'єму металу, що знімається)	до 5
Товщина диску-електроду, мм	2-6
Діаметр диску-електроду, м	0,75-1
Ширина розрізу на 1-4 мм перевищує товщину дискового електроду-	

інструменту.

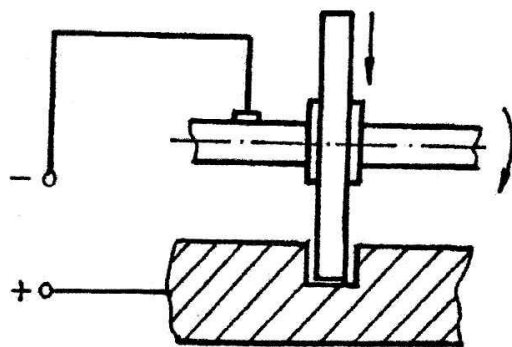


Рисунок 7.2 – Схема електроконтактного різання

Знаючи вагу зруйнованого металу і час обробки можна визначити продуктивність процесу за формулою:

$$V_3 = \frac{P_1 - P_2}{\gamma \cdot t} \cdot 1000, \text{мм}^3 / \text{хв}, \quad (7.2)$$

де P_1 – вага зразка до обробки, г;

P_2 – вага зразка після обробки, г;

t – час обробки, хв.,

γ – питома вага, г/см³.

В процесі обробки електрод-інструмент спрацьовується. Питоме спрацювання його можна визначити за формулою:

$$S = \frac{(\sigma_{e1} - \sigma_{e2}) \cdot \gamma_3}{(\sigma_{з1} - \sigma_{з2}) \cdot \gamma_e} \cdot 100\%, \quad (7.3)$$

де σ_{e1} , σ_{e2} – маса електрода-інструмента до та після обробки, г;

$\sigma_{з1}$, $\sigma_{з2}$ – маса зразка до та після обробки відповідно, г;

γ_3 , γ_e – питома вага матеріалів зразка та електрода-інструмента відповідно, г/см³;

Примітка. Питома вага міді $\gamma_3 = 8,6 \text{ г/см}^3$, сталі – $\gamma_3 = 7,8 \text{ г/см}^3$.

Інструмент для електроабразивної обробки ззовні нічим не відрізняється від звичайних абразивних кругів і головок. Він також має абразивні зерна, які закріплені зв'язкою, і працює при таких же швидкостях, як і при звичайному шліфуванні. Однак особливість такого інструмента полягає в тому, що його зв'язку роблять електропровідною і вона містить порошки металів або сплавів. Через таку електропровідну зв'язку і проходить постійний електричний струм, що підводиться до шпинделя верстату та інструменту.

Через міжелектродний проміжок протікають великі струми від 100 до 2000 А при низьких напругах в межах 6-24 В. При таких параметрах йде інтенсивне анодне розчинення деталі. Абразивні зерна при цьому здійснюють абразивне механічне шліфування, а також як ізолятори, виступаючи із зв'язки, забезпечують певний міжелектродний зазор і не допускають зіткнення електропровідної зв'язки з оброблюваною поверхнею. Останнє не завжди може чітко виконуватися, особливо при великому контактному тиску, коли зв'язка

внаслідок своєї нерівності починає стикатися з деталлю і відбувається короткочасне коротке замикання. В результаті виникає тепловий потік, який приводить до плавлення поверхневого шару заготовки, тобто до електричної ерозії. Із збільшенням зазорів між електродом-інструментом і деталлю починає переважати не ерозійне руйнування і механічне різання, а анодне розчинення, і обробка стає електрохімічною.

За допомогою такої обробки здійснюють різні види шліфування, хонінгування, суперфінішування, свердління, полірування заточування свердел, різців і т.д.

Переваги даного виду обробки: висока продуктивність (до $4000 \text{ мм}^3/\text{хв}$), низькі шорсткість обробленої поверхні та знос інструмента (в 10-20 разів менше ніж при звичайних методах обробки).

При електрохіміко-механічній обробці продукти анодного розчинення видаляються із зони обробки абразивом і відносяться потоком електроліту.

Принципова схема обробки приведена на рисунку 7.3. Електропровідний абразивний круг 1, що складається з абразивних зерен 3, електропровідного наповнювача (графіту), і зв'язки (бакеліту) 2, сполучений із негативним полюсом джерела струму (є катодом), а оброблювана деталь 5 із позитивним полюсом є анодом.

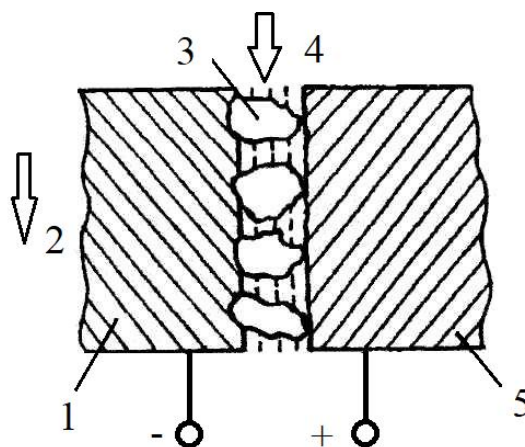


Рисунок 7.3 – Схема електроабразивного шліфування

Схема обробки електроабразивним кругом показана на рисунку 7.4.

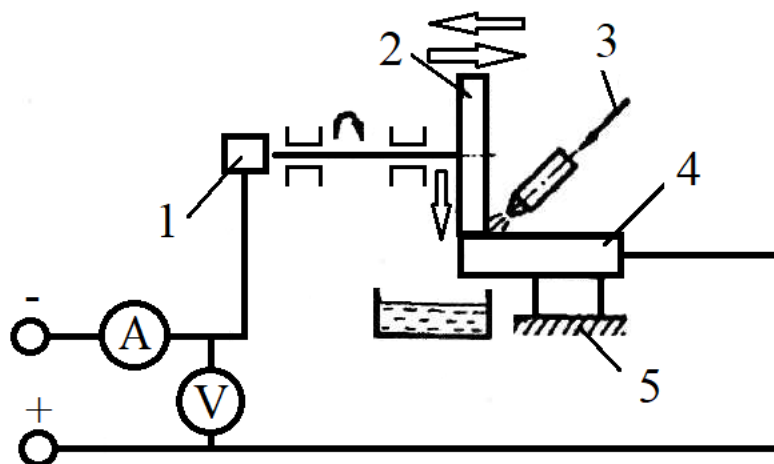


Рисунок 7.4 – Схема обробки електроабразивним кругом

Оброблювану деталь 4 (рис. 7.4) закріплюють на столі 5 і підключають до додатного полюса джерела струму. Електроабразивний круг 2, що обертається, роблять від'ємним електродом. Електроліт 3 через спеціальне сопло подають в робочу зону. Крім головного робочого руху (обертання), електроду-інструменту 2 через патрон 1 надається допоміжний рух подачі.

У якості електроліту найбільш часто використовують водяний розчин рідкого скла, розчин бури, азотнокислого натрію або калію. Для запобігання корозії устаткування в електроліт вводять антикорозійну добавку (зазвичай нітрит натрію). Електроліт подається в центр круга і при його обертанні відтісняється на периферію відцентровою силою.

Продуктивність і якість обробки залежать від колової швидкості V електроабразивного круга. Оптимальна швидкість $V = 15 - 30 \text{ м/с}$. При менших швидкостях знижується інтенсивність зрізування матеріалу, при більших – затрудняється подача електроліту в зону обробки. Це відбувається тоді, коли електроліт подається поливом. При прокачуванні електроліту через інструмент швидкість можна збільшити. Щоб продуктивність була високою, слід підтримувати постійним тиск круга на деталь (приблизно $0,2-0,25 \text{ МПа}$). При великих тисках продуктивність не збільшується, а точність обробки знижується. При меншому тиску збільшується зазор між кругом і деталлю, що знижує продуктивність.

За аналогією із звичайним абразивним шліфуванням обробку можна виконувати периферією круга, чашковим кругом (торцем) або спеціальним інструментом заданої форми.

Застосовувати електроабразивну обробку рекомендується для профілювання фасонних твердосплавних різців. При цьому на глибині профілю до 10 мм можна здійснювати подачу до 2 мм/хв. при точності розмірів 0,02...0,05 мм, шорсткості обробленої поверхні $R_a = 1,25...0,63$. Економічно вигідно застосовувати таку обробку для профілювання фасонних деталей із магнітних, жароміцних і титанових сплавів в одиничному і дрібносерійному виробництві, а також обробка тонкостінних деталей.

Режими попередньої обробки: робоча напруга – 30-32 В; щільність струму – 0,3-0,5 мА/мм². Режими фінішної обробки: робоча напруга – 12-15 В; щільність струму – 0,05-0,1 мА/мм².

Електроабразивне шліфування інструмента зі швидкорізальної сталі Р9, Р18 і т.п. доцільно проводити чашковими кругами з електрокорунду на металевій зв'язці, які забезпечують дуже високу продуктивність. Швидкість зрізування металу при цьому в 2-2,5 рази більша, а стійкість інструмента, заточеного цим методом, у 1,2-1,5 рази вища, ніж при абразивному методі. Така висока стійкість інструмента пояснюється тим, що при електроабразивному шліфуванні останній не нагрівається. Якщо в якості абразиву використовувати алмаз, процес значно інтенсифікується.

Продуктивність процесу електроабразивного шліфування:

$$V = \frac{p_1 - p_2}{\gamma \cdot t} \cdot 1000, \frac{\text{мм}^3}{\text{хв}}, \quad (7.4)$$

де p_1, p_2 – вага зразка до і після обробки відповідно, г;

γ – питома вага, г/см³;

t – час обробки, хв.

Питомий знос круга:

$$S = \frac{\pi \cdot h \cdot (2 \cdot r \cdot \Delta - \Delta^2) \cdot \gamma}{(p_1 - p_2) \cdot 1000} \cdot 100\%, \quad (7.5)$$

де h – ширина круга, мм;

r – початковий радіус круга, мм;

Δ – знос профілю круга в процесі обробки, мм;

p_1, p_2 – вага зразка до і після обробки, г.

7.3 Експериментальна частина

За експериментальними даними розрахувати продуктивність процесів та питоме зношування електроду-інструменту.

7.4 Контрольні запитання

1. Опишіть особливості процесу електроконтактного різання.
2. Опишіть схеми електроконтактної обробки різноманітними електродами-інструментами.
3. Як визначити питоме спрацювання електроду-інструмента при електроконтактному різанні?
4. В чому полягає особливість інструмента для електроабразивного шліфування в порівнянні із інструмента для звичайних процесів шліфування?
5. Опишіть схему електроабразивного шліфування (рис. 7.3).
6. Опишіть схему обробки електроабразивним кругом (рис. 7.4).
7. Як визначити продуктивність процесу електроабразивного шліфування?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Нетрадиційні методи механічної обробки матеріалів: конспект лекцій/ укладачі: Б. А. Ступін, О. В. Івченко, О. Д. Динник, Р. М. Зінченко. – Суми: Сумський державний університет, 2016. – 149 с.
2. Чучман Ю. І. Технологія машинобудування для електромеханіків / Ю. І. Чучман. – Львів: Вид-во Національного університету «Львівська політехніка», 2001. – 348 с.
3. Джур, Є.О. Інструменти та методи спеціальної розмірної обробки [Текст]: навч. посіб. /Є.О. Джур, Д.І. Шевчук, О.В. Бондаренко, С.В. Манжеліївський. – Д.: “Інновація”, 2011. – 75 с. [Режим доступу <http://repository.dnu.dp.ua:1100/upload/81f2c09b51ccaf2b50c6972bade47f80Instrumenty-i-metody-SRO.pdf>].
4. Інтегровані технології обробки матеріалів [Текст]: підручник / Е.С. Геворкян, Л.А. Тимофєєва, В.П. Нерубацький, О.М. Мельник. И-73 – Харків: УкрДУЗТ, 2016. – 238 с. [Режим доступу <http://lib.kart.edu.ua/bitstream/123456789/2402/1/%D0%9F%D1%96%D0%B4%D1%80%D1%83%D1%87%D0%BD%D0%B8%D0%BA.pdf>].

Зміст

ВСТУП.....	3
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 Вивчення конструкції електроерозійного копіювально-прошивального верстату 4Г 721М	5
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 Визначення швидкості знімання металу та зношення електроду-інструменту при електроерозійній обробці	13
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3 Обробка деталей непрофільованим електродом- інструментом	21
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 Розрахунок профільованого електроду- інструменту	27
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 Проектування технологічного процесу обробки деталі на електроерозійному верстаті 4Г721М.....	34
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 Розробка технологічного процесу електрохімічної обробки та розробка конструкції електроду-інструменту..	42
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7 Технологічні характеристики процесів електроконтактного різання та електроабразивного шліфування	52
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА	62
ДОДАТКИ.....	64

Додатки

Додаток А

Таблиця А1 – Варіанти завдань до лабораторної роботи №2

Варіант	Наскрізний отвір				Матеріал заготовки	Якість обробки
	d	h	a	b		
1	5	10	20	30	ВК20	Чистова
2	4	15	20	25	ВК15	Напівчистова
3	3	8	22	32	ВК8	Чорнова
4	2	6	28	36	Т15К6	Чистова
5	1	4	25	40	У10А	Напівчистова
6	2	8	32	42	Х12М	Чорнова
7	3	9	35	42	ХВГ	Чистова
8	4	10	22	38	Р9	Напівчистова
9	5	12	30	45	ВК20	Чорнова
10	6	12	20	28	ВК15	Чистова
11	7	15	35	60	ВК8	Напівчистова
12	8	16	34	50	Т15К6	Чорнова
13	9	20	40	55	У10А	Чистова
14	10	25	30	35	Х12М	Напівчистова
15	12	24	35	45	ХВГ	Чорнова
16	14	26	40	48	Р9	Чистова
17	16	30	45	58	ВК20	Напівчистова
18	18	35	48	54	ВК15	Чорнова
19	20	40	50	60	ВК8	Чистова
20	15	30	40	54	Т15К6	Напівчистова

Таблиця Б1 – Варіанти завдань до лабораторної роботи №4

№ п/п	Форма отвору	Глибина отвору, мм	Розміри отвору, мм	Матеріал заготовки	Технологічні параметри		
					Шорст- кість, R_a , мкм	Точність	Продук- тивність, мм ³ /с
1	Круг	2	1	Ст.65Г		IT14	
2	Круг	4	2	Ст.11Х	0,4		
3	Круг	2	10	Ст.У7А		IT10	
4	Круг	5	12	Ст.ХВСГ			15
5	Круг	8	16	P18			15
6	Круг	15	20	Ст.Х12М		IT14	
7	Круг	20	25	Ст.У10			17
8	Квадрат	3	1	Ст.11ХФ	0,3		
9	Квадрат	10	5	P12	0,3		
10	Квадрат	12	7	P6M5		IT13	
11	Квадрат	10	14	Ст.ШХ15	0,4		
12	Квадрат	15	18	Ст.У10		IT10	
13	Квадрат	20	24	Ст.У12	0,3		
14	Квадрат	25	26	Ст.40Х			17
15	Квадрат	14	30	Ст.9ХС			17
16	Трикутник	3	20	Ст.Х12М		IT7	
17	Трикутник	10	25	Ст.У10			10
18	Трикутник	4	1	Ст.11ХФ	0,25		
19	Трикутник	10	5	P12		IT8	
20	Трикутник	15	7	P6M5			12
21	Трикутник	20	14	Ст.ШХ15	0,25		
22	Трикутник	25	18	Ст.У10		IT7	
23	Трикутник	14	24	Ст.У12	0,25		
24	Шестигранник	10	26	Ст.40Х			16
25	Шестигранник	15	30	Ст.9ХС		IT8	
26	Шестигранник	20	25	Ст.65Г			18
27	Шестигранник	4	1	Ст.11Х	0,32		
28	Шестигранник	14	5	Ст.У7А			15
29	Шестигранник	10	7	Ст.ХВСГ		IT7	
30	Шестигранник	15	3	P18			14