

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри ММР

канд. техн. наук, доцент

_____ Андрій ГРЕЧКА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Удосконалення системи приводу електрод-інструменту
електроерозійної установки з використанням електроерозійних
головок»**

**«Improvement of the electrode-tool drive system of an EDM unit using
EDM heads»**

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи ПМ-22М-3

спеціальності 131

«Прикладна механіка»,

_____ Яценко Д. Ю.

Керівник проекту

канд. техн. наук, доцент

_____ Віталій ШМЕЛЬОВ

Рецензент

канд. техн. наук, доцент

_____ Олександр КУЗИК

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет: Механіко-технологічний

Кафедра: Обробки металів тиском та спецтехнологій

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»

Спеціальність: 131 «Прикладна механіка»

Освітньо-професійна програма: «Прикладна механіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав. кафедри ММР
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
30 серпня 2023 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ
Яценка Дмитра Юрійовича**

1. Тема роботи: «Удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок».
2. Керівник роботи: Шмельов Віталій Миколайович, канд. техн. наук, доцент.
3. Строк подання роботи до захисту: 02 січня 2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи.

Мета: дослідження технологічних характеристик процесу та удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок для покращення її ергономічних властивостей.

Завдання: обґрунтувати напрямок досліджень та актуальність теми; розробити методику експериментальних досліджень; виконати експериментальні дослідження та провести аналіз отриманих результатів; розробити рекомендації по удосконаленню системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок; виконати розрахунки з економічної частини.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
№ 5 «Економічна частина»	Савеленко Г. В., к. т. н., доц.	04.09.2023 р.	20.12.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури	15.09.2023 р.	
2	Проведення наукових досліджень, обробка фактичного матеріалу	02.10.2023 р.	
3	Написання першого варіанта тексту, подання його на ознайомлення керівникові	25.11.2023 р.	
4	Усунення недоліків, написання останнього варіанта тексту	15.12.2023 р.	
5	Перевірка роботи на плагіат	20.12.2023 р.	
6	Зовнішнє рецензування роботи	22.12.2023 р.	
7	Захист випускної кваліфікаційної роботи на засіданні екзаменаційної комісії	16.01.2024 р.	

Дата видачі завдання

30 серпня 2023 р.

Підпис керівника

_____ Шмельов В. М.

Завдання прийнято до виконання

30 серпня 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Яценко Д. Ю.

АНОТАЦІЯ

Яценко В.Ю. «Удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок», спеціальність 131 «Прикладна механіка», ОПП - «Прикладна механіка», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023 рік.

Метою роботи є дослідження технологічних характеристик процесу та удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок для покращення її ергономічних властивостей.

Запропоновано різні підсилюючі пристрої для поліпшення ергономіки установки, що дозволять знизити зусилля на рукоятці приводу установки, показані переваги і недоліки цих пристроїв. Найбільш простим і дешевим способом знизити зусилля на рукоятці приводу установки є встановлення простого одноступінчатого редуктора така система не потребує додаткової системи зворотного зв'язку.

Досліджено та описано технологічні характеристики процесу розмірної обробки електричною дугою з використанням електроерозійних головок, а саме його електричні і гідродинамічні характеристики, та отримано математичні моделі продуктивності процесу обробки, шорсткості обробленої поверхні, зносу електрода-інструмента та міжелектродного зазору.

розмірна обробка електричною дугою, електроерозійна головка, електрод-інструмент, технологічні характеристики процесу розмірної обробки електричною дугою

ANNOTATION

Yatsenko D. "Improvement of the electrode-tool drive system of an EDM unit using EDM heads", specialty 131 "Applied Mechanics", EP - "Applied Mechanics", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the work is to study the technological characteristics of the process and improve the drive system of the electrode-tool of the EDM installation using EDM heads to improve its ergonomic properties.

Various reinforcing devices are proposed to improve the ergonomics of the installation, which will reduce the effort on the drive handle of the installation, the advantages and disadvantages of these devices are shown. The simplest and cheapest way to reduce the effort on the unit's drive handle is to install a simple single-stage gearbox, such a system does not require an additional feedback system.

The technological characteristics of the process of dimensional processing by an electric arc using electroerosion heads, namely its electrical and hydrodynamic characteristics, were studied and described, and mathematical models of the productivity of the processing process, roughness of the processed surface, linear wear of the electrode-tool and the interelectrode gap were obtained.

dimensional processing by electric arc, spark-erosion head, electrode-tool, technological characteristics of process of dimensional processing by electric arc.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ	9
1.1. Штампування.....	9
1.2. Лазерне різання.....	12
1.3. Плазмове різання.....	15
1.4. Електроерозійна обробка.....	18
1.5. Розмірна обробка електричною дугою	21
РОЗДІЛ 2. НАПРЯМКИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	28
2.1. Обґрунтування напрямків і методів досліджень.....	28
2.2. Обладнання, пристрої, апаратура.....	30
2.3. Планування експерименту та статистична обробка результатів.....	31
2.4 Охорона праці при роботі на верстатах РОД.....	34
2.5. Висновки.....	35
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РОД	36
3.1. Визначення технологічних характеристик процесу.....	37
3.2. Висновки.....	47
РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОД- ІНСТРУМЕНТУ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ.....	48
4.1. Системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки.....	48
4.2. Висновки.....	52
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОД	53
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

ВСТУП

Актуальність теми. Підвищення енергоефективності та продуктивності при обробці деталей з важкооброблюваних металів стає все більш актуальним у зв'язку із ростом цін й зменшенням лімітів на енергоносії для більшості машинобудівних підприємств. Як доведено у працях таких відомих вчених як Б. Р. Назаренка, Н. І. Назаренко, Б. Н. Золотих, А. С. Зінгермана, Б. Г. Гуткіна, А. Л. Лівшиця, В. І. Носуленка, М. Zhang, електрофізичні і, зокрема, електроерозійний метод обробки дозволяють значно підвищити продуктивність та енергоефективність виготовлення складних за формою деталей з твердих металів і їх сплавів..

Одним із найбільш перспективних високопродуктивних методів електроерозійної обробки є спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД) [1], який відомий за роботами Носуленка В. І. РОД забезпечує значно більшу продуктивність обробки (в 5...10 разів) і менші витрати електроенергії (в 1,5..2 рази), ніж електроіскрова або електроімпульсна обробка.

Універсальні та спеціальні верстати РОД є відносно дорогими для застосування їх на підприємствах з одиночним та дрібносерійним виробництвом, а також у ремонтних майстернях. Одним з перспективних напрямків є розробка електроерозійних головок (ЕЕГ) до металорізальних верстатів, зокрема свердлильних верстатів, які дозволяють без суттєвих змін в конструкції верстату встановлювати на нього ЕЕГ, а після завершення обробки знімати ЕЕГ і використовувати верстат за своїм призначенням.

Проте, на найбільш розповсюджених свердлильних верстатах непередбачено жодного пристрою для подачі електрода-інструмента (ЕІ) в процесі обробки. При цьому застосування ручного приводу ЕІ обмежується значними зусиллями на рукоятці переміщення ЕІ.

Таким чином робота спрямованих на удосконалення системи приводу електрод-інструменту для металорізальних верстатів є актуальним науково-

прикладним завданням, успішне виконання якого дозволить більш широко впроваджувати процес РОД у виробництво.

Мета роботи: дослідження технологічних характеристик процесу та удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок для покращення її ергономічних властивостей.

Задачі дослідження:

1. Аналіз технологічних можливостей, переваг і недоліків способу РОД з використанням електроерозійних головок та визначення меж його раціонального застосування;

2. Удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок;

3. Визначення впливу фізико-технологічних характеристик процесу РОД, на його кількісні та якісні показники.

Наукова новизна отриманих результатів

1. Запропоновано конструктивні елементи для удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок, що дозволить покращити її ергономічні властивості.

Практичне значення отриманих результатів

Досліджено та описано вплив технологічних характеристик процесу РОД на його якісні та кількісні показники, що дозволить отримувати деталі заданих розмірів з необхідною якістю обробленої поверхні.

Запропоновано та розроблено рекомендації, що до конструктивних елементів необхідних для покращення ергономічних властивостей електроерозійної установки на базі настільного свердлильного верстата.

Особистий внесок здобувача

Постановка мети і задач досліджень; розробка рекомендацій, що до покращення ергономічних властивостей електроерозійної установки; експериментальні дослідження технологічних характеристик процесу РОД, та аналіз отриманих результатів.

РОЗДІЛ 1. ПЕРСПЕКТИВИ ТА ОБЛАСТІ РАЦІОНАЛЬНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ОТРИМАННЯ ДЕТАЛЕЙ

В усіх галузях машинобудування для отримання різноманітних деталей широко застосовують листовий прокат. Питома вага листових деталей в машинобудуванні становить 60...80% (і навіть 95...98% при виготовленні предметів народного споживання) [3]. Це пояснюється тим, що зварні і штамповані конструкції з листових деталей на 30...50% легші, ніж отримані із сортового прокату та литва. Значна частина деталей виготовляється із застосуванням тільки розділових операцій. Залежно від характеристик оброблюваного матеріалу, вимог до отримуваної деталі та конкретних умов виробництва застосовують різні способи виконання розділових операцій: штампування, механічну обробку, газове різання, лазерне різання, електророзрядну обробку (плазмова та електроерозійна) і т. і.

Розглянемо технологічні можливості та області раціонального застосування традиційних способів виготовлення деталей та основні напрямки і тенденції розвитку нових процесів, які стають ефективною альтернативою відомим технологіям.

1.1. Штампування

Листове штампування - це операція обробки металів тиском, в результаті якої відбувається повне або часткове відділення однієї частини заготовки від іншої. До розділових операцій належать відрізка (різання), вирубання, пробивання, надрізка, розрізання, обрізка, зачистка, проколка, висічка.

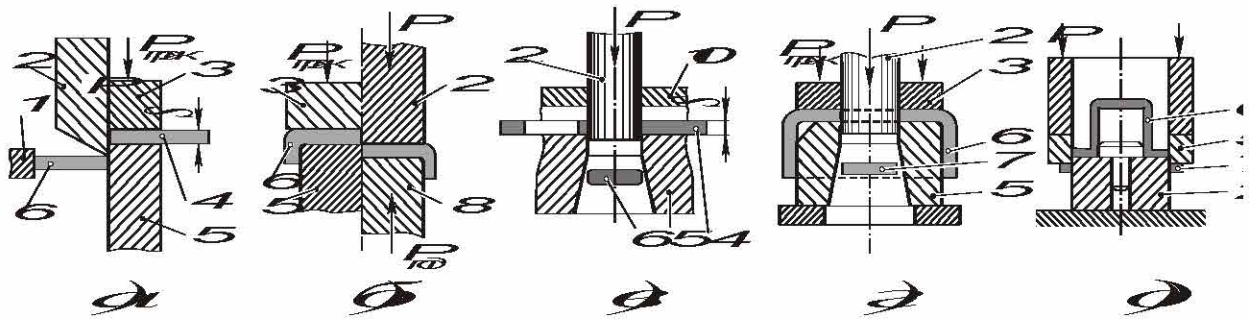


Рис. 1.1. Схеми основних розділових операцій листового штампування: а – відрізання; б – розрізання; в – вирубка; г – пробивання; д – обрізання; 1 – упор; 2 – пуансон; 3 – притискач; 4 – вихідна заготовка; 5 – матриця; 6 – заготовка; 7 – відхід; 8 – виштовхувач; 9 – підкладна плита; 10 – знімач.

Діапазон розмірів штампованих листових деталей дуже великий – за габаритними розмірами від кількох міліметрів до 6...7 м; за товщиною від десятих долей міліметра до 100 мм і більше. Точність виготовлення деталей досягає при звичайному штампуванні 12-14-го квалітетів, а при зачищенні, чистовому вирубуванні і калібруванні 9-11-го квалітетів точності.

Таблиця 1.1

Характеристика серійності холодного листоштампувального виробництва

Характер виробництва	Кількість деталей, тис. шт./рік		
	Особливо крупні і крупні деталі (630...2000 мм)	Середні деталі (250...630 мм)	Дрібні (90...250) і особливо дрібні деталі (до 90 мм)
Дрібносерійне	до 2	до 5	до 10
Серійне	від 2 до 20	від 5 до 50	від 10 до 100
Крупносерійне	від 20 до 300	від 50 до 1000	від 100 до 5000
Масове	від 300	від 1000	від 5000

В даний час отримання якісних отворів здійснюється найчастіше

механічною обробкою (свердлінням в декілька переходів, зенкеруванням, розгортанням або протяжкою), а також процесом пробивання і тому трудомісткість обробки отворів досить висока. Однак процес пробивання, в свою чергу, володіє недоліками: не забезпечується необхідна якість отворів, або потрібно складне спеціальне штампове оснащення.

Вирубка та пробивання, будучи розділовими операціями, завершуються руйнуванням металу в осередку деформації. Процес пластичної деформації заготовки, що відбувається в початкових стадіях деформування, є супутнім, зазвичай не бажаним, але неминучим для пластичних матеріалів. Поділ заготовки в операціях вирубки здійснюється шляхом відносного зміщення суміжних частин заготовки в напрямку товщини заготовки. Щоб локалізувати пластичну деформацію поблизу поверхні розділу, кромки пуансона і матриці роблять гострими, а зазор між пуансоном і матрицею невеликим (значно меншою товщини заготовки).

При штампуванні має місце геометрична недосконалість поверхні відокремлення (рис. 1.2), що оцінюється наступними коефіцієнтами: утяжки $k_y = h_y/s$; блискучого пояска $k_n = h_n/s$; сколу $k_c = h_c/s$; непрямолінійності $k_x = x/s$ і величиною $k_a = \tan \alpha$, а також висотою h_3 задирки. Геометрична недосконалість поверхні тим більша, чим більша товщина матеріалу. Чим більший зазор при збільшенні товщини матеріалу, тим більша зона сколу. При зношуванні робочих елементів і затушленні ріжучих кромки мають місце задирки і т. і. [4, с. 27].

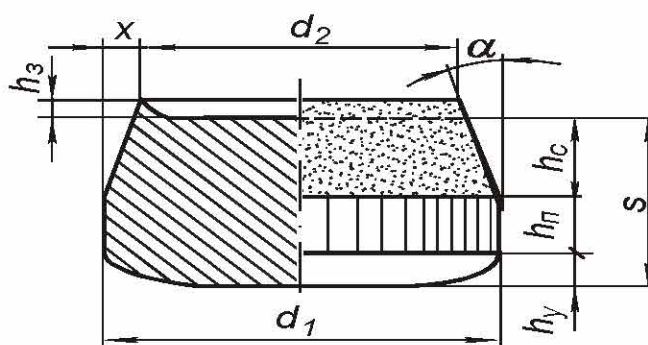


Рис. 1.2. Дефекти бічної поверхні штампованої деталі

Шорсткість поверхні приймають для блискучого пояса відповідною R_a $2,5 \div 0,63$ (6-7 класи), а для зони сколу – R_z $80 \div 20$ (3-5 класи) по ГОСТ 2789-73.

При відхиленні від оптимальних зазорів при вирубуванні-пробиванні, на поверхні зрізу додатково з'являються завали, вириви та значні задирки. Такі нерівності та дефекти неприпустимі при виготовленні точних деталей, які повинні мати перпендикулярну, чисту та гладеньку поверхню зрізу по висоті деталі (отвору).

Недоліками штампування є:

1. Значний час підготовки виробництва, так як при наявності штампувального обладнання необхідно виготовити складний інструмент – штамп;
2. Недоцільність технології у виробництві меншому за середньо-серійне;
3. Необхідність в додаткових енергоносіях (пара, підігрівання заготовок та ін.);
4. Недоліком чистової вирубки є підвищений відхід металу на бічні і крокові перемички.

1.2. Лазерне різання

Області застосування лазерів і лазерної техніки ще більш численна, чим розмаїтість їхніх конструкцій. Усього нараховується кілька сотень областей використання лазерів на практиці. Найбільш масовою областю використання лазерної техніки є в даний час лазерна обробка матеріалів, в основі якої лежить у більшості випадків тепловий вплив лазерного випромінювання.

Створення в 70-х рр. газових лазерів безперервної дії підвищеної потужності (понад 1 кВт) відкрило нові перспективи в застосуванні лазерної техніки. З їхньою появою область використання лазерного променя для обробки матеріалів розширилася від мікроелектроніки і приладобудування до

багатьох енерго- і матеріалоемких галузей промисловості, таких як машинобудування, електротехнічна промисловість, металургія і т.д. Цьому сприяли унікальні властивості лазерного випромінювання як інструмента при обробці матеріалів. Високі щільності потужності лазерного випромінювання, істотно переважаючи інші джерела енергії (до 10^8 - 10^9 Вт/см² у безперервному режимі і до 10^{16} - 10^{17} Вт/см² в імпульсному режимі), дозволяють не тільки значно збільшити продуктивність обробки, але й одержувати якісно нові результати по властивостях оброблених матеріалів. У цьому зв'язку лазерний промінь як джерело нагрівання при термічній обробці матеріалів має як загальні особливості, властиві всім іншим висококонцентрованим джерелам, так і свої специфічні переваги, серед яких можна виділити дві великі групи.

Висока концентрація підводимої енергії і локальність. Це дозволяє зробити обробку тільки локальної ділянки матеріалу без нагрівання іншого обсягу і порушення його структури і властивостей, що приводить до мінімального коробленню деталей. У результаті досягаються економічні і технологічні переваги. Крім того, висока концентрація підводимої енергії дозволяє провести нагрівання й охолодження обробленого обсягу матеріалу з великими швидкостями при дуже малому часі впливу. У результаті відкривається можливість одержання унікальної структури і властивостей обробленої поверхні.

Висока технологічність лазерного променя, що має на увазі можливість регулювання параметрів обробки в дуже широкому інтервалі режимів, легкість автоматизації процесу, можливість обробки на повітрі, виключення механічного впливу на оброблений матеріал, відсутність шкідливих відходів, можливість транспортування випромінювання й ін.

Лазерна (світлопроменева) обробка ґрунтується на миттєвому локальному нагріванні поверхні обробленої заготовки світловим променем високої енергії до температури 6 000. .. 8 000 °С, внаслідок чого нагрітий метал розплавляється й випаровується, утворюючи потужний струмінь пари,

який викидається у вигляді факела, а на його місці залишається заглибина або порожнина. Джерелом такого випромінювання є оптичний квантовий генератор, що називається лазером.

Найпоширенішими є газові, твердотілі й напівпровідникові лазери. Твердотілий лазер складається з робочої речовини, системи збудження, фокусування й охолодження. Твердотілі лазери працюють переважно в імпульсному режимі. Їх робочою речовиною є тверді прозорі тіла, виготовлені з ітрієво-алюмінієвого гранату, синтетичного рубіну, неодимового скла та ін. В матриці робочої речовини рівномірно розподілені оптично активні атоми хрому, неодиму тощо.

Лазерними променями обробляють матеріали будь-якої твердості, в тому числі й алмази, прошиваючи отвори, вирізуючи заготовки часто складного профілю з листового матеріалу, обробляючи мікровпадини в деталях мікроелектроніки, усуваючи дисбаланс в обертальних деталях, безконтактно й дуже швидко наносячи клейма на вироби, виконуючи рисунки, гравіювальні роботи тощо.

Лазерним променем обробляють отвори, починаючи від діаметра в декілька мікрометрів у матеріалах з різними властивостями: каменях для годинників і приладів, в алмазах і твердих сплавах для фільтрів, у металевих листах для сит тощо. Форма і шорсткість поверхні отворів залежить від параметрів режиму обробки — густини енергії, кількості імпульсів, частоти й тривалості імпульсів. Від густини енергії залежить температура матеріалу в зоні обробки. Зі збільшенням кількості імпульсів отвір поглиблюється, а з ростом тривалості імпульсу — набуває конічної форми. Надто тривалі імпульси спричинюють лише розплавлення металу без утворення отвору.

Недоліки лазерної різки металу є:

1. Для товстостінного металу (більше 20 мм) і навпаки - лазерне різання тонкостінного не підходить;
2. Метал підколюється поруч із зоною різання. Можливі ускладнення при наступних сверлінням, нарізці різьби і згинанні;

3. Різання отворів з діаметром менше товщини листа, а також малих і тонких деталей, в тому числі перемичок рахунок нагріву;
4. Часто великий час врізання в контур порівняно зі штампуванням;
5. Неможливість проведення витяжних робіт, жалюзівки і пуклевки.

1.3. Плазмове різання

Внаслідок високої продуктивності плазмового різання, а також застосування дешевих плазм утворюючих середовищ (повітря, вода), плазмове різання знаходить все більш широке застосування [5]. На сьогоднішній день воно займає ведуче місце серед інших видів плазмової обробки матеріалів як за об'ємом застосування в промисловості, так і за різноманітністю обладнання, що випускається.

Серед способів термічного різання, що отримали найбільш широке застосування, слід відзначити поряд із повітряно-плазмовим (ППР) також газокисневе (ГКР) і електродугове напівавтоматичне різання порошковим дротом (ЕДР).

ППР має найкращі показники за густиною енергії і температурою ріжучого струменю (табл. 1.3) [6].

Таблиця 1.3

Енергетичні параметри джерел тепла термічних способів різання

Параметри ріжучого струменю (дуги)	ГКР	ЕДР	ППР
Густина теплового потоку, Вт/см ²	10 ⁴	10 ⁵ – 10 ⁶	10 ⁶ – 10 ⁷
Температура, 10° К	3 – 4	6 – 7	14 – 16

Більш високі початкові витрати на обладнання для ППР швидко себе виправдовують за рахунок низьких експлуатаційних витрат на матеріали та енергію. Якщо ж в експлуатаційні витрати включається вартість робочої сили (а вона більш вагома в складових витрат), то, враховуючи значні переваги ППР за продуктивністю (швидкісними показниками), окупність витрат на обладнання при ППР, як показує виробничий досвід, становлять не більше трьох місяців.

Таблиця 1.4

Швидкість різання маловуглецевої сталі, мм/хв

Спосіб	Товщина розрізуваної сталі, мм						
	5	10	20	40	60	80	100
ГКР	0,5	0,45	0,35	0,28	0,25	0,16	0,1
ЕДР	0,3	0,16	0,07	0,02	0,02	0,01	–
ППР При застосуванні установки							
Київ-5	4,0	1,7	0,7	0,25	0,1	–	–
Київ-9	5,5	2,2	1,1	0,4	0,2	–	–

До важливих переваг ППР слід віднести також універсальність цього процесу відносно виду металу (леговані сталі і кольорові метали не підлягають ГКР, або вимагають застосування спеціальних присадочних порошків, що ускладнює процес).

Для різання металів застосовують плазмову дугу прямої дії, яка відрізняється від зварювальної більш високим ступенем обтиснення стовпа і, відповідно, більшою концентрацією теплового потоку і швидкістю течії плазмового струменя. Завдяки термічній і механічній дії стовп дуги занурюється в метал і передає йому тепло. При цьому виплавляється і видувається метал із порожнини різку. На відміну від кисневого факела, для різання якого необхідно втратити деякий час на місцеве прогрівання металу, плазмова дуга завдяки високій температурі різкається майже миттєво [7].

Велика концентрація енергії в плазмовому струмені і висока швидкість різання дозволяють виконувати операції при величині ЗТВ до 0,85 мм, що обумовлює відсутність деформацій, викликаних розігріванням розрізуваних матеріалів при різанні товстолистового прокату. Проте така ЗТВ ускладнює подальшу обробку. Цей спосіб використовують для різання всіх металів і їх сплавів, а для легованих сталей і кольорових металів він є практично основним видом термічного різання. Якість різання, отримувана при використанні сучасних плазмових установок, порівнюється з якістю

лазерного різання, але пов'язана з меншими витратами.

ППР застосовують і для завершальної розмірної обробки деталей, що обумовило створення нової високоефективної технології виготовлення і ремонту способом гарячого плазмового різання листових деталей, що мають ріжучу кромку (лезо) – лап культиваторів, дисків важких борон, леміхів та інш. [8].

Заміна механічної обробки – вирубки, фрезерування, точіння та ін. на ППР (нахиленим під потрібним кутом плазмотроном), дозволяє замінити від трьох до п'яти операцій традиційної технології на одну короткочасну (40...60 сек) операцію, що обумовило надзвичайно високу продуктивність і, відповідно, суттєве зниження вартості виготовлення зазначеного типу деталей, до того ж значне підвищення міцності та зносостійкості (в 1,5...2 рази).

Проте ППР не дозволяє отримати деталі зовнішнього і внутрішнього фасонних контурів, перш за все габаритами приблизно до 100 мм з дрібними елементами при підвищених вимогах по якості і точності обробки. Товстолистові деталі, отримані ППР, мають дещо оплавлену і не перпендикулярну площині деталі поверхню різку.

Плазмове різання (при струмі 100...400 А і напрузі 380 В) дозволяє вести розкрій при габаритах більше 50 мм із будь-яким контуром при товщині матеріалу 8...30 мм із продуктивністю, відповідно 62...25 мм/с на максимальному струмі і точністю $\pm 0,5$ мм. Ширина різку становить 3...5 мм. Якщо допуск на розміри деталей, виготовлених цим способом обумовлюється, наприклад, Н 14, то потрібна додатково механічна обробка. Деталь звичайно потребує очистки від бризок металу (грату). При зменшенні габаритів продуктивність знижується, підвищується знос електродів, які розраховані на 100 вмикань.

Останнього часу відокремилось мікроплазмове різання, яке є різновидом плазмового (струм до 100 А і напруга 180 В). Цей процес дозволяє проводити відокремлення металів товщиною до 6...8 мм при

ширині різку не більше 0,8...1,0 мм. Обладнання для мікроплазмового різання має менші габарити і масу. Мікроплазмове різання тонколистового металу в заготівельному циклі значно ефективніше механічного..

Недоліками плазмового різання є:

1. Відносно скромна максимально допустима товщина різку, яка навіть у потужних апаратів рідко перевищує 80-100 мм. У випадку ж з кисневої різкій максимально допустима товщина різку для сталі та чавуну може досягати 500 мм;
2. Досить жорсткі вимоги до відхилення від перпендикулярності різку. В залежності від товщини деталі кут відхилення не повинен перевищувати 10-50°. При виході за ці межі спостерігається значне розширення різку і, як один з наслідків, швидкий знос витратних матеріалів;
3. Складність робочого обладнання робить практично неможливим одночасне використання двох різаків, підключених до одного апарату, що з успіхом застосовується при різанні штучним електродом;
4. Порівняно велика, до 1 мм, зона термічного впливу при обробці вуглецевих сталей, що ускладнює подальшу механічну обробку;
5. складність отримання отворів діаметром до 50 мм.

1.4. Електроерозійна обробка.

Електроерозійні методи полягають у руйнуванні електропровідних матеріалів — електродів — під час пропускання між ними імпульсів електричного струму. Коли різниця потенціалів між електродами (заготовкою та інструментом) набуває певного значення, газове або рідинне середовище між ними іонізується й утворюється канал провідності, по якому проходить електричний струм у вигляді імпульсного іскрового або дугового розряду. Завдяки високій густині струму температура на локалізованій поверхні заготовки сягає 10 000 °С і більше. При такій температурі миттєво розплавляється і навіть випаровується елементарний об'єм металу, який

викидається в діелектричну рідину і там застигає у вигляді гранул. На місці відокремленого металу з'являється заглибина. Подальші електричні імпульси іонізують міжелектродне середовище там, де відстань між електродами найменша. Якщо електроди не рухати, то зазор між ними поступово зростає і настає момент, коли електричні розряди припиняються. Щоб продовжити обробку, необхідно зблизити електроди до пробивної відстані (0,01...0,05 мм). Внаслідок неперервного заглиблення інструмента оброблена поверхня заготовки набуває його профілю. Частота імпульсів електричного струму під час електроерозійної обробки змінюється від 100 до 2 000 000 Гц.

Серйозною проблемою електроерозійної обробки є руйнування інструмента, внаслідок чого знижується точність й погіршується якість обробленої поверхні. Ерозійна стійкість інструмента зумовлена значною мірою параметрами імпульсу струму та матеріалу інструмента у такій послідовності в напрямі збільшення стійкості: сплави алюмінію —> сірий чавун —> латунь —> мідь —> вольфрам —> графітизована суміш.

Різновидами електроерозійної обробки є електроіскрова, електроімпульсна, електроконтактна та ін.

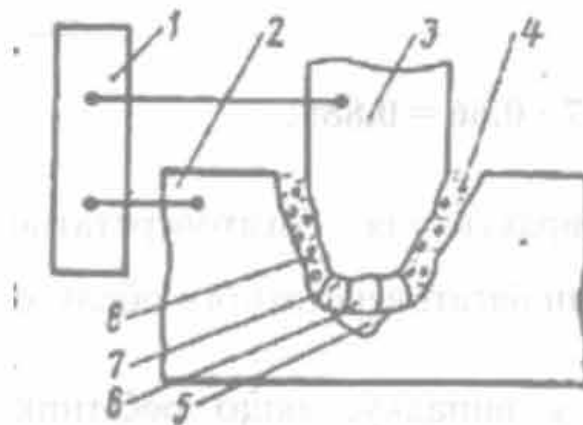


Рис 1.3. Електроерозійний різак.

1 - генератор імпульсів; 2 - заготовка; 3 - електрод-інструмент; 4 - зона плавлення металу; 5 - електроерозійна лунка; 6 - плазмовий розрядний канал; 7 - газовий пузир; 8 - робоча рідина.

Інтенсивність процесу ерозії визначається в основному тепло фізичними параметрами матеріалів електродів (температурою, теплотою

плавлення і випару, теплоємністю і теплопровідністю), електричними параметрами імпульсів струму (енергією, тривалістю, амплітудою, частотою проходження) і властивостями міжелектродного середовища (електропровідністю, плинністю, насиченістю газами і парами, в'язкістю).

Процес ерозії значно інтенсифікується в рідкому середовищі і має, як правило, яскраво відображений полярний ефект, внаслідок якого один електрод (інструмент) зношується менше іншого (деталі). Метал, що викидається з ерозійної лунки, застигає в рідкому середовищі у виді дрібнодисперсних гранул.

Електроерозійні методи обробки засновані на законах ерозії (руйнування) електродів зі струмопровідних матеріалів при пропусненні між ними імпульсного або постійного електричного струму.

Електроерозійна обробка може здійснюватися профільним або непрофільованим електродом-інструментом (EI). У першому випадку його розміри і форма робочих поверхонь визначаються у відповідності з заданою повторюваністю деталлю, що виготовляється. В другому електрод-інструмент має найпростішу конструкцію (дріт, диск або стрижень), а його розміри лише частково зв'язані з розмірами електрода-деталі.

Методи електроерозійної обробки. При електроіскровій обробці використовують імпульсні іскрові розряди між електродами, один із яких оброблювана заготівля (анод), а іншої - інструмент (катод). Напряга джерела електричної енергії 100-200 В. Тривалість імпульсу складає 20 - 200 мкс. У залежності від кількості енергії, що витрачається в імпульсі, режим обробки поділяють на твердої або середній - для попередньої обробки і м'який або особливо м'який - для оздоблювальної обробки. М'який режим обробки дозволяє одержувати розміри з точністю до 0,002 мм при шаршавості поверхні 0,63-0,16 мкм. Продуктивність обробки складає від 7,5 до 1900 мм³/хв.

Електроіскровим методом обробляють практично всі токопровідячі матеріали, але ефект ерозії при тих самих параметрах електричних імпульсів

різний. Залежність інтенсивності ерозії від властивостей металу називають електроерозійною оброблюваністю. За одиницю прийнята електроерозійна оброблюваність сталі (Сталь45), тоді для твердих сплавів вона буде - 0,5; титан - 0,6; нікель - 0,8; мідь -1,1; латунь -1,6; алюміній - 4 і т.д.

Електроіскровим методом доцільно обробляти тверді сплави, важко оброблювані метали і сплави, тантал, молібден і ін. мати-ріали.

Недоліки електроерозійної обробки.

1. Необхідність застосування робочої рідини з високими діелектричними властивостями, в середовищі якої проводиться обробка, ускладнюється конструкція верстата і може його обслуговування.
2. Точність обробки і чистота обробленої поверхні при ЕЕО залежать від багатьох факторів, облік яких не завжди можливий.
3. В процесі обробки електрод інструмент значно зношується, а аналітичних залежностей, що враховують все різноманіття факторів для розрахунку розмірів ЕІ поки неотримана.

1.5. Розмірна обробка електричною дугою

В умовах серійного і дрібносерійного виробництва листових деталей високоефективну альтернативу традиційним процесам обробки металів різанням і тиском складає розмірна обробка електричною дугою (РОД). Пояснюється це тим, що використання штампів не завжди рентабельне внаслідок високої вартості, плазмове і лазерне різання не дозволяють отримати готову деталь, фрезерування фасонного контуру малопродуктивне та пов'язане зі значними складнощами, оскільки поверхня заготовки може бути загартована.

Перспективним для виготовлення листових деталей із зазначеними параметрами є спосіб РОД, який дозволяє здійснити як розділові операції при обробці складних внутрішніх і зовнішніх контурів, так і одержати фасонні профілі типу фасонних зубчатих поверхонь, квадратних отворів з фасками і

т. і. [9].

РОД – це принципово новий процес обробки металів, заснований на використанні стаціонарної електричної дуги [2]. Він є різновидом ЕЕО, по суті, об'єктивно наступним етапом її розвитку. Порівняно з відомими способами ЕЕО, заснованими на використанні нестаціонарного електричного розряду (електроіскрова та електроімпульсна обробка), РОД забезпечує наступні переваги.

1. Значно більш високу продуктивність (в 5...10 разів і більше), що наближується до продуктивності обробки металів різанням. Продуктивність РОД прямо пропорційна силі струму дуги. В умовах РОД струм дуги може досягати сотень і тисяч ампер. Відомих обмежень по силі струму обробки, характерних для електроіскрової обробки, тут нема.
2. Менші питомі витрати електроенергії (приблизно вдвічі), що помітно підвищує економічну ефективність процесу.
3. Джерела живлення технологічним струмом (звичайні джерела живлення зварювальної дуги) значно дешевші (в 3...5 разів), широко розповсюджені та загальнодоступні, є в достатній кількості.
4. Розроблені порівняно прості та дешеві електроерозійні верстати РОД та системний ряд компактних, простих і дешевих електроерозійних головок (ЕЕГ) реалізують концепцію локального підведення робочої рідини в зону обробки (тобто робочої ванни з рідиною, як це характерно для звичайних електроерозійних верстатів, нема). Це дозволяє високоефективно здійснити обробку як профільованим, так і непрофільованим електродом, як на універсальних і спеціальних верстатах РОД, так і на будь-яких металорізальних верстатах без втрати останніми своїх основних функцій, як в найбільш сучасному інструментальному цеху, так і в будь-якій ремонтній майстерні. Тому верстати РОД стають верстатами масового попиту.

Сутність РОД полягає в тому, що обробку здійснюють стаціонарною

електричною дугою, яка горить поміж ЕІ та ЕЗ в потоці рідини при динамічному тиску потоку в зоні обробки не менше 1...2 кПа (що відповідає швидкості потоку приблизно 1,5...2 м/с). Звичайно РОД здійснюють дуговим розрядом, що горить в поперечному, по суті, потоці робочої рідини (рис. 1.4). Одержаний таким чином дуговий розряд має високі енергетичні характеристики і переміщується по поверхні електродів. При цьому відбувається інтенсивне локальне руйнування металу за рахунок випаровування і крапельного викидання розплаву, а потік рідини видаляє із зони обробки отримані продукти ерозії. Все це в сукупності забезпечує оптимальне протікання процесу розмірної обробки.

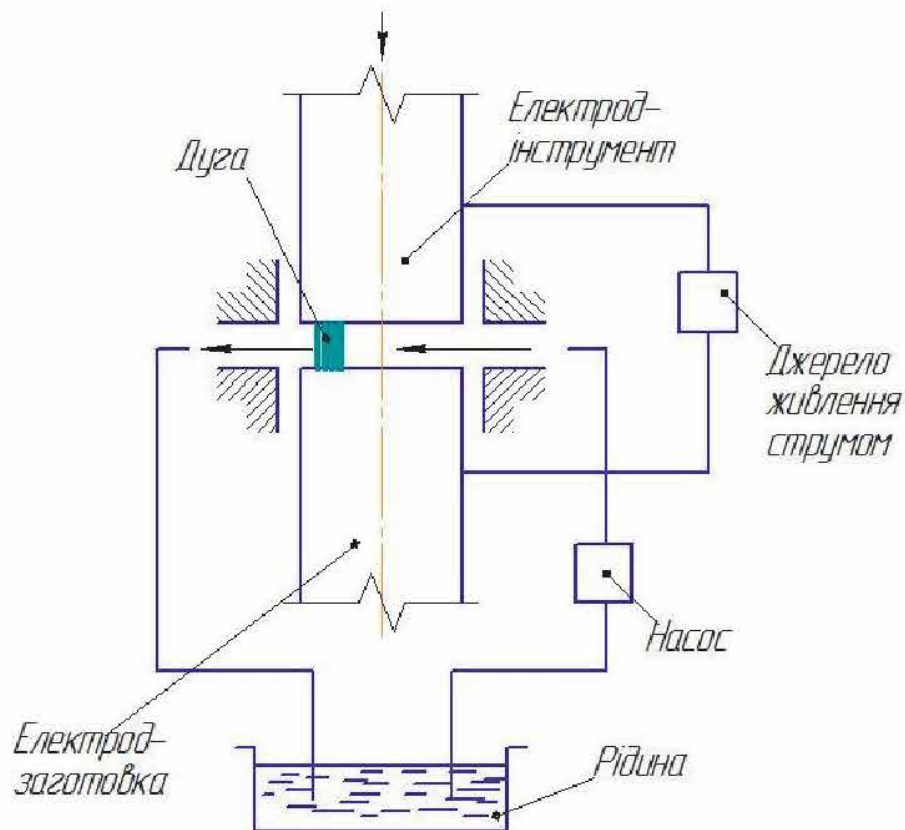


Рис. 1.4. Принципова схема РОД.

Типова осцилограма сили струму і напруги дуги при РОД (рис. 1.5) принципово не відрізняється від типової осцилограми струму і напруги звичайної стаціонарної дуги типу зварювальної чи плазмової дуги для різання металу. В умовах РОД енергетичні характеристики розряду (густина струму, напруженість електричного поля) регулюються легко, плавно і в широких межах за рахунок зміни динамічного тиску потоку і при збільшенні

(зменшенні) останнього збільшуються (зменшуються), що треба розглядати як результат саморегулювання енергетичних характеристик розряду в функції динамічного тиску потоку.

Як наслідок, в умовах такого процесу можна легко керувати якістю процесу обробки незалежно від струму за рахунок зміни динамічного тиску потоку, здійснюючи обробку в широкому діапазоні режимів, починаючи від грубого розмірного плавлення і аж до превалюючого тонкого розмірного випаровування. Таким чином, динамічний тиск потоку робочої рідини в умовах РОД є основним параметром процесу, який визначає, в кінцевому підсумку, можливість та якісну сторону процесу обробки.

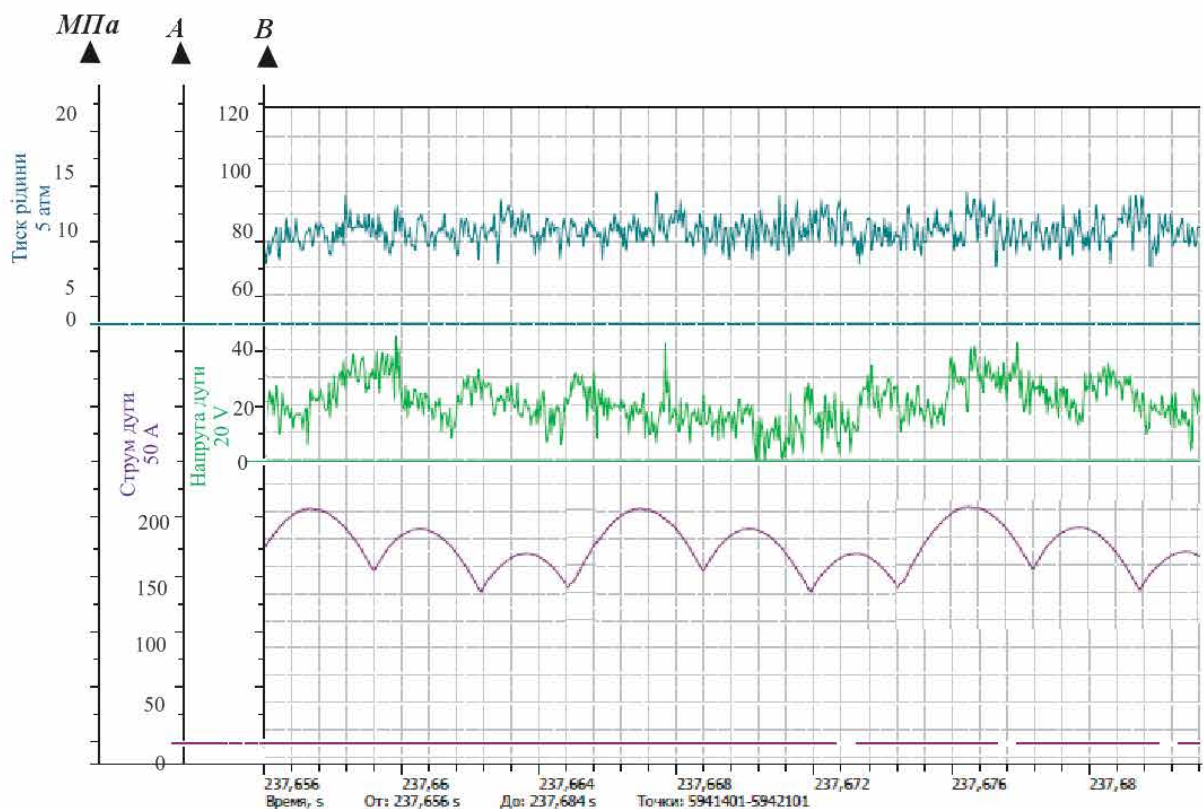


Рис.1.5. Типова осцилограма процесу РОД

плавно і в широких межах за рахунок зміни динамічного тиску потоку і при збільшенні (зменшенні) останнього збільшуються (зменшуються), що треба розглядати як результат саморегулювання енергетичних характеристик розряду в функції динамічного тиску потоку.

Як наслідок, в умовах такого процесу можна легко керувати якістю

процесу обробки незалежно від струму за рахунок зміни динамічного тиску потоку, здійснюючи обробку в широкому діапазоні режимів, починаючи від грубого розмірного плавлення і аж до превалюючого тонкого розмірного випаровування. Таким чином, динамічний тиск потоку робочої рідини в умовах РОД є основним параметром процесу, який визначає, в кінцевому підсумку, можливість та якісну сторону процесу обробки.

Дуга при РОД може живитись як постійним, так і змінним струмом. При живленні дуги змінним струмом стабільність процесу гірша, а продуктивність помітно знижується. В цьому зв'язку, а також з метою використання ефекту полярності електричної ерозії, який дозволяє забезпечити максимальну продуктивність обробки ЕЗ і мінімальний знос ЕІ, дугу РОД звичайно живлять постійним струмом. Джерелом живлення струмом є зварювальні випрямлячі або генератори із зовнішньою падаючою характеристикою. Напруга робочого ходу джерел живлення визначається особливостями реалізації технологічних схем формоутворення і коливається в межах 20...50 В і більше. Напруга холостого ходу коливається в межах 50...100 В і більше.

Якщо змінювати типорозміри електродів і надавати їм відповідні рухи подачі, можна при використанні відповідних технологічних прийомів здійснити зазначені закономірності процесу РОД і таким чином реалізувати практично всі відомі технологічні схеми формоутворення, зокрема характерні для ЕЕО [10].

Якість обробленої поверхні, яка визначається її шорсткістю та глибиною зони термічного впливу, є, головним чином, функцією динамічного тиску потоку робочої рідини і, менше, робочого струму, покращується при збільшенні динамічного тиску потоку та зменшенні струму і, в цілому, не поступається досягнутій при відомих способах ЕЕО. Глибина, структура і твердість зони термічного впливу легко регулюється за рахунок зміни динамічного тиску потоку і при збільшенні останнього до відповідних значень незалежно від струму ця зона може бути практично

відсутньою.

Оптимальна величина міжелектродних зазорів коливається в межах 0,1...0,2 мм. Точність обробки, яка визначається перш за все зносом ЕІ та коливаннями величини міжелектродного зазора, в цілому не поступається досягнутій при відомих способах ЕЕО.

Порівняльна оброблюваність матеріалів в умовах РОД оцінюється аналогічно, як і при відомих способах ЕЕО. Продуктивність обробки прямо пропорційна силі струму, який може досягати декількох тисяч ампер, і в багато разів перевищує продуктивність електроіскрової обробки. Наприклад, при струмі обробки 1000 А продуктивність при обробці сталей досягає 30000 мм³/хв при R_a 6,3 мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей міліметра. Питомі витрати електроенергії в залежності від режимів обробки складають для сталей 3...10 кВт·год/кг (100...300 кДж/см³).

В зв'язку з викладеними можливостями РОД, цей спосіб може бути використаний для виготовлення серійних листових деталей як по внутрішньому, так і по зовнішньому контуру.

Отже робота, що спрямована на удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок та розробка рекомендацій, щодо методів покращення ергономічних властивостей установки є актуальним науково-прикладним завданням, що дозволить більш широко впроваджувати процес РОД у виробництво.

Мета роботи: дослідження технологічних характеристик процесу та удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок для покращення її ергономічних властивостей.

Задачі дослідження:

1. Аналіз технологічних можливостей, переваг і недоліків способу РОД з використанням електроерозійних головок та визначення меж його раціонального застосування;
2. Удосконалення системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки з використанням електроерозійних головок;
3. Визначення впливу фізико-технологічних характеристик процесу РОД, на його кількісні та якісні показники.

РОЗДІЛ 2. НАПРЯМКИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Обґрунтування напрямків і методів досліджень

Спосіб розмірної обробки електричною дугою реалізує різноманітні технологічні схеми формоутворення, і дозволяє з високою продуктивністю отримувати різноманітної форми отвори, порожнини та стержні. Це обумовило його впровадження на різноманітних промислових підприємствах, малих підприємствах та ремонтних майстернях.

Переважно спосіб РОД застосовують при копіювально-прошивних операцій профільованим ЕІ за цих умов форма та розміри ЕІ повторюють форму та розміри отримуючої деталі. Застосування РОД з використанням електроерозійних головок являє значний інтерес для отримання різноманітних порожнин та отворів в важкооброблюваних та загартованих сталей. Тому необхідні дослідження фізичного механізму електричної ерозії в умовах РОД, розробка технології та пристроїв, дослідження гідродинамічних процесів, що протікають в процесі обробки, приклади реалізації конкретних технологій, впровадження цих технологій у виробництво та визначення області раціонального практичного застосування процесу і його конкурентоспроможності порівняно з іншими способами обробки.

"Інструментом" обробки при РОД є стаціонарна електрична дуга в поперечному потоці робочої рідини.

Із попередніх досліджень відомо, що найкращу ерозійну стійкість мають електрод-інструмент (ЕІ) з графітованих матеріалів при застосуванні робочої рідини з нафтопродуктів. Тому для досліджень використовувались ЕІ з матеріалу МПГ- 7 та робочу рідину, яка являє собою суміш мастила і гасу. Найкраща якість обробки досягається при застосуванні зворотної полярності електродів.

Відомо, що при РОД з ЕЕГ основними факторами, що обумовлюють характеристики дути, фізичний механізм процесу і технологічні характеристики РОД є сила технологічного струму I і статичний тиск робочої рідини на вході в МЕЗ P_s .

Для визначення технологічних характеристик процесу РОД використано математичні методи планування експерименту [8,9], що дало можливість отримати деякі теоретичні уявлення про фізичний механізм процесу і оцінити теоретичні передумови кількісно.

Технологічні характеристики процесу можуть бути представлені у вигляді функціональної ступеневої залежності від сили струму I та статичного тиску потоку робочої рідини P_s , що і було реалізовано нами при визначенні цих характеристик процесу.

Для реалізації способу РОД необхідне створення різноманітного обладнання та пристроїв. Установка для РОД з ЕЕГ побудованих на основі настільного свердлильного верстату 2М112 (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Настільний свердлильний верстат 2М112

2.2. Обладнання, пристрої, апаратура

Дослідження технологічних характеристик процесу, фізичного механізму електричної ерозії та гідродинаміки проводились безпосередньо при отриманні стержнів, порожнин і щілин із використанням спеціальних пристроїв: електроерозійних головок (ЕЕГ), в якій кріпився ЕІ та тримача для заготовки, що встановлено на столі свердильного верстату рис. 2.2

Експериментальні дослідження жорсткості обладнання та технологічних характеристик процесу РОД здійснювались на настільному свердильному верстаті 2М112 з встановленою в патрон верстату електроерозійною головкою, що призначений для обробки фасонних об'ємних поверхонь, виготовлення фасонних стержнів та прошивання глухих і наскрізних отворів різних поперечних перерізів в деталях як із конструкційних, так і важкооброблюваних сталей і сплавів, зокрема загартованих сталей і твердих сплавів тощо.



Рис.2.2. Установа РОД з використанням ЕЕГ встановленої на настільному свердильному верстаті

Дослідження технологічних характеристик процесу РОД здійснено з використанням методів математичного багатофакторного планування експерименту та математичного моделювання на ПЕОМ з використанням програмного забезпечення “Statistica v6.0”.

2.3. Планування експерименту та статистична обробка результатів

Експериментальні дані, отримані на основі планування та реалізації багатофакторного експерименту із елементами аналізу дисперсії та регресії являють помітний практичний інтерес. Побудовані за результатами експериментів моделі дозволяють визначити ступінь та характер впливу технологічних факторів на параметри, що досліджуються і, таким чином, створити передумови для керування процесом. В таких випадках важливо отримати максимально компактну адекватну модель, яка не містить зайвих членів та факторів.

Звичайно для відокремлення факторів, які суттєво впливають на досліджуваний параметр (відгук) проводять так звані експерименти для відсіювання, наприклад, на основі методів випадкового балансу або планів Плакетта-Бермана, а потім переходять до реалізації основного плану. Проте, така стратегія проведення експерименту потребує значних витрат. Тому доцільно провести багатофакторний експеримент, який включає і сумнівні фактори із подальшим аналізом дисперсії результатів.

При дослідженні технологічних характеристик процесу РОД основних технологічних схем формоутворення – продуктивності, якості, точності обробки, стійкості ЕІ та гідродинаміки було виконано математичне планування експериментів [13,14]. Крім точок, визначених планами, при отриманні експериментальних партій деталей перевірялась точність побудованих моделей роботою на інших режимах в рамках меж варіювання керуючих факторів. Це дозволило побудувати також емпіричні графіки, які добре апроксимуються моделями, отриманими в результаті реалізації планів.

Розглянемо приклад планування експерименту та розрахунок математичної моделі продуктивності обробки деталі. На підставі попередньої інформації було відібрано ряд факторів, що впливають на функцію відгуку: технологічний струм I (X_1), А; статичний тиск робочої рідини на вході в зазор P_s (X_2), МПа.

Регулювання сили струму I і тиску P_s в зазначених далі межах обумовлені можливостями техніки, що при цьому використовувалась, та технологічною доцільністю. Зокрема, в якості джерел живлення для РОД використовують стандартні зварювальні випрямлячі з зовнішньою падаючою характеристикою ВДУ-504, розраховані на максимальний струм $I_{max}=500$ А, які при безперервній роботі працюють при $I_{max}=400$ А. Робоча напруга U в межах 22...30 В, яку забезпечують зазначені джерела живлення, відповідає мінімальній необхідній величині МЕЗ.

Планування експерименту та обробка отриманих результатів виконані за допомогою програми STATISTICA 6.0, зокрема таких модулів як Планування експерименту, Основні статистики і таблиці, Множинна регресія, Нелінійне оцінювання.

Попередньо проведені теоретичні і експериментальні дослідження технологічних характеристик РОД дозволяють зробити висновок, що в найзагальнішому випадку вони можуть бути представлені у вигляді функціональної степеневі залежності від вище зазначених факторів:

$$y = k \cdot I^{\beta_1} \cdot P_s^{\beta_2}, \quad (2.1)$$

Застосувавши до виразу (2.2) перетворення логарифма, яке стабілізує дисперсію і досить поширене в статистиці, отримаємо:

$$\lg y = \lg k + \beta_1 \lg I + \beta_2 \lg P_s, \quad (2.2)$$

Тепер задача зводиться до побудови лінійної моделі виду

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i \cdot X_i, \quad (2.3)$$

де $Y = \lg y$

$$b_0 = \lg k (k = 10^{b_0})$$

$$b_1 = \beta_1$$

$$X_1 = \lg I$$

$$b_2 = \beta_2$$

$$X_2 = \lg P_s \text{ і т.д.}$$

Формула переходу від натуральних значень факторів до кодованих (+1, 0, -1) має вигляд:

$$X_i = \frac{X_i - \lg X_0}{\lg X_{\max} - \lg X_0} \quad (2.4)$$

Розрахунок моделі виконують згідно відомих методик [13,14] і застосуванням програмного пакету STATISTICA 6.0 [14]. В табл. 2.4 представлено приклад значення оцінок коефіцієнтів регресії (*BETA*) та значення коефіцієнтів регресії (*B*), значення критерію Стюдента (*t*) для коефіцієнтів регресії та рівні його значимості (*p*). Побудовано довірчі інтервали ($\pm 95\%$).

Таблиця 2.4 - Розрахунок та оцінка коефіцієнтів регресії в модулі Множинна регресія

Regression Summary for Dependent Variable: lgM (stal.sta)						
R= ,99824650 R?= ,99649607 Adjusted R?= ,99532810						
F(2,6)=853,18 p<,00000 Std.Error of estimate: ,02615						
N=9	b*	Std.Err. of b*	b	Std.Err. of b	t(6)	p-value
Intercept			0,166077	0,072080	2,30405	0,060762
lgI	0,983979	0,024166	1,419427	0,034860	40,71774	0,000000
lgP	-0,168174	0,024166	-0,491145	0,070576	-6,95915	0,000437

Позначки в таблицях: *Dep. Var.* - Ім'я залежної змінної. В нашому випадку *lgM*; *Numberofcases* - кількість експериментів, за якими побудована регресія; *Multiple R* - коефіцієнт множинної кореляції; *R-square* - *RI* - квадрат коефіцієнта множинної кореляції, що зветься коефіцієнтом детермінації; *Adjusted R-square* - скоригований коефіцієнт детермінації; *Standard Error of Estimate* - стандартна похибка оцінки, що є мірою розпорошування результатів спостереження відносно кривої регресії; *Intercpt* - оцінка вільного

члена регресії; *Std.Error* - стандартна похибка оцінки вільного члена; $t(df)$ and *p-value* - значення t - критерія і рівня p . t -критерій використовують для перевірки гіпотези про рівність 0 вільного члена регресії; F - значення F -критерія; df - число ступенів свободи F -критерія; p - рівень значимості; *Std.Error of estimate* - квадратичне відхилення середнього експерименту; b^* - оцінка коефіцієнта регресії; b – значення коефіцієнта регресії.

Відповідно, математична модель в функції двох факторів може мати вигляд:

$$M = 1,466 \cdot I^{1,419} \cdot P_s^{-0,491}. \quad (2.5)$$

2.4. Охорона праці при роботі на верстатах РОД

Безпека при експлуатації електроерозійних верстатів РОД

Верстати РОД повинні експлуатуватися в строгій відповідності з вимогами техніки безпеки. При порушенні цих вимог створюється підвищена небезпека враження електричним струмом, одержання опіків унаслідок загоряння робочої рідини, отруєння газоподібними продуктами розкладання робочого середовища, а також травмування рухомими деталями і вузлами верстата. Крім того, у заходах щодо охорони праці повинні бути враховані збільшений шум, вплив робочого середовища й інші супутні явища при роботі, що становлять визначену небезпеку і погіршують умови праці [15,16].

До роботи на верстатах РОД допускаються особи, що пройшли медогляд, спеціальне навчання, інструктаж, атестовані за правилами проведення робіт на верстаті, по наданню першої допомоги при ураженні електрострумом і пожежної безпеки. Робота на верстаті чи його ремонт дозволяється за умови, що в приміщенні, де установлений верстат, знаходяться не менш двох чоловік, що можуть надати один одному необхідну допомогу. На кожному робочому місці обов'язково повинен бути електроізоляційний коврик під ноги. Під час роботи не слід торкатися струмонесучих частин (електрода, електродотримача, бобіни з дротом на вирізних верстатах і т.д.). Налагодження, установку виробу інструмента

варто робити, упевнившись у тому, що генератор технологічного струму виключений. По закінченню роботи, при проведенні налагоджувальних робіт, технічному обслуговуванні, а також при перервах у подачі електроенергії верстат повинен бути відключений від мережі живлення [15, 16].

Вимоги до технологічного обладнання

Вимоги безпеки до виробничого обладнання та технологічних процесів.

Безпека праці на виробництві містить такі складові:

- безпеку виробничого обладнання;
- безпеку технологічних процесів;
- організацію безпечного виконання робіт.

Необхідно знати вимоги безпеки до виробничого обладнання. Основним нормативним документом, який визначає загальні вимоги безпеки до виробничого обладнання (за винятком обладнання, яке є джерелом іонізуючого випромінювання), є ГОСТ 12.2.003-91.

2.5. Висновки

2.5.1. Обґрунтовано напрямки і методи досліджень РОД з ЕЕГ.

2.5.2. Теоретичні дослідження виконано на основі теорії електроерозійної обробки, теорії математичного планування експерименту та засобів математичного моделювання.

2.5.3. Експерименти виконано на установці для РОД на базі настільного свердлильного верстату 2М112 з встановленою на ньому ЕЕГ.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕСУ РОД

Спосіб РОД, як і відомі способи ЕЕО дозволяє здійснити технологічні схеми формоутворення як вертикальних стінок стержнів та отворів, так і поверхонь, спряжених із вертикальними стінками, наприклад, фасок, при прямолінійному поступальному русі як профільованого, так і непрофільованого ЕІ. Формоутворення відбувається за принципом прошивання із об'ємним копіюванням форми ЕІ.

При цьому повинні забезпечуватись такі умови реалізації процесу: обробка здійснюється в герметизованій камері електричною дугою в поперечному потоці середовища-діелектрика (в даному випадку це суміш масла “Індустріальне-12” (50%) та освітлювального гасу (50%)) при його динамічному тиску не менше 1...2 кПа, густині струму не більше 2 А/мм², ЕІ з матеріалу МПГ-7.

Коли проводити аналогію із технологічними схемами формоутворення при здійсненні розділових операцій листового штампування, то РОД також дозволяє здійснити відрізання по прямих лініях, як, наприклад, гільйотинні ножиці, плоским (не профільованим) ЕІ-пластиною, за декілька рухів ЕІ отримати контур, утворений прямими; для “вирубання” зовнішнього контуру деталі в умовах РОД використовують лише ЕІ-“матрицю”, а для “пробивання” отвору – ЕІ-“пуансон”. Це значно спрощує пристрої РОД, порівняно зі штампами для отримання тих же деталей, оскільки відпадає необхідність у виготовленні спряжених пар пуансон-матриця із рівномірним зазором та підтриманні цього зазору і т. і.

В основу розробки технологічних схем формоутворення зовнішніх і внутрішніх контурів листових деталей способом РОД основною задачею є підвищення економічної ефективності процесу, розширення меж його раціонального застосування та конкурентоспроможності за рахунок оптимального поєднання кількісних і якісних характеристик процесу.

Отвори отримують із повним видаленням відходу у вигляді продуктів ерозії. При прошиванні отворів у тонколистових заготовках $2 \leq s \leq 5$ мм поштучно ЕІ 1 має постійний по висоті поперечний переріз (рис. 3.1, а). Для обробки отворів у заготовках більшої товщини та обробці пакета заготовок щоб забезпечити рівномірну якість по товщині різку застосовують ЕІ 1 з пояском (рис. 3.1, б).

Відпрацьовану рідину із продуктами ерозії видаляють через технологічний отвір в ЕІ, діаметр якого визначають конструктивно з умови забезпечення міцності стінки та можливості підведення максимальної потужності при густині струму до 2 А/мм^2 . Вихід ЕІ із заготовки організують в суцільну гумову підкладку 3 (рис. 3.1, а) або через гумову підкладку з отвором в рідину 7 (рис. 3.1, б).

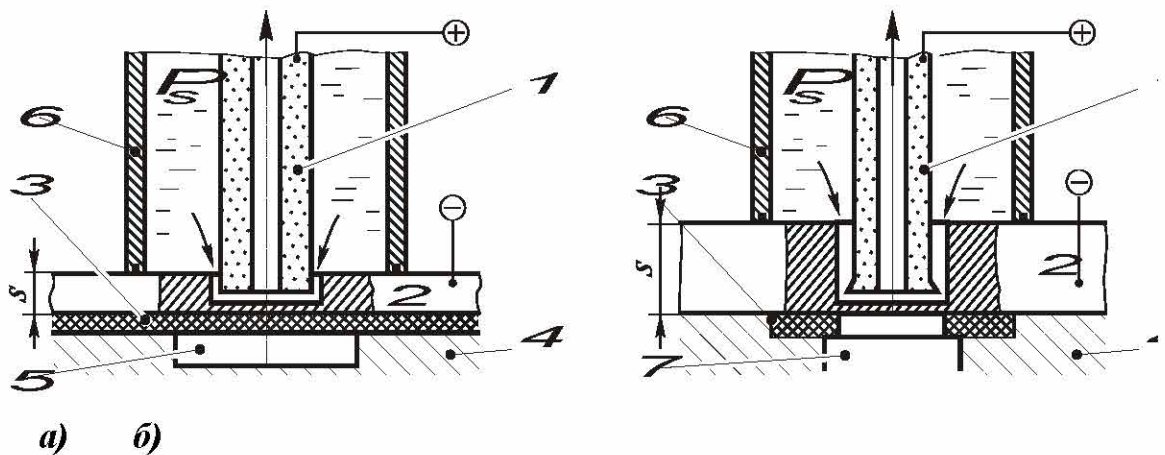


Рис. 3.1. Формоутворення отворів: а – при малій товщині заготовки; б – при значній товщині заготовки

При виході в суцільну гумову підкладку під нею звичайно повинна бути порожнина 5, оскільки ЕІ проходить нижче кромки заготовки, гарантовано знімаючи заусенець. Підкладки із гуми зберігають швидкість потоку при виході ЕІ із заготовки і, на відміну від металевих, що поступово руйнуються і спричиняють знос ЕІ, сприяють підвищенню стійкості ЕІ. Позитив застосування напруги близько 30 В при обробці отворів полягає у збільшенні величини торцевого зазору, зменшенню гідравлічного опору, зменшенню бічного зазору і підвищенню точності обробки.

Продуктивність обробки може бути максимальна, оскільки при значній площі поперечного перерізу є можливість підводити значну потужність – 400...1000 А, здійснюючи високопродуктивну чорнову обробку або отримуючи готові деталі, залежно від вимог до якості поверхні.

Обробку здійснюють при напрузі близько 30 В, що відповідає збільшеному торцевому зазору δ_m , зменшенню гідравлічного опору траси і зменшенню бічного зазору δ_b . Явище струминності при виході потоку із зазору, зниження його енергетичних характеристик сприяють виникненню на периферії заготовки та ЕІ видовжених дуг, що руйнують метал припуску за рахунок плавлення. При цьому продукти ерозії досить крупні і для ефективного їх видалення при забезпеченні високої якості поверхні застосовують статичний тиск не менше 1,5 МПа.

Але наведені схеми передбачають прокачування рідини через порожнистий електрод, що має ряд недоліків, нерівномірний знос ЕІ. В цьому зв'язку запропоновано наступну схему формоутворення (рис. 3.1)

Особливістю даної схеми є те, що прокачування здійснюють через технологічний отвір (3...5 мм, залежить від розмірів готової деталі) у заготовці. Цей отвір розміщують в центрі отворів що обробляються. Формоутворення по запропонованій схемі схоже на протягування отворів при механічній обробці, відмінність в тому, що замість зубців протяжки робочим органом виступає електрична дуга. Електрод формується під кутом від отвору в заготовці до периметру готового контуру отвору і має дві ділянки: робочу, яка виконує основну роботу формоутворення; і калібруючу, яка формується згідно розмірів готового отвору із урахуванням розмірів між електродного зазору (МЕЗ).

Кут нахилу робочої поверхні електрода від вершини до периметру складає 30°; дану величину отримано в ході експериментів, як таку при якій забезпечується достатня, для стабільного процесу, течія рідини а також забезпечується мінімально можлива висота робочої ділянки електрода.

3.1. Визначення технологічних характеристик процесу

Продуктивність

В зазначених умовах матеріалу і полярності електродів, складу робочої рідини продуктивність обробки є функцією геометрії ЕІ та деталі, міжелектродного зазору, напруги і струму обробки.

На рис. 3.3 показано ступінь впливу на продуктивність M обробки деталей при прокачування через заготовку змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 300$ А, статичного тиску $P_s = 0,8 \dots 1,5$ МПа, робочої напруги $U = 28 \dots 32$ В.

Графік побудовано згідно рівняння регресії:

$$y(M) = 0,84 + 0,998 x_1 + 0,010 x_2 - 0,058 x_3 \quad (3.1)$$

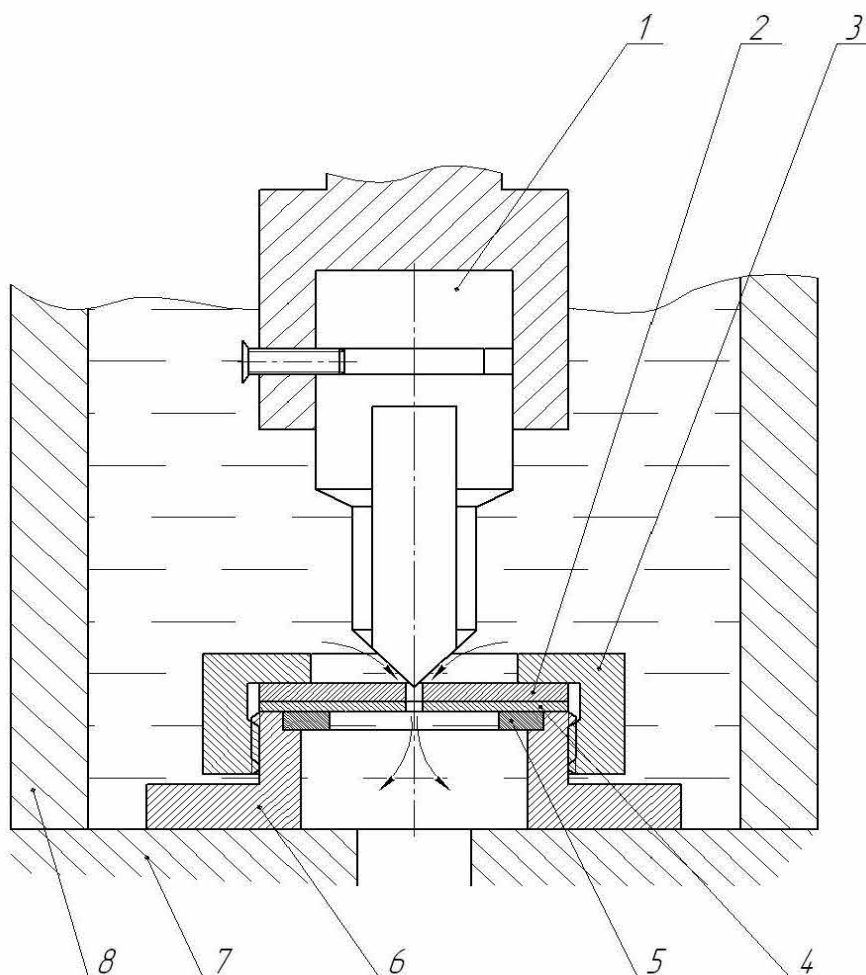


Рис. 3.2 Технологічна схема формоутворення при прокачуванні через заготовку.

1 - ЕІ; 2 - заготовка; 3 - притискна гайка; 4 - підкладка; 5 - герметизуюча прокладка; 6 - фланець; 7 - підкладна плита; 8 - гідрокамера.

Відповідно, математична модель продуктивності, $\text{мм}^3/\text{хв}$:

$$M = 7,03I^{0,979}P_s^{-0,168}U^{0,145} \quad (3.2)$$

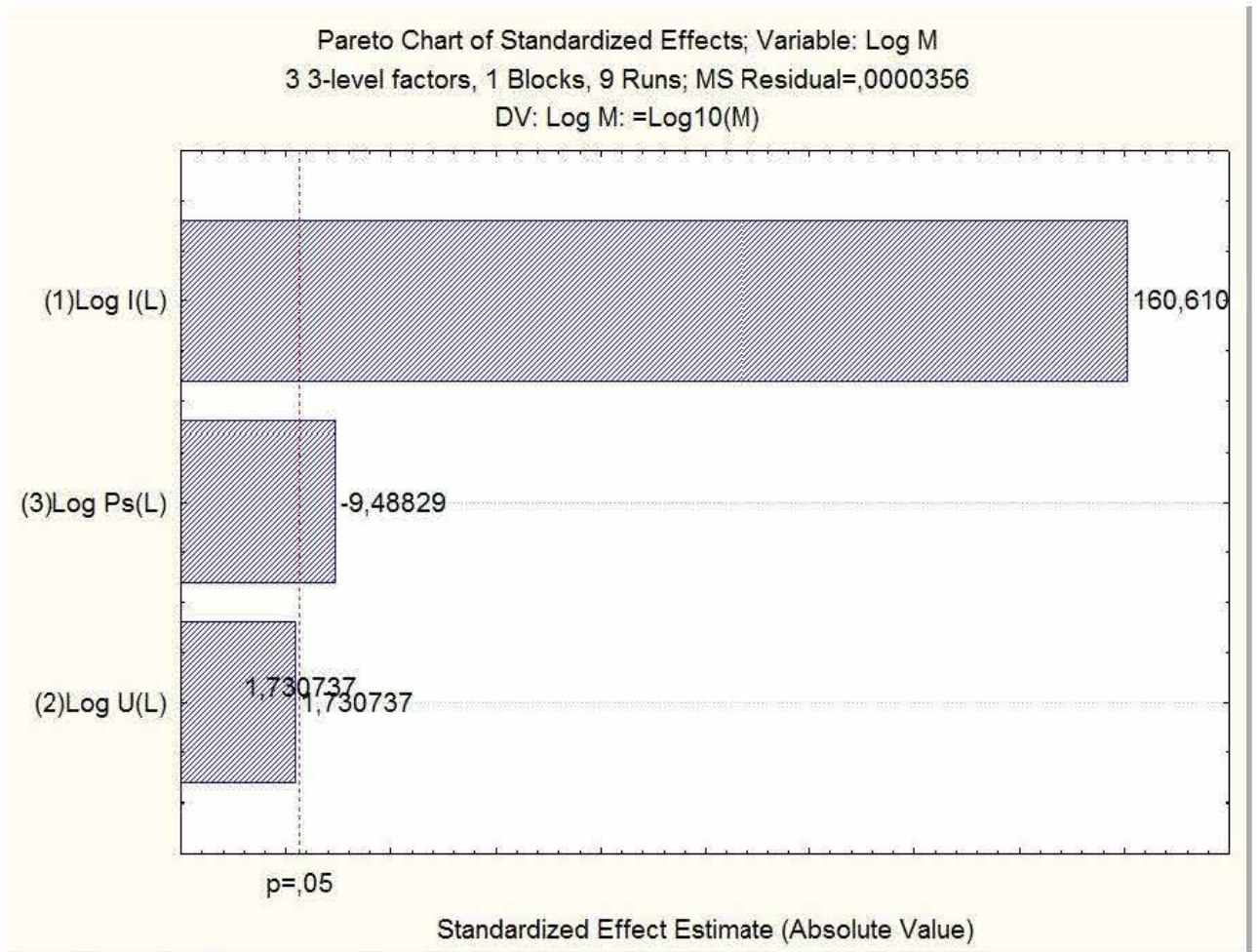


Рис. 3.3. Вплив змінних факторів на продуктивність обробки M

Основними керуючими факторами є сила технологічного струму та статичний тиск рідини на вході в зазор. Отримана залежність дозволяє зробити висновок, що продуктивність обробки в діапазоні зазначених режимів визначається переважно силою струму (зростає приблизно прямо пропорційно збільшенню I) і менше – статичним тиском (зменшується при збільшенні P_s).

Зменшення продуктивності спостерігається цим зі збільшенням складності, яка відповідає збільшенню довжини траси евакуації продуктів ерозії і можливості повторного диспергування.

На рис. 3.4. показано залежність продуктивності M обробки деталей по зовнішньому і внутрішньому контурах по принципу суміщеної дії від I та P_s , мм³/хв:

$$M = 7,03I^{0,979}P_s^{-0,168} \quad (3.3)$$

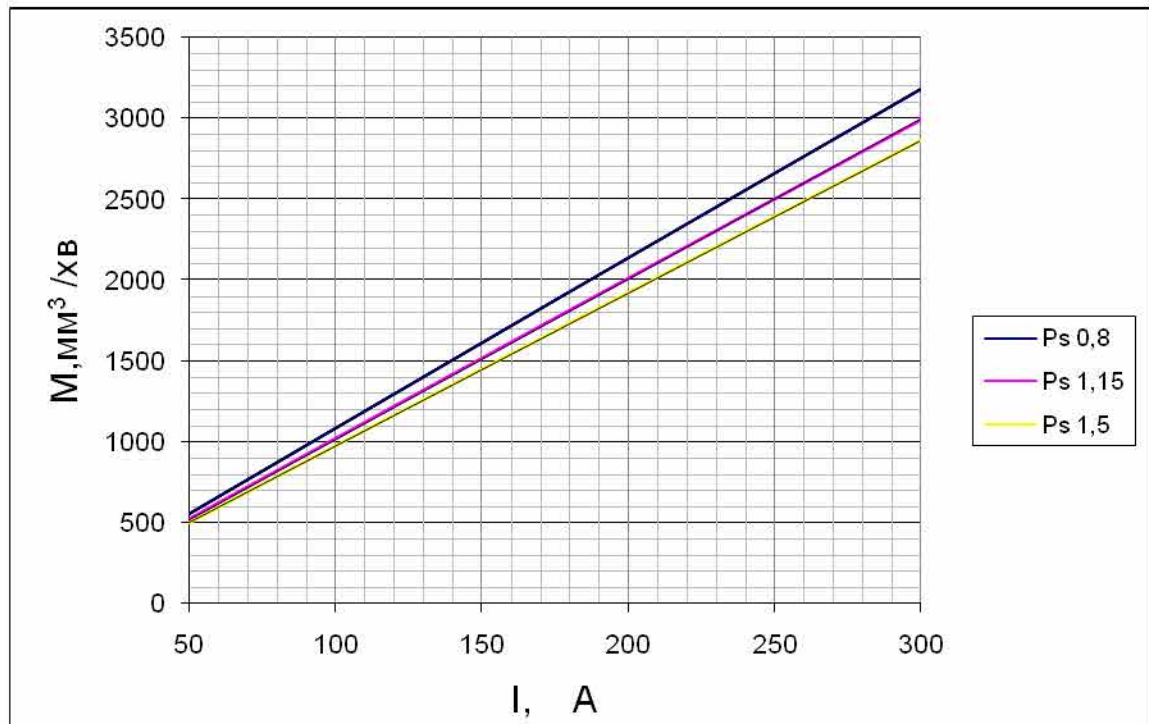


Рис. 3.4. Залежність продуктивності M від сили струму I та статичного тиску P_s

Шорсткість обробленої поверхні

На рис. 3.5. показано ступінь впливу на шорсткість Ra поверхні зовнішнього і внутрішнього контурів оброблених по принципу суміщеної дії змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 300$ А, статичного тиску $P_s = 0,8 \dots 1,5$ МПа, робочої напруги $U = 28 \dots 32$ В.

Графік побудовано згідно рівняння регресії:

$$Y(Ra) = - 0,39 + 0,86 x_1 + 0,0875 x_2 - 0,414 x_3 \quad (3.4)$$

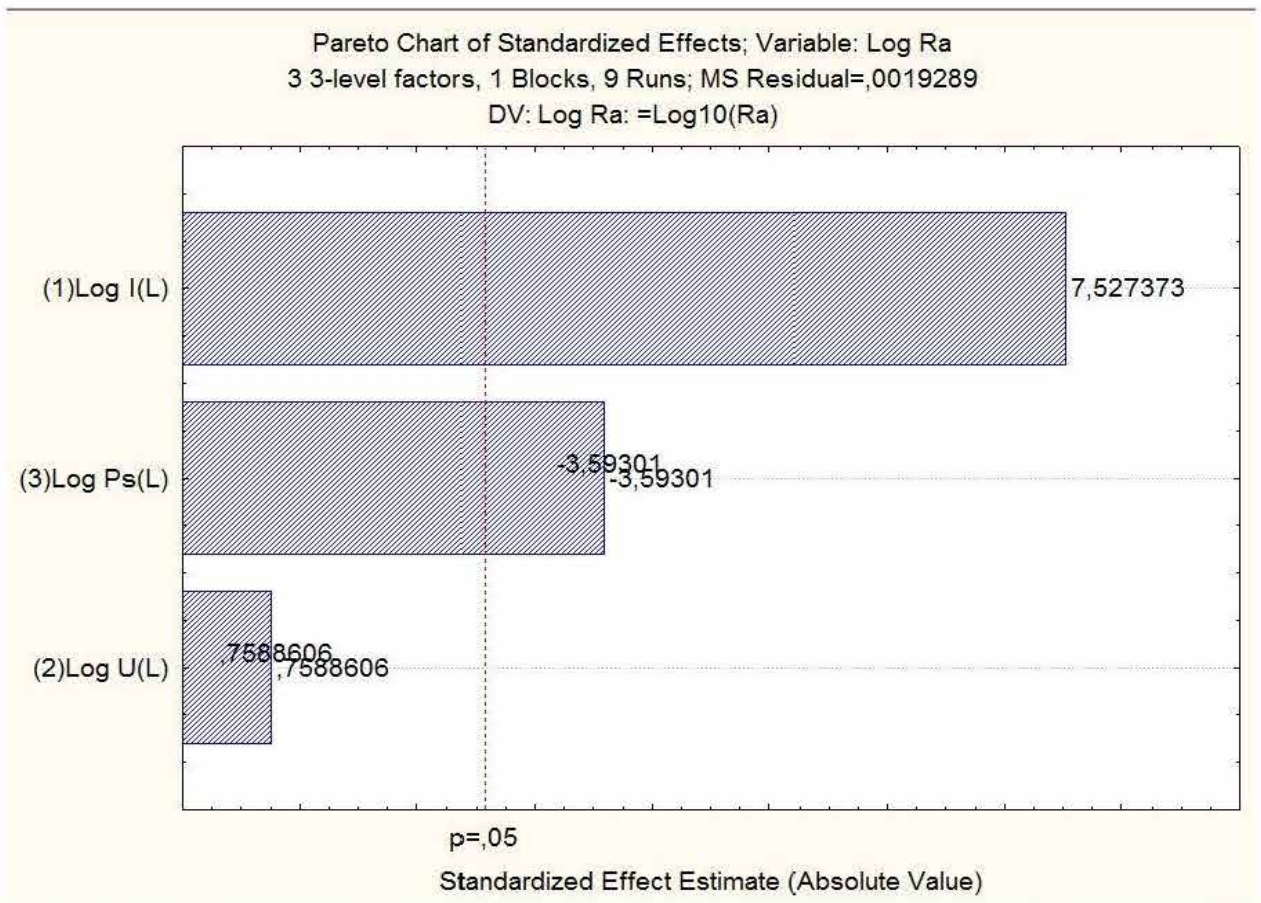


Рис. 3.5. Вплив змінних факторів на величину шорсткості
обробленої поверхні Ra

Відповідно, математична модель шорсткості, мкм:

$$Ra = 0,404 I^{0,338} U^{0,469} P_s^{-0,47} \quad (3.5)$$

Шорсткість залежить переважно від статичного тиску на вході в зазор (зменшується при збільшенні P_s) і менше від величини технологічного струму: збільшується при збільшенні I .

На рис. 3.6 показано залежність шорсткості Ra поверхні обробленого отвору при прокачуванні через заготовку від I та P_s при, мкм:

$$Ra = 0,404 I^{0,338} P_s^{-0,47} \quad (3.6)$$

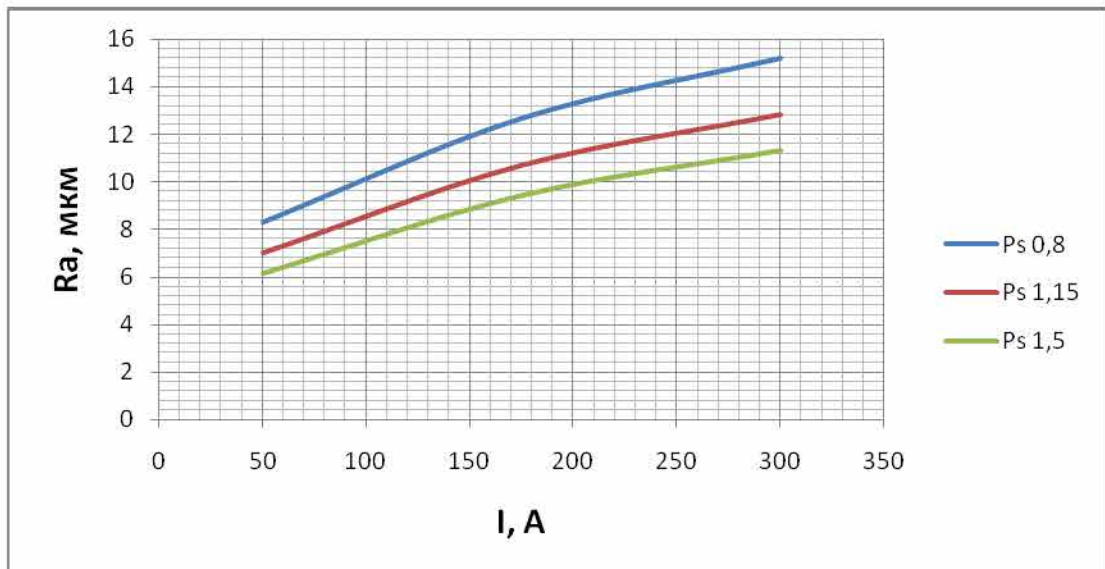


Рис. 3.6. Залежність шорсткості Ra від сили струму I та статичного тиску P_s

Знос електрода-інструмента

Ефективність і економічність процесу РОД значною мірою визначають вартість і стійкість ЕІ. Відносний лінійний знос ЕІ, виготовлених із графітизованого матеріалу МПГ-7 при обробці внутрішніх і зовнішніх контурів листових деталей не перевищує 1 % на чорнових режимах, які забезпечують високу продуктивність і помірну якість та 0,05% на чистових режимах та калібруванні.

Розглянемо особливості зносу ЕІ в умовах РОД при прокачуванні через заготовку. За таких умов визначеної геометрії та довжини траси евакуації продуктів ерозії знос є функцією сили технологічного струму та статичного тиску робочої рідини на вході в міжелектродний зазор.

На рис. 3.7 показано ступінь впливу на відносний лінійний знос ЕІ γ при РОД при прокачуванні через заготовку змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 300$ А, статичного тиску $P_s = 0,8 \dots 1,5$ МПа, робочої напруги $U = 28 \dots 32$ В.

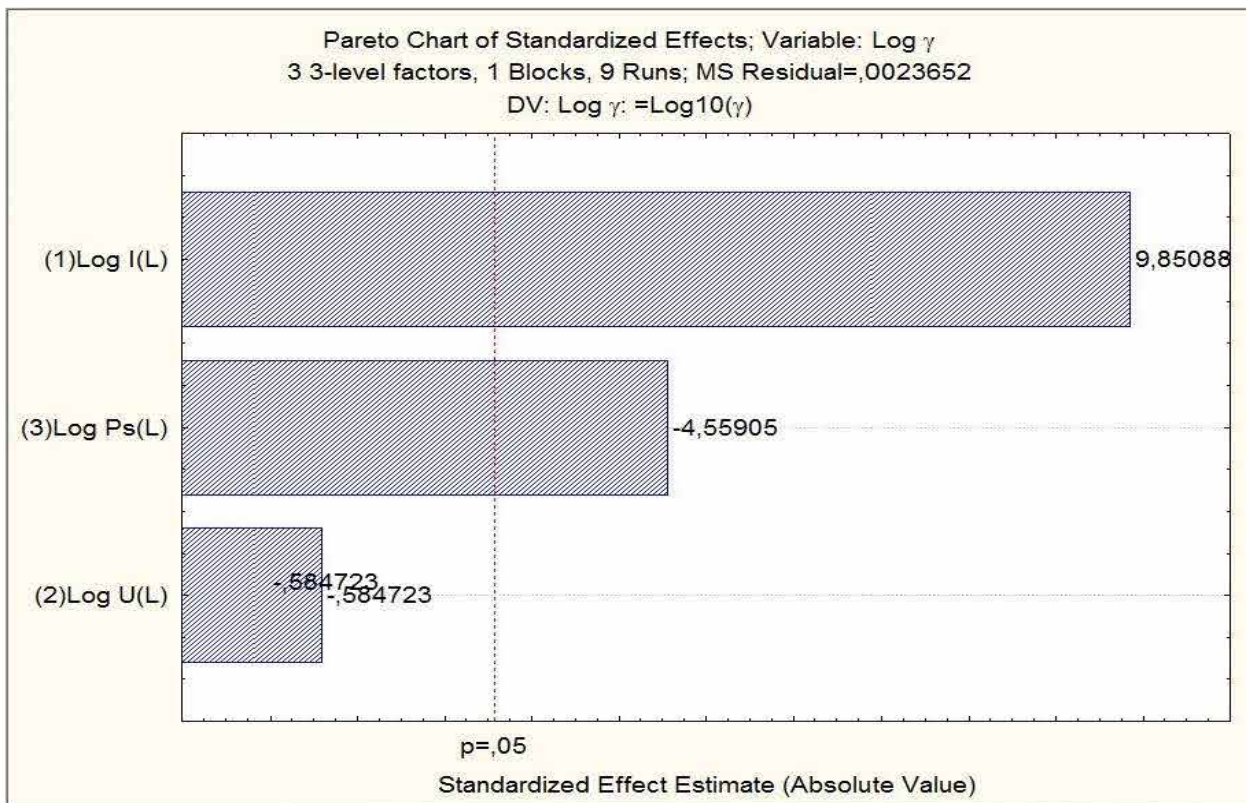


Рис. 3.7. Вплив змінних факторів на величину зносу ЕІ при прокачування через заготовку

Графік побудовано згідно рівняння регресії:

$$Y(\gamma) = -0,45 + 0,88 x_1 - 0,052 x_2 - 0,41 x_3 \quad (3.7)$$

Відповідно, математична модель зносу ЕІ, %:

$$\gamma = 0,355 I^{0,489} U^{-0,4} P_s^{-0,66} \quad (3.8)$$

На рис. 3.8 показано залежність зносу ЕІ γ при РОД обробки деталей при прокачування через заготовку від I та P_s , що визначають за формулою, %:

$$\gamma = 0,355 I^{0,489} P_s^{-0,66} \quad (3.9)$$

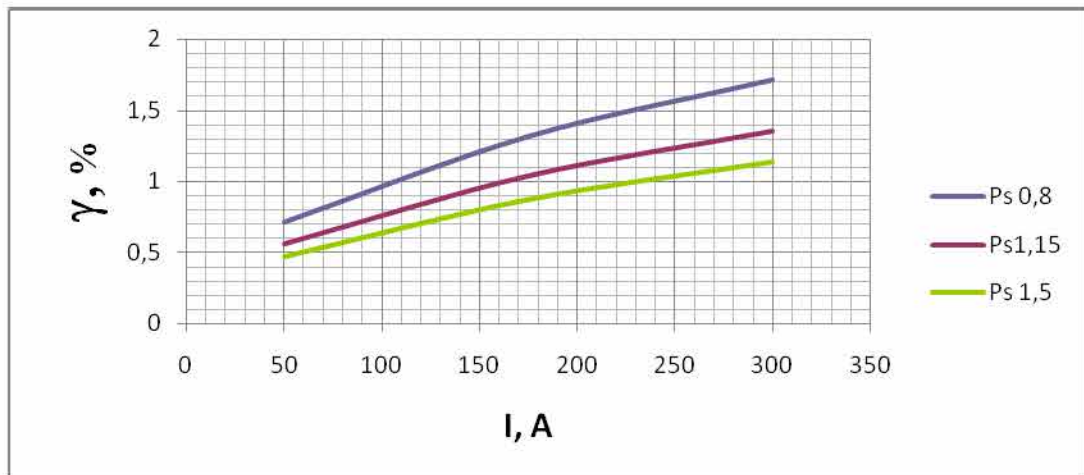


Рис. 3.8. Залежність відносного лінійного зносу ЕІ δ від сили струму I та статичного тиску P_s

Згідно представленого виразу знос ЕІ збільшується зі збільшенням сили струму I та статичного тиску P_s , що відповідає відомим уявленням. Підвищення напруги в зазначених межах сприяє зменшенню зносу ЕІ, оскільки зменшується опір торцевого зазору і покращуються умови руху рідини.

Міжелектродний зазор

Побудову профілю робочої поверхні ЕІ виконують згідно технологічних схем формоутворення, режимів обробки та схеми утворення міжелектродних зазорів. Розрахунок розмірів ЕІ з врахуванням міжелектродного зазору, шорсткості поверхні виконують згідно існуючих методик ЕЕО. При обробці внутрішніх і зовнішніх контурів листових деталей важливою є величина бічного міжелектродного зазору.

На рис. 3.9 показано ступінь впливу на величину міжелектродного зазору δ при РОД при прокачуванні через заготовку змінних факторів: сили струму $I = 50 \dots 300$ А, статичного тиску $P_s = 0,8 \dots 1,5$ МПа, робочої напруги $U = 28 \dots 32$ В.

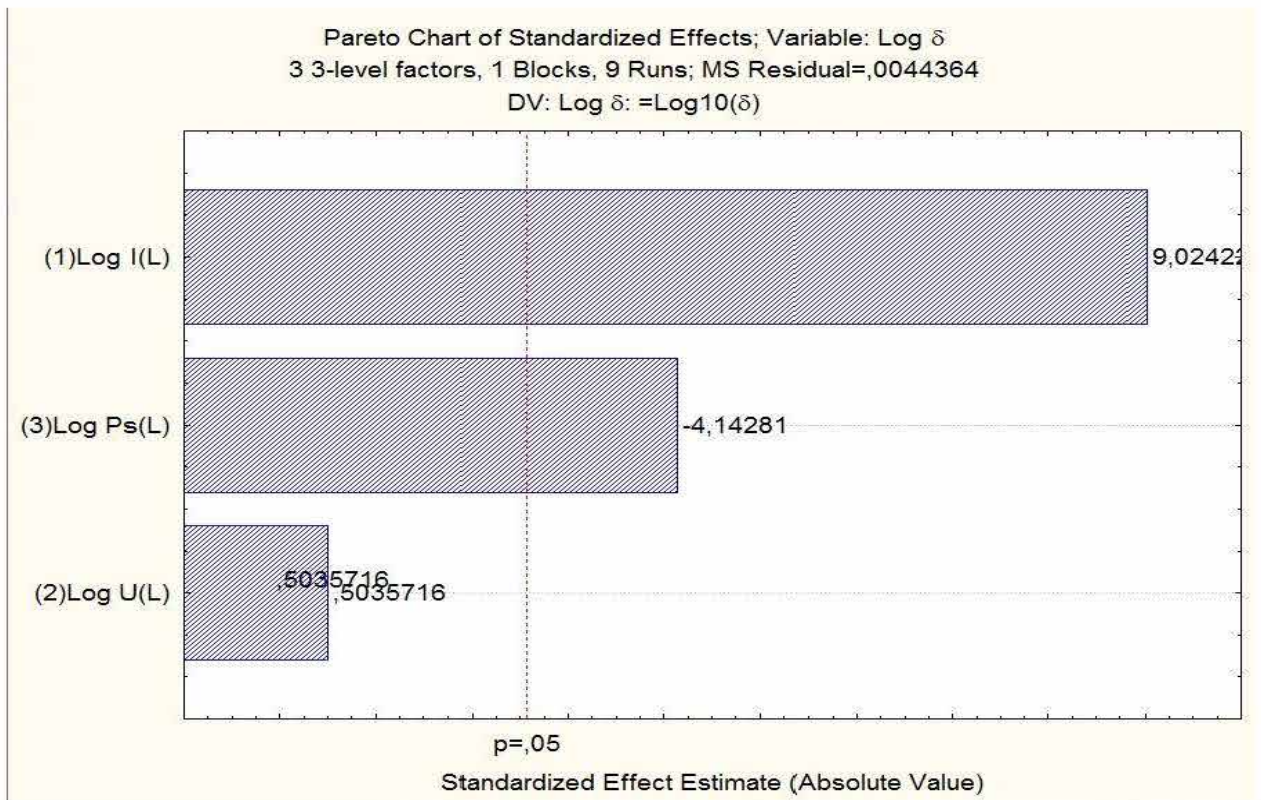


Рис. 3.9. Вплив змінних факторів на величину міжелектродного зазору

Графік побудовано згідно рівняння регресії:

$$y(\delta) = -0,78 + 0,885 x_1 + 0,049 x_2 - 0,4 x_3 \quad (3.10)$$

Відповідно, модель величини міжелектродного зазору, мм:

$$\delta = 0,00163I^{0,614}U^{0,472}P_s^{-0,822} \quad (3.11)$$

Оптимально реалізувати процес при мінімальних міжелектродних зазорах можливо, але при цьому різко зростає тиск робочої рідини. Звичайно при РОД листових деталей міжелектродний зазор коливається в межах 0,05...0,1 мм: зменшується зі збільшенням P_s і збільшується зі збільшенням I .

На рис. 3.10 показано залежність величини міжелектродного зазору δ при РОД при прокачуванні через заготовку від I та P_s , що визначають за формулою, мм:

$$\delta = 0,00163I^{0,164}P_s^{-0,822} \quad (3.12)$$

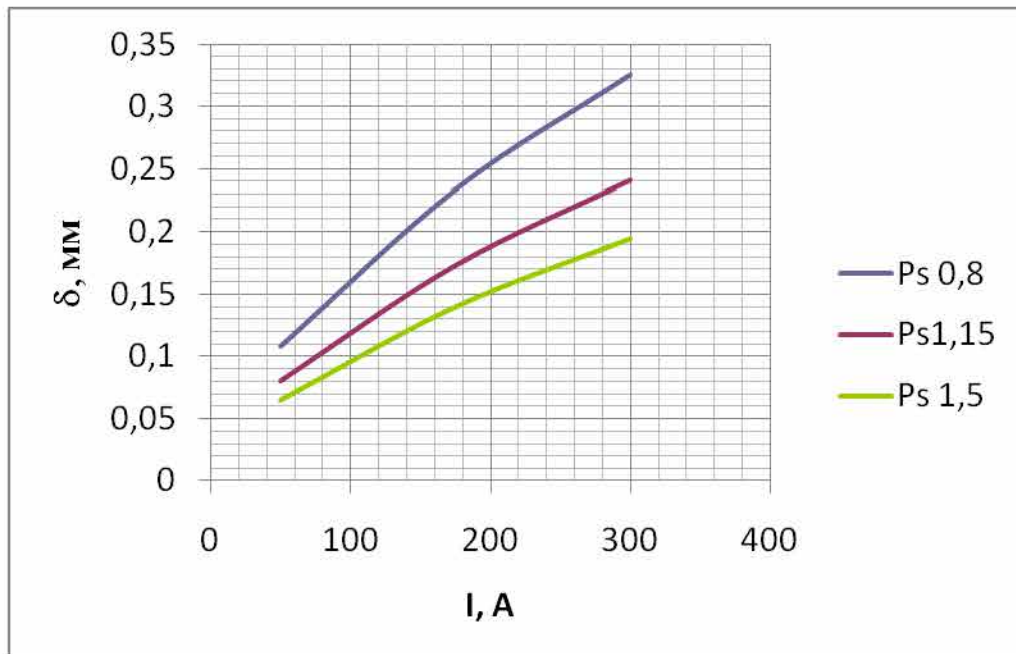


Рис. 3.10. Залежність міжелектродного зазору δ від сили струму I та статичного тиску P_s

3.2. Висновки

Теоретично і експериментально досліджено, обґрунтовано і описано математичні моделі технологічних характеристик процесу: продуктивності, шорсткості обробленої поверхні, міжелектродного зазору, стійкості ЕІ.

Продуктивність обробки приблизно прямо пропорційна силі технологічного струму, який обмежується площею поперечного перерізу ЕІ.

Шорсткість обробленої поверхні є переважно функцією статичного тиску при вході в зазор.

ЕІ, виготовлений із матеріалу МПГ-7 має досить високу стійкість, його лінійний знос коливається в межах 0,3...1% і залежить від режиму обробки та геометрії робочої частини ЕІ. Величина міжелектродних зазорів коливається в межах 0,04...0,12 мм.

РОЗДІЛ 4. УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ЕЛЕКТРОД-ІНСТРУМЕНТУ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ

4.1. Системи приводу електрод-інструменту електроерозійної установки

В процесі розмірної обробки електричною дугою в герметизованій камері електроерозійної головки створюється тиск робочої рідини, що тисне на шпиндель (шток) настільного свердлильного верстата. В наслідок чого рукоятці переміщення шпинделя виникають значні зусилля, що погіршують умови праці робітника і призводять до швидкої втоми, до того ж необхідність прикладання значних зусиль майже унеможливує забезпечення стабільного процесу, що потребує постійного оптимального міжелектродного зазору.

Визначимо яке зусилля може виникнути на рукоятці приводу пінолі установки:

Вихідні данні для розрахунку:

- Найбільший діаметр ЕІ в електроерозійній головці d_e – 50 мм;
- Максимальний тиск робочої рідини в електроерозійній головці P_s – 1,6 МПа;
- Кількість зубців шестерні приводу пінолі свердлильного верстата z – 13;
- Модуль зубців шестерні m – 2;
- Довжина рукоятки приводу пінолі l – 150 мм.

Визначення зусилля на шпинделі верстату, Н:

$$Q = P_s \cdot S = 1,6 \cdot 1963,5 = 3141,6, \quad (4.1)$$

де S – площа поперечного перерізу ЕІ, мм²:

$$S = \frac{\pi \cdot d_e^2}{4} = \frac{\pi \cdot 50^2}{4} = 1963,5. \quad (4.2)$$

Діаметр ділильного кола шестерні, мм:

$$d = m \cdot z = 2 \cdot 13 = 26. \quad (4.3)$$

Розрахуємо крутний момент на валу шестерні приводу пінолі, Нм:

$$M_{kp} = \frac{Q \cdot d}{2} = \frac{3141,6 \cdot 26 \cdot 10^{-3}}{2} = 40,841. \quad (4.4)$$

Зусилля на рукоятці приводу пінолі, Н:

$$P = \frac{M_{kp}}{l} = \frac{40,841}{150 \cdot 10^{-3}} = 272,273. \quad (4.5)$$

Як бачимо на рукоятці привода пінолі установки виникають значні зусилля, з урахуванням необхідності, в процесі РОД, забезпечувати постійний міжелектродний зазор, утримуючи і переміщуючи рукоятку привода пінолі, від робітника вимагатиметься прикладання значних зусиль, що призведе до швидкої його втоми.

Для покращення ергономічних умов праці на установці необхідно знизити зусилля на рукоятці привода пінолі принаймні в 5...6 разів.

Одним з найпростіших способів знизити зусилля на рукоятці привода установки є встановлення на місце штурвала привода пінолі проміжного редуктора.

Наприклад одноступеневого циліндричного редуктора (рис. 4.1)



Рис. 4.1. Одноступеневий циліндричний редуктор

Можна встановити черв'ячний одноступінчастий редуктор, проте в таких редукторах вхідний і вихідний вал розташовуються перпендикулярно один одному (рис. 4.2).



Рис. 4.2. Одноступеневий черв'ячний редуктор

Такого типу редуктор доцільно використовувати в поєднанні з електродвигуном (рис. 4.3) та системою керування процесом.



Рис. 4.3. Одноступеневий мотор-редуктор із черв'ячною передачею
Редуктор, що має перпендикулярне розташування вхідного і вихідного валу достатньо компактно може бути встановлений на установку (рис. 4.4) проте потребує системи керування, що буде забезпечувати автоматичне утримання оптимального між електродного зазору.



Рис. 4.3. Приклад встановлення мотор-редуктора на установку для РОД

Для значного зниження зусилля на рукоятці привода пінолі і покращення умов праці робітника можлива установка підсилювачів аналогічних тим, що встановлюють на автомобілях в якості підсилювачів рульового керування.

Такі підсилювачі можуть бути виконані у вигляді гідравлічних підсилювачів (рис. 4.4), або електричних підсилювачів (рис 4.5).

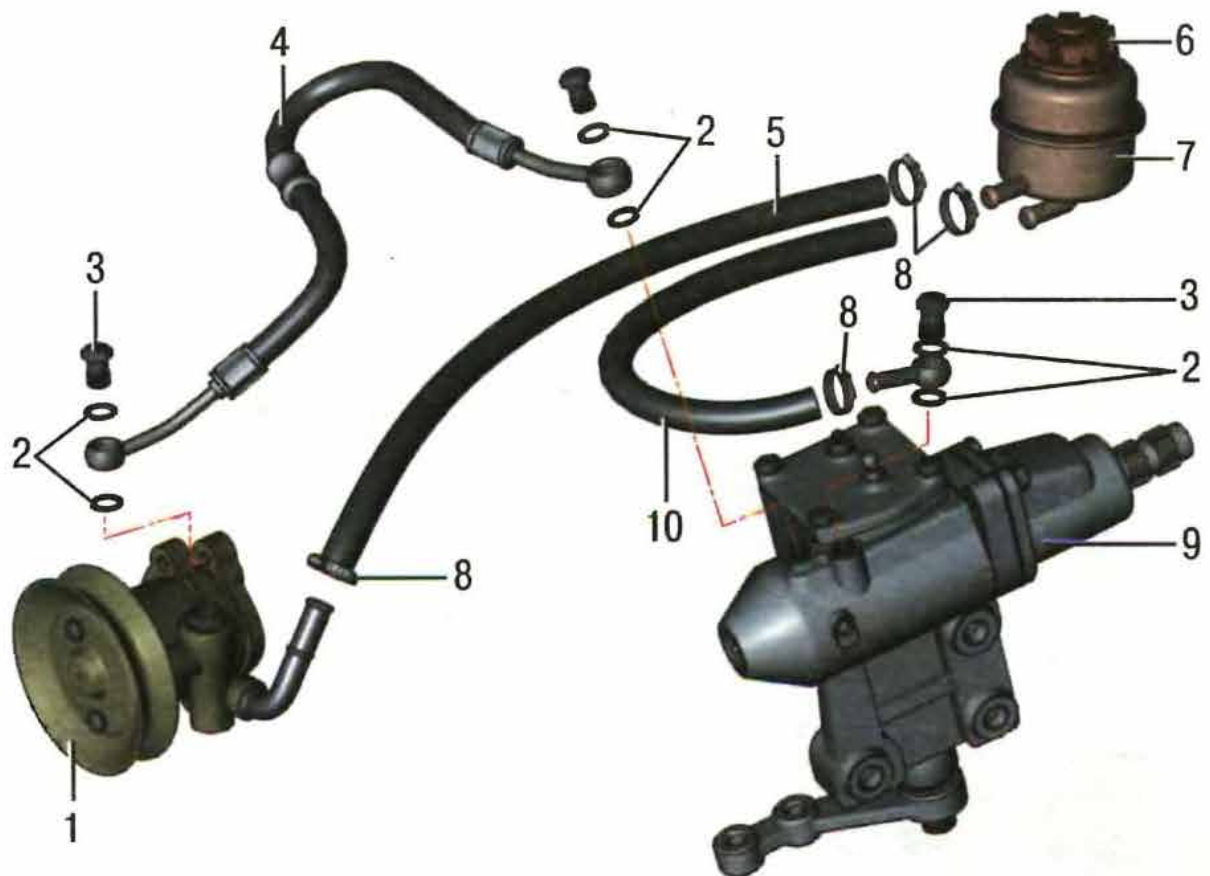


Рис. 4.4. Система гідропідсилювача рульового керування

1 – насос гідропідсилювача; 2 – прокладки; 3 – болт-штуцер; 4 – шланг високого тиску; 5 –шланг, що підводить рідину; 6 – пробка бачка; 7 – бачок; 8 – хомут; 9 – рульовий механізм (редуктор); 10 – шланг низького тиску

Для функціонування такої системи необхідний електродвигун, що буде приводити в дію насос гідропідсилювача.

Ще одним недоліком системи є те, що при такій системі підсилення, за відсутності системи зворотного зв'язку, стає майже не можливо забезпечувати рівномірність міжелектродного зазора.

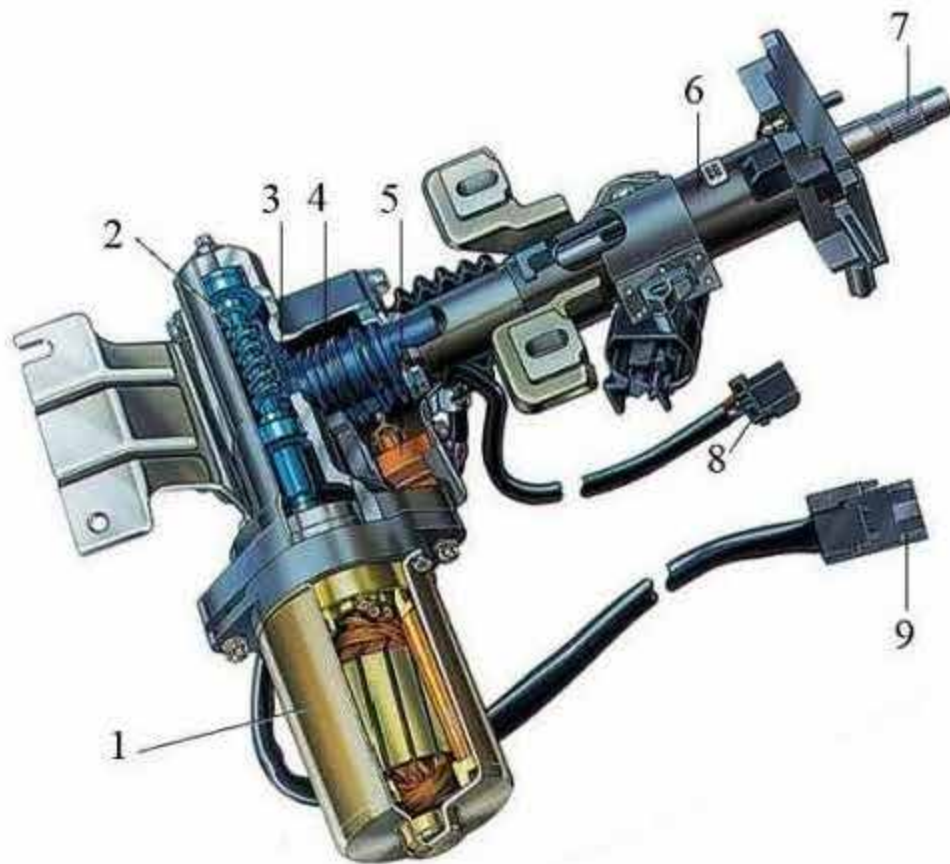


Рис. 4.5. Система гідропідсилювача рульового керування

1 – електромотор; 2 – черв'як; 3 – червячне колесо; 4 – ковзна муфта; 5 – потенціометр; 6 – кожух; 7 – вал; 8 – роз'єм датчика моменту; 9 – роз'єм живлення електродвигуна

Недоліком такої системи є те, що для функціонування такої системи потрібно мати блок керування цією системою зі зворотним зв'язком, що буде забезпечувати рівномірний між електричний зазор.

4.2. Висновки

4.2.1. Запропоновано різні підсилюючі пристрої для поліпшення ергономіки установки, що дозволять знизити зусилля на рукоятці приводу установки, показані переваги і недоліки цих пристроїв. Найбільш простим і дешевим способом знизити зусилля на рукоятці приводу установки є встановлення простого одноступінчатого редуктора така система не потребує додаткової системи зворотного зв'язку.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОД

В розділі наведений порівняльний аналіз варіантів виготовлення отворів за двома різними технологічними процесами. Згідно базового варіанту отвори виготовляються за дві операції: свердлувальна на верстаті OPTIdrill D 33Pro та електроерозійна на верстаті розмірної обробки дугою.

Запропоновано об'єднати ці дві операції в одну і застосовувати електроерозійну обробку на верстаті розмірної обробки дугою.

Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Витрати на проведення НДДКР являються складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації системи. Вартість НДДКР визначаємо шляхом розрахунку за окремими статтями витрат у вигляді кошторису (табл. 5.1). Трудомісткість робіт по кожній стадії залежить від призначення, ступені новизни, особливостей конструкції виробу.

Таблиця .5.1.

Трудомісткість виконання НДДКР

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино - днях
Постановка задачі збір інформації, формулювання технічного завдання.	8
Аналіз діючої системи виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації	15
Розробка ескізного проекту і блок-схем	7
Виготовлення і налагодження макетів, моделей або експериментальних зразків майбутніх виробів, програм і алгоритмів	16
Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино - днях
Витрати на виготовлення первісного комплексу спеціального інструменту і пристроїв (штампів, шаблонів, моделей, інструментів, прес-форм і пристроїв цільового призначення)	15
Складання специфікацій та розробка робочої документації	10
Всього витрат часу, Тнд	71

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	$Z_{нд}$	46774,8
Витрати на наукові відрядження	$V_{нд}$	18709,92
Загальногосподарські витрати	$H_{ак}$	9354,96
Всього	$K_{нд}$	74839,68

На основі трудомісткості НДДКР розраховується плановий фонд заробітної плати для ведення наукових досліджень за формулою:

$$Z_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0.01 \cdot H_d) \cdot (1 + 0.01 \cdot H_c) \quad (5.1)$$

де H_d - 20% - процент додаткової зарплати;

H_c - 22% - норматив відрахування у соціальні фонди.

$O_{нд}$ - 450 грн. - середньоденний оклад конструктора;

$$Z_{нд} = 71 \cdot 450 \cdot (1 + 0.01 \cdot 20) \cdot (1 + 0.01 \cdot 22) = 46774,8 \text{ грн.}$$

Витрати на наукові відрядження становлять 40% від заробітної плати:

$$V_{нд} = 46774,8 \cdot 0,4 = 18709,92 \text{ грн.}$$

Загальногосподарські витрати становлять 20% від заробітної плати:

$$H_{ак} = 46774,8 \cdot 0,2 = 9354,96 \text{ грн.}$$

Визначення технологічної собівартості

Витрати, що складають технологічну собівартість:

Змінні – v , величина яких в річній технологічній собівартості змінюється пропорційно зміні програми випуску продукції N_e , грн./дет.;

Постійні – p , величина яких суттєво не змінюється зі зміною обсягу річного випуску продукції, грн./дет.

Технологічна вартість продукції в обсязі річного випуску визначається за формулою:

$$C_{р\text{ич}} = v_i \cdot N_e + p_i. \quad (5.2)$$

Проведемо порівняння собівартості технологічних процесів із застосуванням поелементного розрахунку.

Формула технологічної собівартості на річну програму випуску має вигляд, грн./дет.:

– для свердлування

$$C_{рiч} = (M_o + Z_{o.д.с.} + B_{ел} + B_e + B_{a.об.} + B_{ен}) \cdot N_e, \quad (5.3)$$

– при застосуванні РОД

$$C_{рiч} = (M_o + Z_{o.д.с.} + B_{ел} + B_{a.об.} + B_{ен} + B_{ел.р.} + B_{р.р.}) N_e + Z_{нал} \quad (5.4)$$

де M_o – вартість основних матеріалів. Враховується у випадку коли змінюється спосіб розкрою або марка матеріалу;

$Z_{o.д.с.}$ – заробітна плата основна і додаткова виробничих робітників з відрахуванням на соцстрах;

$B_{ел}$ – витрати на електроенергію;

B_v – витрати на воду технічну;

$B_{a.об.}$ – витрати на амортизацію обладнання;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень;

$B_{р.р.}$ – витрати на робочу рідину;

$Z_{нал}$ – витрати на налагодження;

Розрахунки по зазначених статтях ведуть за наступними формулами.

Змінні витрати

Вартість основних матеріалів з відрахуванням повернених відходів:

$$M_o = a_p \cdot Ц_m \cdot K_{mp} - q_{ei\delta x} \cdot Ц_{ei\delta x} \quad (5.5)$$

де a_p – норма витрат металу, кг; $q_{ei\delta x}$ – маса відходів ($q_{ei\delta x} = a_p - a_q$), кг; a_q – чиста маса деталі, кг; $Ц_m$ – ціна 1 кг металу, грн; K_{mp} – коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати (приймається 1,05... 1,08); $Ц_{ei\delta x}$ – ціна 1 кг відходів, грн.

Заробітна плата основна і додаткова виробничих робітників з

відрахуваннями на соціальне страхування:

$$Z_{o.d.c.} = L_{zod.i} \cdot \frac{t_{шт.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\partial} + K'_{\partial} + K_{шк}) \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.6)$$

де $L_{zod.i}$ – годинна тарифна ставка, грн. (див. табл. 5.3);

$t_{шт.i}$ – штучний час на операцію, хв;

K_{np} – коефіцієнт, що враховує премії відрядникам за виконання плану і якість робіт, $K_{np} = 0,3 \dots 0,32$;

K_{∂} – коефіцієнт, що враховує доплати за фактично відроблений час, $K_{\partial} = 0,075 \dots 0,08$;

K'_{∂} – коефіцієнт, що враховує доплати за не відроблений час, $K'_{\partial} = 0,08 \dots 0,1$;

K_c – коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальне страхування $K_c = 22\%$;

$K_{шк}$ – коефіцієнт, що враховує шкідливість робіт (при плазмовому різанні), $K_{шк} = 0,08$.

Таблиця 5.3

Годинна тарифна ставка

Розряд	II	III	IV
Ставка	30,89	34,00	38,64

Витрати на силову електроенергію

$$B_{ел} = \frac{N_{уст} \cdot K_{од} \cdot K_N \cdot K_{\partial в} \cdot K_{\omega}}{\eta_M} \cdot \frac{t_{шт.i}}{60} \cdot C_{ел} \quad (5.7)$$

де $N_{уст}$ – встановлена потужність електродвигуна, кВт;

$K_{од}$ – коефіцієнт одночасної роботи двигунів устаткування, $K_{од} = 0,6 \dots 1,3$;

K_N – середній коефіцієнт завантаження двигуна за потужністю, приймається для М та ВС – 0,8; ДС та О – 0,5;

$K_{об}$ – середній коефіцієнт завантаження двигуна за часом, приймається для М та ВС – 0,8; ДС та О – 0,6;

K_{ω} – коефіцієнт, що враховує витрати електроенергії в мережі, приймається для М та ВС – 1,04; ДС та О – 1,08;

η_m – ККД електродвигунів;

$C_{ел}$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, приймається 2,35 грн/ кВт·год.

Витрати на ремонт устаткування, грн.:

$$B_{рем} = \frac{(W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e)}{T_{рц}} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.8)$$

де $W_m, W_e, W_{ел}$ – витрати на всі види ремонту за ремонтний цикл;

$R_m, R_e, R_{ел}$ – умовна ремонтна складність відповідно механічної, електричної та електронної частини устаткування;

$T_{рц}$ – тривалість міжремонтного циклу.

Витрати на амортизацію універсального устаткування:

$$B_{ам.об} = \frac{C_б \cdot H_{а.відр.}}{\Phi_{д.о.} \cdot \lambda_n \cdot 100} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.9)$$

де $C_б$ – балансова вартість обладнання, грн;

$H_{а.відр.}$ – норма амортизаційних відрахувань, приймається 15 %;

$\Phi_{д.о.}$ – дійсний річний фонд часу роботи обладнання ;

λ_n – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання за часом .

Витрати на експлуатацію приміщень:

$$B_{ен} = \frac{S_{е.пт} \cdot K_f \cdot C_{кз}}{\Phi_{д.о.} \cdot \lambda_n} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.10)$$

де $S_{е.пт}$ – виробнича площа в плані, що зайнята одиницею устаткування, м²,

K_f – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу (на проходи, проїзди, побутові та службові приміщення), приймають за табл. 5.4.

$C_{кз}$ – річні витрати, пов'язані з використанням 1 м² виробничої площі,

грн/м²·рік, величина $C_{к2}$ складає для О та ДС – 1200; для ВС та М – 1500.

Таблиця 5.4

Коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу

$S_{в.м}, \text{ м}^2$	3,0	6,0	12,0	20	30	40 і більше
K_f	6,0	5,0	4,0	2,5	2,0	1,5

Витрати на стиснене повітря:

$$B_{c.нов} = Q_{c.нов} \cdot \Pi_{c.нов} \cdot K_{ме} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.11)$$

де $Q_{c.нов}$ – витрати стисненого повітря, м³/год; $\Pi_{c.нов}$ – ціна 1 м³ стисненого повітря, прийнято 0,45 грн/м³; $K_{ме}$ – коефіцієнт, що враховує тип виробництва, для ДС – 0,85; для М – 1,15.

Витрати на воду:

$$B_{вод} = Q_{вод} \cdot \Pi_{вод} \cdot K_{ме} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.12)$$

де $Q_{вод}$ – витрата води, м³/год; $\Pi_{вод}$ – ціна 1 м³ води, прийнято 9,56 грн/м³.

Витрати на електроди вольфрамові:

$$B_{ел.вфр} = Q_{ел.вфр} \cdot \Pi_{ел.вфр} \cdot \frac{t_{ум.і}}{60}, \quad (5.13)$$

де $Q_{ел.вфр}$ – витрата вольфрамового електрода гр/м; $\Pi_{ел.вфр}$ – ціна 1 гр вольфрамового електрода, грн/гр.

Витрати на електроди графітові:

$$B_{ел.гр} = Q_{ел.гр} \cdot \Pi_{ел.гр} \cdot h_{ел.гр} \cdot \Pi, \quad (5.14)$$

де $Q_{ел.гр}$ – витрата графітового електрода мм/хв (приймається 0,05);

$\Pi_{ел.гр}$ – ціна 1 гр графітового електрода, грн/гр;

$h_{ел.гр}$ – питома вага графіту, гр/мм³;

Π – площа робочої поверхні електрода, мм².

Витрати на кисень

$$B_{O_2} = Q_{O_2} \cdot C_{O_2} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.15)$$

де Q_{O_2} – витрата кисню (залежить від товщини металу) кг/год ;

C_{O_2} – ціна кисню, грн/кг.

Витрати на гелій

$$B_{He} = Q_{He} \cdot C_{He} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.16)$$

де Q_{He} – витрата гелію, кг/год;

C_{He} – ціна гелію, грн/гр.

Витрати на азот

$$B_{N_2} = Q_{N_2} \cdot C_{N_2} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.17)$$

де Q_{N_2} – витрата азоту, кг/год;

C_{N_2} – ціна азоту, грн/гр.

Витрати на вуглекислоту

$$B_{CO_2} = Q_{CO_2} \cdot C_{CO_2} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.18)$$

де Q_{CO_2} – витрата вуглекислоти, кг/год;

C_{CO_2} – ціна азоту, грн/гр.

Витрати на робочу рідину

$$B_{p.pid.} = Q_{p.pid.} \cdot C_{p.pid.} \cdot \frac{t_{um.i}}{60}, \quad (5.19)$$

де $Q_{p.pid.}$ – витрата робочої рідини, кг/рік;

$C_{p.pid.}$ – ціна робочої рідини, грн.

Постійні витрати

Витрати на налагодження

$$Z_{нал} = A \cdot L_{год.нал} \cdot \frac{t_{n.z.i}}{60} \cdot (1 + K_{np} + K_{\delta} + K_{\delta}') \cdot (1 + \frac{K_c}{100}), \quad (5.20)$$

де A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень на рік;

$L_{\text{год.налі}}$ – годинна тарифна ставка наладчика, грн/год;

$t_{\text{н.з.і}}$ – підготовчо-заключний час на даній операції, хв.

Витрати на штампи на річну програму

$$Z_{\text{ш}} = \frac{C_{\text{ш}} + p \cdot C_{\text{ш}}}{T_{\text{сл}}} \cdot (1 + b), \quad (5.21)$$

де $C_{\text{ш}}$ – первинна вартість штампа, грн; $C_{\text{ш}}$ – ціна однієї переточки, грн; p – кількість переточок; $T_{\text{сл}}$ – строк служби, протягом якого штамп повинен бути списаний; b – кількість дублерів.

Витрати на амортизацію засобів механізації та автоматизації

$$B_{\text{а.сн.}} = \frac{C_{\sigma} \cdot H_{\text{а.р.}}}{100}, \quad (5.22)$$

де C_{σ} – балансова вартість пристрою, грн. $Q_{\text{р.під.}}$ $C_{\text{р.під.}}$

Визначаємо технологічну собівартість за наведеними вище формулами (5.1-5.22) за базовим та запропонованим варіантами і результати розрахунку зводимо до табл. 5.7 – 5.12.

Розрахунок технологічної собівартості за базовим варіантом

Вихідні дані по трудомісткості операцій базового технологічного процесу та параметрах обладнання для розрахунку технологічної собівартості на операції пробивання квадратних отворів наведені в таблицях 5.5 і 5.6.

Таблиця 5.5

Базовий технологічний процес

№ п/п	Операція	Модель обладнання	Штучний час, хв $t_{\text{шт } i}$	Підготовчо-заключний час, хв $t_{\text{н.з.}}$	Розряд робітник а	Тарифна ставка
1	Свердлування	OPTIdrill D 33Pro	5	30	IV	38,64
1	РОД	Установка РОД	5	30	IV	38,64

Параметри обладнання

Модель	Габарити, м		Площа в плані, м ²	Коеф. додаткової площі	Потужність двигуна, кВт	ККД двигуна, %	Вартість Цб, грн
	L	B					
Установка РОД	5	3	15	2	15	0,8	450000
ВДУ-504УХЛЗ	1,27	0,81	1,0287	4	5	0,8	10770
OPTIdrill D 33Pro	0,8	0,5	0,4	2	1,1	0,8	31044

Продовження табл. 5.6

Умовна ремонтна складність, УРЕ			Витрати на 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу Тр.ц, годин	Амортизація відрахування, %
R _м	Re	Rel	W _м	We	We _л		
14	5,5	0	1500	1000	0	50000	0,15
0	5	5	0	180	100	50000	0,15
6	5	5	500	180	100	50000	0,15

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (5.2)...(5.14) і представлений в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7

Розрахунок перемінних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
	a _p	Норма витрати металу	кг	0
M _o	a _ч	Чиста маса	кг	0
0	Ц _м	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	Ц _{відх}	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	K _{тр}	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05... 1,08	0,7
	t _{шт}	Штучний час	хв	10
З _{о.д.с.}	L _{год}	Годинна тарифна ставка	грн	38,64
11,549496	K _{пр}	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	K _д	Коеф. доплат за фактично відроблений час	0,075..0,08	0,08
	K _{д1}	Коеф. премій за вик плану	0,08...0,1	0,09
	K _с	Відрахування на соцстрах	0,5	0,22
	N _{уст}	Встановлена потужність двигуна	кВт	21,1
V _{ел}	ККД	ККД двигуна	-	0,8
2,3428912	Ц _{ел}	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
5				
	K _{од}	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6... 1,3	0,7
	K _N	Коеф завантаження за потужністю	BC-0,8;ДС-0,5	0,5
	K _{дв}	Коеф завантаження за часом	BC-0,8;ДС-0,6	0,6
	K _w	Коеф втрат ел енергії в мережі	BC-1,04;ДС-1,08	1,08
	W _M	Витрати на ремонт механічної частини	грн/УРЕ	24000
V _{рем}	W _e	Витрати на ремонт електричної частини	грн/УРЕ	7300
0,107666667	W _{ел}	Витрати на ремонт електронної частини	грн/УРЕ	1000
	R _M	Умовна ремонт. складність механічної частини	УРЕ	14
	R _e	Умовна ремонтна складність електр. частини	УРЕ	4,5
	R _{ел}	Умовна ремонтна складність електрон. частини	УРЕ	0
	T _{р.ц.}	Тривалість міжремонтного циклу	год	50000
	C _б	Балансова вартість обладнання	грн	491814
V _{ам.обл}	H _{а.р.}	Норма амортизаційних відрахувань	%/100%	0,15
3,284014423	Ф _{д.о.}	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	год	4680
	λ _n	Коефіцієнт завантаження обладнання за часом	-	0,8
	S _{в.пл}	Виробнича площа в плані	м ²	16,4287
V _{e.прим}	K _f	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	-	2,6666667
0,004505295	C _{пл}	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м ² площі	грн	1200
	Q _{р.рід}	Витрати робочої рідини	кг	0,2
V _{р.рід}	Ц _{р.рід}	Вартість робочої рідини (масла)	грн/кг	92
3,0666667				
	Q _{ел.грф}	Витрати графітових електродів	мм/хв	0,05
V _{ел.грф}	Ц _{ел.грф}	Вартість графітових електродів	грн/г	0,7
1,23088	h _{ел.грф}	Питома вага	г/мм ³	2,1
	П	Площа робочої поверхні	мм*мм	100,48

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (5.20)...(5.22) і представлений в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8

Розрахунок постійних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
2.1.	$t_{п.з.}$	Підготовчо-заключний час	хв	30
$Z_{нал}$	$L_{год.нал}$	Годинна тарифна ставка наладчика	грн/год	0,8135
10,763	A	Кількість партій (що відповідає кількості переналагоджень) на рік	-	12
2.2.	$\Pi_{шт}$	Первинна вартість штампа	грн	2700
$Z_{ш}$	$C_{ш}$	Вартість ремонту	грн	150
2100	p	Кількість переточок	раз	10
	b	Кількість дублерів	шт	0
	$T_{сп}$	Строк експлуатації до повного зносу	років	2

Розрахунок транспортних витрат на перевезення заготовок до механоскладального цеху із застосуванням електрокар приведений в таблиці 5.9.

Таблиця 5.9

Розрахунок транспортних витрат

Параметр	Розмірність	Значення
Маса деталі	кг	1,49
Програма випуску	шт	50000
Вантажопід'ємність електрокари	кг	350
Тривалість 1 перевезення	годин	0,5
Вартість 1 години експлуатації електрокари	грн/год	16,23
Кількість перевезень	разів	235
Тривалість роботи електрокари	годин	117
Вартість експлуатації електрокари на програму	грн	1899

Параметрах обладнання для розрахунку технологічної собівартості на операції зенкування фасок наведені в таблиці 5.10.

Запропонований варіант

Вихідні дані по трудомісткості та параметрах обладнання для розрахунку технологічної собівартості на операції прошивання круглих отворів з фасками наведені в таблицях 5.10 і 5.11.

Таблиця 5.10

Базовий технологічний процес

№ П/П	Операція	Модель обладнання	Штучний час, хв $t_{шт i}$	Підготовчо-заклучний час, хв $t_{n.з.}$	Розряд робітника	Тарифна ставка
1	РОД	Установка РОД	7	30	IV	38,64

Таблиця 5.11

Параметри обладнання

Модель	Габарити, м		Площа в плані, м ²	Коеф. додаткової площі	Потужність двигуна, кВт	ККД двигуна, %	Вартість Цб, грн
	L	B					
Установка РОД	5	3	15	2	15	0,8	450000
ВДУ-504УХЛЗ	1,27	0,81	1,0287	4	5	0,8	10770
Витрати НДДКР			0				74840

Продовження табл. 5.11

Умовна ремонтна складність, УРЕ			Витрати на 1 УРЕ, грн			Тривалість ремонтного циклу Тр.ц, годин	Амортизація відрахування, %
R _m	R _e	R _{ел}	W _m	W _e	W _{ел}		
14	5,5	0	1500	1000	0	50000	0,15
0	5	5	0	180	100	50000	0,15
0	0	0	0	0	0	0	0,15

Розрахунок змінних витрат на операції здійснюється за формулами (5.2)...(5.14) і представлений в таблиці 5.12.

Таблиця 5.12

Розрахунок перемінних витрат на пробивання отвору

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
	a_p	Норма витрати металу	кг	0
M_o	$a_{ч}$	Чиста маса	кг	0
0	Π_m	Ціна 1 кг матеріалу	грн	14,5
	$\Pi_{відх}$	Ціна 1 кг відходів	грн	3,4
	$K_{тр}$	Коеф транспортно-заготів. витрат	1,05... 1,08	0,7
	$t_{шт}$	Штучний час	хв	7
$Z_{o.d.c.}$	$L_{год}$	Годинна тарифна ставка	грн	38,64
11,549496	$K_{пр}$	Коеф премій за виконання плану	0,3...0,32	0,3
	K_d	Коеф. доплат за фактично відроблений час	0,075..0,08	0,08
	$K_{д1}$	Коеф. премій за вик плану	0,08...0,1	0,09
	K_c	Відрахування на соцстрах	0,5	0,5
	$N_{уст}$	Встановлена потужність двигуна	кВт	20
$V_{ел}$	ККД	ККД двигуна	-	0,8
2,34289125	$\Pi_{ел}$	Ціна 1 кВт.год електроенергії	грн	2,35
	$K_{од}$	Коеф одночасної роботи двигунів	0,6... 1,3	0,7
	K_N	Коеф завантаження за потужністю	BC-0,8;ДС-0,5	0,5
	$K_{дв}$	Коеф завантаження за часом	BC-0,8;ДС-0,6	0,6
	K_w	Коеф втрат ел енергії в мережі	BC-1,04;ДС-1,08	1,08
6.4.	W_m	Витрати на ремонт механічної частини	грн/УРЕ	21000
$V_{рем}$	W_e	Витрати на ремонт електричної частини	грн/УРЕ	5500
0,107666667	$W_{ел}$	Витрати на ремонт електронної частини	грн/УРЕ	0
	R_m	Умовна ремонт. складність механічної частини	УРЕ	50000
	R_e	Умовна ремонтна складність електр. частини	УРЕ	535610
	$R_{ел}$	Умовна ремонтна складність електрон. частини	УРЕ	0,15
	$T_{р.ц.}$	Тривалість міжремонтного циклу	год	4680
	C_b	Балансова вартість обладнання	грн	0,8
$V_{ам.обл}$	$H_{a.p.}$	Норма амортизаційних відрахувань	%/100%	16,0287

№ статті витрат	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
3,2840144 23	$\Phi_{д.о.}$	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	год	1,2
	$\lambda_{н}$	Коефіцієнт завантаження обладнання за часом	–	1200
	$S_{в.пл}$	Виробнича площа в плані	м ²	0,2
$V_{е.прим}$	K_f	Коефіцієнт додаткової виробничої площі	–	92
0,0045052 95	$C_{пл}$	Річні витрати, пов'язані з використанням 1м ² площі	грн	
	Qр.рід	Витрати робочої рідини	кг	0,05
Вр.рід	Цр.рід	Вартість робочої рідини (масла)	грн/кг	0,7
3,066666 7				2,1
	Q ел.грф	Витрати графітових електродів	мм/хв	100,48
Вел.грф	Ц ел.грф	Вартість графітових електродів	грн/г	0
1,23088	h ел.грф	Питома вага	г/мм ³	0
	П	Площа робочої поверхні	мм*мм	14,5

Розрахунок постійних витрат здійснюється згідно формул (5.20)...(5.22) і представлений в таблиці 5.13.

Таблиця 5.13

Розрахунок постійних витрат на пробивання отвору

№ п/п статті	Позначка	Найменування	Розмірність	Значення
2.1.	тп.з.	Підготовчо-заключний час	хв	30
Знал	Лгод.нал	Годинна тарифна ставка наладчика	грн/год	38,64
213,003	A	Кількість партій (що відповідає кількості переналаджень)	-	5
2.2.	Ці	Пристрій	грн	600
Зі		Строк експлуатації до повного зносу	років	1
600	Тел			

Розрахунок технологічної собівартості

№ п/п	Витрати	Розмір витрат, грн
1	Перемінні	17,788
1.1.	Основні матеріали	0
1.2.	Заробітна плата	9,94014
1.3.	Електроенергія	1,55453
1.4.	Ремонт	0,06183
1.5.	Амортизація	2,50352
1.6.	Експлуатація приміщень	0,71924
1.7.	Робоча рідина	2,147
1.8.	Електроди графітові	0,86162
2	Постійні	213,003
2.1.	Налагодження	213,003

Для розмежування області ефективного використання варіантів технологічного процесу, розраховуємо критичну програму, при якій варіанти рівноцінні, тобто $C_{m1} = C_{m2}$.

Критична програма випуску визначається за формулою, шт

$$N_{кр} = \frac{p_1 - p_2}{v_2 - v_1}, \quad (5.23)$$

де p_1 і p_2 – відповідно, постійні витрати по базовому варіанту ($p_1 = 746,4849$ грн) та по запропонованому ($p_2 = 813,0030$ грн);

v_1 і v_2 – відповідно, перемінні витрати по базовому варіанту ($v_1 = 23,9219$ грн) та по запропонованому ($v_2 = 17,7875$ грн).

$$N_{кр} = (746,4849 - 813,0030) / (17,7875 - 23,9219) = 11 \text{ шт.}$$

При програмі випуску деталей, яка перевищує $N_{кр}$, в тому числі, для заданої програми (50000 шт/рік), більш ефективним є запропонований варіант.

Розрахунки таблиць зведені в порівняльну калькуляцію витрат (табл. 5.15).

Порівняльна калькуляція витрат

№ п/п	Витрати	Розмір витрат, грн	
		базовий	запропонований
1	Змінні	23,9219	17,7875
1.1.	Основні матеріали	0	0
1.2.	Заробітна плата	11,5495	9,9401
1.3.	Електроенергія	2,3429	1,5545
1.4.	Ремонт	0,1077	0,0618
1.5.	Амортизація	3,2840	2,5035
1.6.	Експлуатація приміщень	2,3403	0,7192
1.7.	Робоча рідина	3,0667	2,1467
1.8.	Електрод графітовий	1,2309	0,8616
2	Постійні (на програму)	746,4849	813,0030
	(на одиницю продукції)	0,014929698	0,01626006
2.1.	Налагодження	346,4849	213,0030
2.2.	Вартість пристосувань	400	600

Економічний ефект від впровадження при програмі випуску 50000 шт:

$$E = (C_{\text{баз}} - C_{\text{проект}}) N$$

$$E = (23,936829698 - 17,80376006) 50000 = 306653,48 \text{ грн.}$$

Строк окупності:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_2 - K_1}{E}$$

$$T_{\text{ок}} = (535610 - 491814) / 306653,48 = 0,14 \text{ року}$$

Розширені результати розрахунків економічного ефекту та терміну окупності при програмі випуску від 10000 до 50000 шт. виробів зводимо до таблиці 5.16.

Результати розрахунку економічного ефекту та строку окупності

Програма випуску, шт.	Технологічна собівартість		Економічний ефект, грн.	Строк окупності, років
	Базовий варіант	Запропонований варіант		
1000	24,66837	18,60054	6067,831	7,217736
5000	24,07118	17,95014	30605,23	1,430997
9000	24,00483	17,87787	55142,62	0,794231
13000	23,97931	17,85008	79680,02	0,549648
17000	23,9658	17,83536	104217,4	0,420237
21000	23,95743	17,82625	128754,8	0,34015
25000	23,95175	17,82006	153292,2	0,285703
29000	23,94763	17,81557	177829,6	0,246281
33000	23,94451	17,81217	202367	0,216419
37000	23,94206	17,80951	226904,4	0,193015
41000	23,94009	17,80737	251441,8	0,174179
45000	23,93847	17,8056	275979,2	0,158693
49000	23,93712	17,80413	300516,6	0,145736
53000	23,93597	17,80288	325054	0,134735

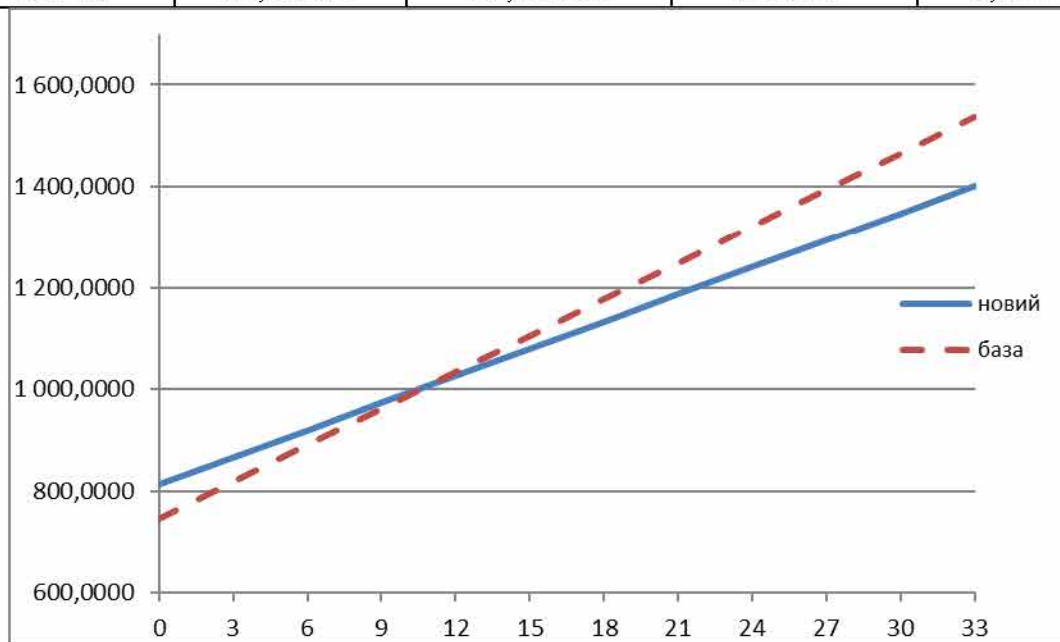


Рис. 5.1. Розмежування області ефективного використання варіантів технологічного процесу

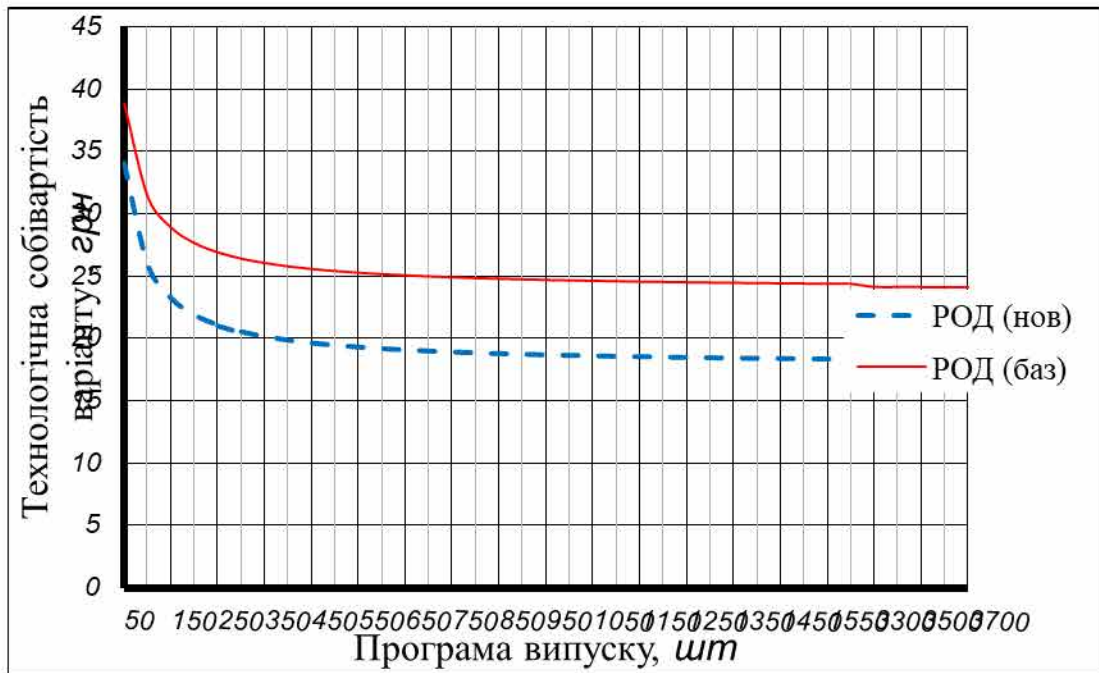


Рис. 5.2. Графіки технологічної собівартості варіантів в залежності від програми випуску



Рис. 5.3. Графік економічного ефекту в залежності від програми випуску

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано напрямки і методи досліджень РОД з ЕЕГ.
2. Теоретичні дослідження виконано на основі теорії електроерозійної обробки, теорії математичного планування експерименту та засобів математичного моделювання.
3. Експерименти виконано на установці для РОД на базі настільного свердлильного верстату 2М112 з встановленою на ньому ЕЕГ.
4. Теоретично і експериментально досліджено, обґрунтовано і описано математичні моделі технологічних характеристик процесу: продуктивності, шорсткості обробленої поверхні, міжелектродного зазору, стійкості ЕІ.
Продуктивність обробки приблизно прямо пропорційна силі технологічного струму, який обмежується площею поперечного перерізу ЕІ.
Шорсткість обробленої поверхні є переважно функцією статичного тиску при вході в зазор.
ЕІ, виготовлений із матеріалу МПГ-7 має досить високу стійкість, його лінійний знос коливається в межах 0,3...1% і залежить від режиму обробки та геометрії робочої частини ЕІ. Величина міжелектродних зазорів коливається в межах 0,04...0,12 мм.
5. Запропоновано різні підсилюючі пристрої для поліпшення ергономіки установки, що дозволять знизити зусилля на рукоятці приводу установки, показані переваги і недоліки цих пристроїв. Найбільш простим і дешевим способом знизити зусилля на рукоятці приводу установки є встановлення простого одноступінчатого редуктора така система не потребує додаткової системи зворотного зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Носуленко В. І. Розмірна обробка металів електричною дугою: Авториф. дис. д-ра техн. наук: 05.03.07 / НТТУ „КПІ”. – Київ, 1999. – 36 с.
2. Носуленко В.І., Шмельов В.М. Розмірна обробка металів електричною дугою // Навчальний посібник ПП „Експлозив-Систем”, Кропивницький, 2017.
3. Зубцов М. Е. Листовая штамповка: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности “Машины и технология обработки металлов давлением”. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отделение, 1980. – 432 с.
4. Ковка и штамповка: Справочник: В 4 т. Т. 4 Листовая штамповка / Под ред. А. Д. Матвеева; Ред. совет: Е. И. Семенов (пред.) и др. – М.: Машиностроение, 1985–1987. – 544 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени на газовую сварку, газовую, газoeлектрическую и кислородно-флюсовую резку черных, коррозионно-стойких и цветных металлов – М. Экономика, 1989. – 171 с.
6. Эсибян Э. М. Выбор способов и оборудования для термической резки металлов // Сварщик. – 1999. – № 3 – С. 4...6.
7. Плазменно-дуговая аппаратура. Эсибян Э. М. “Техніка”, 1971, 164 с.
8. Хильчевский В. В. Новая технология производства и ремонта режущих органов сельскохозяйственных машин // Материалы конф. “Высокоэффективные технологии в машиностроении”. – Харьков: АТМ України. – 1998. – С. 91.
9. Носуленко В. И. Размерная обработка металлов стационарной электрической дугой: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.03.04. / ТПИ. – Тула, 1977. – 26 с.
10. Подураев В. Н. Технология физико-химических методов обработки. – М. : Машиностроение, 1985. – 264 с.

11. Боровиков В. П., Боровиков И. П. STATISTICA – статистический анализ и обработка данных в среде Windows – М.: Информационно-издательский дом „Филинь”, 1998. – 608 с.
12. Новик Ф. С., Арсов Я. Б. Оптимизация процессов технологии металлов.
методами планирования экспериментов. – М.: Машиностроение: София: Техника, 1980. – 304 с.
13. Солонин Н. С. Математическая статистика в технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 1972.
14. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шеффер. М. – 1987. – 610 с.
15. Охрана труда в машиностроении : Т.1.,2 : Сб. норм.-техн. документов / Сост. А.И.Шуминов. - М: Машиностроение, 1990. - 383 с. , 349с
16. Охрана труда и техника безопасности на предприятии: Информационный обзор. - Дн-ск: Укрметаллургинформ, 2005. - 175 с.