

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти

магістр

на тему: «Покращення експлуатаційних властивостей ребристих труб»

КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ

Виконав: здобувач вищої освіти
за освітньо-професійною програмою
*«Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва»*
спеціальності 133 *«Галузеве
машинобудування»*
ступеня вищої освіти *магістр*
групи 133ГМмд_21
ВОВК Степан

Керівник: докт. техн. наук, професор
ХАРЧЕНКО Сергій

Полтава – 2022 року

ВСТУП

Основні шляхи вирішення завдань переозброєння всіх галузей економіки на основі сучасних досягнень науки і техніки пов'язані з впровадженням нової прогресивної технології та економією матеріальних ресурсів.

Для здійснення теплообмінних операцій широко використовуються ребристі труби, зокрема у сільському господарстві. Від надійності та довговічності роботи цих труб значною мірою залежить економічна ефективність роботи. Підвищення надійності і довговічності роботи ребристих труб є актуальним завданням як для зниження собівартості виробленого продукту так і підвищення безпеки виробництва.

Середній час роботи ребристої труби становить один рік, після чого здійснюються операції з механічної обробки внутрішньої поверхні труби на місці експлуатації згідно із прийнятою технологічною схемою та її подальшим поверненням на роботу.

Причина настільки швидкого виходу труби з експлуатації полягає в утворенні відкладень на стінках труби, які погіршують її теплопровідні властивості і порушують сталість технологічного процесу. Утворенню відкладень та методів боротьби з ними, а також продовження терміну експлуатації теплообмінних установок присвячено значну кількість робіт. Одним із напрямів боротьби з утворення відкладень є технологічне забезпечення заданої якості теплообмінної поверхні. Зменшення значення шорсткості поверхні до $Ra < 2,5$ мкм значно підвищує стійкість поверхні до утворення відкладень.

Технологія обробки труби на місці експлуатації не дозволяє отримати задану якість поверхні. Це пов'язано з технологічною спадковістю форми труби. Труба для даного типу установок виготовляється дорнуванням і подальшим калібруванням. У зв'язку з цим внутрішня поверхня труби має значні відхилення форми, а ці відхилення ускладнюють процеси обробки труб механічним способом. Видалення припуску матеріалу неприпустимо, так як це призведе до зменшення

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

товщини стінки труби. У зв'язку з цим при механічному способі видалення відкладень вдається обробити лише частину внутрішньої поверхні. Обробка ведеться виходячи з умови відсутності різання матеріалу труби. Тому є залишки відкладень товщиною до 1 мм, а поверхня труби не обробляється.

Існуючі технології обробки труб на місці експлуатації не забезпечують заданої якості поверхні і повного видалення відкладень з внутрішньої стінки труби. У зв'язку з чим труби, що пройшли обробку, мають менший міжремонтний термін порівняно з новими трубами.

Очевидний зв'язок між якістю внутрішньої поверхні та швидкістю утворення відкладень вимагає пошуку оптимальних схем технологічного процесу обробки на місці експлуатації з урахуванням технологічних особливостей форми внутрішньої поверхні труби.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Загальні відомості про ребристі труби

У складі теплообмінних апаратів для сфери сільського господарства використовуються ребристі сталеві труби (рисунок 1.1), наприклад системи опалення. Робочим середовищем (теплоносієм) виступає вода, що містить у своєму складі водень. Варто відзначити, що наявність водню впливає на утворення відкладень на внутрішній поверхні труби. Вивченню цього впливу присвячений ряд робіт [1-5].

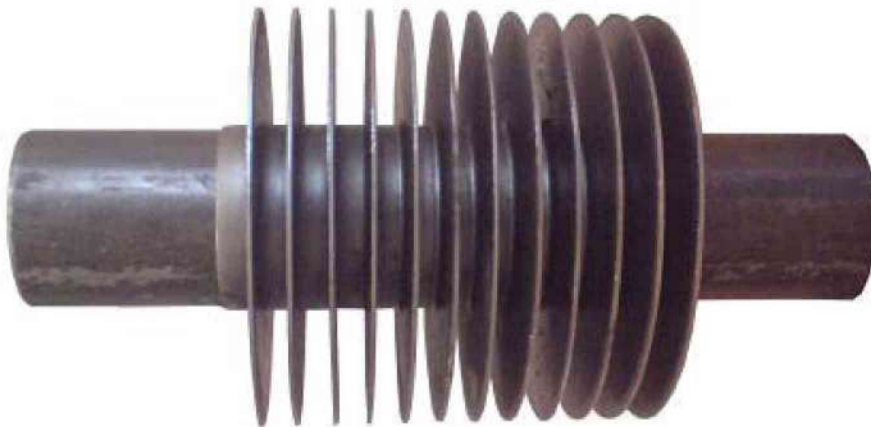


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд ребристої труби

З часом на внутрішній поверхні ребристих труб відбувається утворення твердих відкладень. Природа відкладень (міцність, адгезія до поверхні, хімічна стійкість тощо) в основному визначається складом робочого середовища і його взаємодією з матеріалом теплообмінної поверхні.

На рисунку 1.2 представлені фотографії внутрішньої поверхні труби з відкладеннями. Утворення відкладень негативно впливає на робочий процес. При утворенні відкладень погіршуються теплопровідні властивості стінок труби, що, в свою чергу.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд відкладень у ребристій трубі

Питанням накипоутворення і утворення відкладень на внутрішній стінці теплообмінних апаратів присвячені роботи А.Т. Богороша, О.Х. Дахіна, І.І Саганя та інших. У роботах розглянуті різні механізми утворення відкладень на теплообмінній поверхні. Використовуючи узагальнені параметри, що характеризують спрямованість протікання процесу утворення відкладень, можна записати основне кінетичне рівняння у вигляді:

$$\frac{dG}{d\tau} = \Phi_{ac} - \Phi_{br}, \quad (1.1)$$

де

$$\Phi_{ac} = W_s F, \quad (1.2)$$

$$W_s = W_{ml(d)} + W_{pr}, \quad (1.3)$$

$$\Phi_{br} = W_{ds} F + (F_{01} + F_{02}) W_{ml(d)}. \quad (1.4)$$

З урахуванням рівняння (1.2)

$$\frac{dG}{d\tau} = (W_{ml(d)} + W_{pr})F \left[1 - \frac{W_{ds}}{W_{ml(d)} + W_{pr}} - \frac{W_{ml(d)}(F_{01} + F_{02})}{(W_{ml(d)} + W_{pr})F} \right] \leq \varepsilon', \quad (1.5)$$

де ε' – величина допустимої швидкості накопичення осаду на теплообмінній поверхні.

У більшості робіт [6-7] основними параметрами, що впливають на швидкість утворення відкладень, є характеристики самого процесу теплообміну, такі як:

W – швидкість потоку, м/с;

G – масова витрата потоку, кг/с;

ρ – щільність теплоносія, кг/м³;

Re – число Рейнольда;

q – щільність теплового потоку, Вт/м²;

T – температура потоку в каналі, К.

Випаровуванням рідкої фази з вільної поверхні високошвидкісної стікаючої плівки, краплями, бризками і бульбашками при кипінні обумовлені вторинне пароутворення і пересичення в локальних зонах прикордонного шару, що супроводжуються інтенсивним зародкоутворенням і зростанням кристалів солей жорсткості, частина яких розмивається струменями швидкісний плівки і несеться потоком вниз (шлам), а частина закріплюється в мікронерівностях теплообмінної поверхні (відкладення).

Також на швидкість утворення відкладень впливають геометричні характеристики теплообмінного апарату і мікропрофілю поверхні. В роботах [3, 5, 6, 8] також розглядаються ці фактори. Описано механізм зародження кристалів відкладень на вершинах і западинах мікропрофілю. Зроблено висновок про вплив геометрії мікропрофілю на швидкість утворення відкладень. Основним

параметром мікропрофілю, що впливає на швидкість утворення відкладень, є шорсткість поверхні та її оціночні параметри R_a , R_z , R_{max} .

1.2 Способи обробки ребристих труб, що існують

На сьогоднішній день існують різні способи обробки внутрішньої поверхні ребристих труб [9, 10]. Кожен з таких методів має свої переваги і недоліки. В різні періоди експлуатації ребристих труб застосовувалися різні методи обробки їх внутрішньої поверхні. Досить часто економічні показники експлуатаційного підходу із заміною старих труб на нові є виявлені низькими, у зв'язку з чим досить часто приймається рішення про поновлення робіт щодо обробки ребристих труб на місці експлуатації, заснованих на нових технологічних схемах обробки.

Досить широко використовується механічний спосіб. У першу чергу це пов'язано зі специфікою відкладень, що утворюються.

Обробка труб проводиться безпосередньо біля установки під відкритим повітрям або навісом. Алгоритм виконання робіт наступний: ребриста труба встановлюється горизонтально на стапелі; проводиться її механічна обробка за допомогою мобільної установки (рисунок 1.3); для видалення зрізаного матеріалу застосовується промивка труби водним розчином або продувка повітрям під тиском.

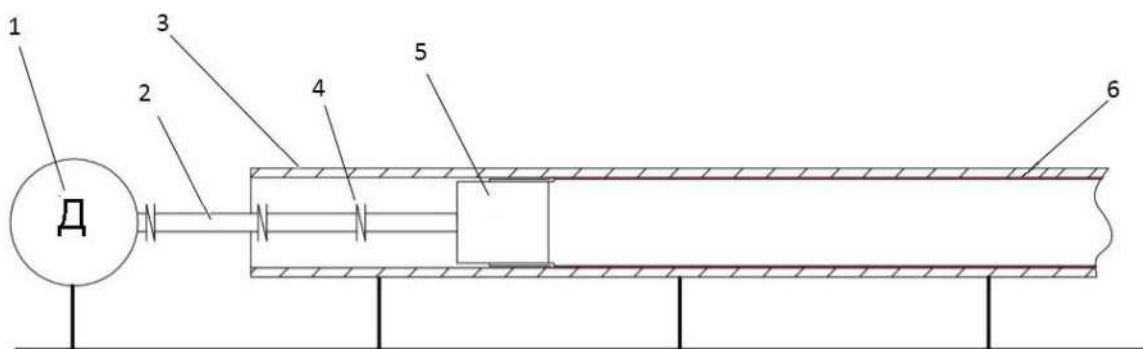


Рисунок 1.3 – Схема обробки ребристої труби:

1 – привідний двигун; 2 – передаюча штанга; 3 – труба; 4 – муфта;
5 – різцева головка; 6 – відкладення

Однак механічна обробка не дозволяє повністю видалити всі відкладення з внутрішньої поверхні труби. У першу чергу це пов'язано з відхиленнями геометричної форми внутрішньої поверхні, і, як наслідок, неможливість видалення відкладень із западин інструментом, а по-друге – зі специфікою роботи самих теплообмінних апаратів: у результаті тривалої експлуатації і роботи з середовищем, що перекачується, на стінках труби утворюються різні виразкові корозійні заглиблення, в яких також скупчуються відкладення. Обробка проводиться таким чином, щоб мінімізувати процес різання матеріалу труби. При цьому допускаються локальні залишки відкладень товщиною не більше 2 мм.

Електрохімічна обробка порівняно з хімічною є більш щадною з точки зору впливу як на оброблювану поверхню, так і на екологію. При її застосуванні не потрібне використання агресивних хімічних сполук. У якості активного середовища при електрохімічній обробці використовуються електроліти на основі різних солей і основ. При застосуванні електрохімічної обробки можна досягти повного видалення залишків відкладень з поверхні, а також досить малих значень шорсткості поверхні. Даний вид обробки не вимагає складного технологічного обладнання. З недоліків електрохімічної обробки можна відзначити, що після її проведення потрібна дезактивація поверхні від залишків електроліту, так як останні можуть сприяти розвитку корозійних процесів. При електрохімічній обробці з використанням «м'яких» електролітів відбувається утворення оксидної плівки [11], яка впливає на швидкість видалення забруднень поверхневого шару металу. В результаті обробки може вийти досить неоднорідна поверхня з великими заглибленнями і вершинами, що негативно позначається на корозійній стійкості деталі і сприяє швидкому утворенню нових відкладень.

1.3 Підвищення експлуатаційних властивостей труб шляхом удосконалення технологічного процесу обробки

Обробка внутрішньої поверхні труби до досягнення заданого значення шорсткості $R_a < 2,5$ мкм і максимально можливе видалення залишків відкладень з оброблюваної поверхні дозволяють значною мірою знизити інтенсивність утворення відкладень і збільшити термін експлуатації.

У зв'язку із дефектами форми внутрішньої поверхні ребристих труб після механічної обробки на поверхні залишаються раковини і западини із залишками відкладень (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 –Залишки відкладень у трубі

Аналіз стану труб, які пройшли цикл обробки механічним способом на місці експлуатації, показав, що залишилися відкладення і велике значення шорсткості одержуваної поверхні є основними причинами швидкого утворення нових відкладень. У зв'язку з чим стає актуальним питання про розробку технологічного процесу обробки труб на місці експлуатації із метою зменшення значення шорсткості і максимально повного видалення дефектного шару матеріалу.

Існують різні технологічні схеми обробки внутрішньої поверхні труб з метою отримання заданого рівня шорсткості поверхонь і форми труби. До них можна віднести механічні та електромеханічні. За умовами експлуатації ребристих труб висуваються вимоги тільки за мінімально допустимою товщиною стінки. Більшість технологічних схем обробки внутрішньої поверхні можливо реалізувати тільки в заводських умовах.

З іншого боку, існують технологічні схеми обробки ребристих труб на місці експлуатації, але жодна з них не забезпечує розрахункового значення шорсткості поверхні. Більшість з розглянутих схем обробки не забезпечують повного видалення залишків відкладень. Тільки хімічна обробка може забезпечити повне видалення відкладень, але через високу вартість і неекологічність вона не знайшла широкого застосування.

В результаті механічної обробки, яка була розглянута вище, на поверхні залишається невеликий шар відкладень (не більш 2 мм), видалення якого таким методом впливу на поверхню є складним технологічним завданням. Оскільки ребриста труба має великі показники маси та габаритів, і транспортувати її на завод для обробки на верстаті недоцільно, виникає завдання дослідження технології і розробки обладнання для ефективної обробки з метою підвищення якості внутрішньої поверхні ребристої труби безпосередньо в межах установки, тобто на місці експлуатації.

1.4 Анодно-механічна обробка

Як було показано вище, доведення якості внутрішньої поверхні ребристої труби до оптимального стану є одним із способів підвищення корозійної стійкості та ресурсу деталі. Отримання поверхні із заданим значенням шорсткості шляхом механічної обробки на місці експлуатації є складною технологічною задачею. У зв'язку з цим виникає необхідність у розробці та застосуванні нових, більш досконалих і прогресивних технологічних способів обробки внутрішньої поверхні

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

труб із залишками твердих відкладень. До таких способів належать електрофізичні та електрохімічні методи обробки. З кожним роком вони набувають все більшого значення в промисловості і ремонтному виробництві.

Електрохімічними та електрофізичними способами обробки називають групу методів, в яких для видалення матеріалу з оброблюваної поверхні застосовується електрична енергія. Одним з таких способів є анодно-механічна обробка [12-20].

1.5 Електрохонінгування, як різновид анодно-механічної обробки

Метод електрохімічного хонінгування був запропонований С.М. Гусевим і М.М. Гусевим в 1947 році [21-22] і є різновидом способу анодно-механічної обробки. Питаннями електрохімічного хонінгування займалися також Б.В. Кан, Ю.М. Петров, С.С. Некрасов, Л.Л. Шор, І.Є. Фрагін, І.М. Верховецький, І.Д. Кейбаш та інші.

Сутність даного методу полягає в одночасному механічному зніманні припуску металу абразивним інструментом і його електрохімічному розчиненні. При цьому способі оброблювана деталь з'єднується з позитивним, а корпус хонінгувальної головки з негативним полюсом джерела постійного струму. Хонінгувальна головка, оснащена абразивними або алмазними брусками, вводиться в оброблюваний отвір. В міжелектродний зазор розміром 0,5-1,2 мм подається електроліт. В якості електроліту найчастіше використовуються водні розчини фосфорнокислих або азотних солей. На електроди подається напруга 3-30 В, а анодна щільність струму становить 0,1-10 А/см² (найбільш використовувана 0,2-1 А/см²). Інструменту повідомляється обертальний рух зі швидкістю 1-10 м/с і зворотно-поступальний рух 30-80 дв. х./хв. Питомий тиск брусків на деталь становить 0,05-0,3 МПа. В процесі обробки поверхня деталі піддається анодному розчиненню в електроліті з утворенням на ній пасивуючої плівки. Рухомий інструмент видаляє цю плівку, тим самим активуючи поверхню для подальшого розчинення. Шорсткість поверхні формується в кінці обробки за

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кілька подвійних ходів при відключеному технологічному струмові і залежить від зернистості застосовуваних брусків, як при звичайному абразивному хонінгування. Висота шорсткості зазвичай не перевищує 1,25-0,32 мкм, а середньоарифметичне відхилення профілю 0,32-0,08 мкм. Частка механічного різання в залежності від матеріалу і режиму може коливатися в широких межах – від 3-5% при обробці деталей із хромовим покриттям [23] до 40-60% при обробці сталевих і чавунних деталей [24].

Д.Є.Хоганом [25] при вивченні електрохонінгування була зроблена спроба використовувати хонінгувальні бруски в якості катоду. Але виявилися явища, що заважають процесу. Зазор між інструментом і деталлю невеликий і становить величину, рівну величині виступу зерна зі зв'язки. Такий малий зазор ускладнює доступ електроліту і видалення продуктів обробки із міжелектродного зазору. Це слугувало причиною зменшення знімання металу і погіршення якості поверхні внаслідок короткого замикання.

У роботі [26] хонінгувальні бруски також були використані в якості катода. Були отримані наступні результати при електрохонінгуванні шатунів: чистота оброблюваної поверхні на 1-2 класи вище, знімання металу в 10-12 разів більше, а питома витрата алмазів в 10-15 разів менше, ніж при алмазній обробці тих же шатунів.

В роботі [27] наводяться результати дослідження електрохімічного хонінгування японськими вченими. При обробці деталей із незагартованих сталей брусками корунду (розчин 20% NaCl + 5% NaNO₃) знімання металу становить близько 15 г/хв, висота шорсткості обробленої поверхні дорівнює $R_a=2-3$ мкм, а знос інструменту незначний. При хонінгування деталей із загартованої сталі швидкість знімання зростає в 13 разів. Висота нерівностей збільшується до 12-15 мкм і після електроабразивного хонінгування необхідно провести алмазне хонінгування.

У роботі [28] наведені результати дослідження електроалмазного хонінгування зразків із сталі 20ХНМ, цементованої та загартованої до HRC 58. У

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порівнянні з алмазним хонінгуванням знімання металу збільшилося в 2 рази, однак при електроалмазному хонінгуванні спостерігається розчинення зв'язки брусків. Як зазначають автори, при електроалмазному хонінгуванні найбільш доцільно застосовувати неструмопровідні бруски.

У роботах [18, 20, 29] пропонується схема електрохімічного хонінгування, при якій замість абразивних брусків-інструментів використовуються бруски з електронейтральних матеріалів (деревина, пластмаса та ін.), а в електроліт додаються абразивні порошки (окису хрому, алюмінію). Така схема обробки може застосовуватися і для обробки в'язких матеріалів. Чистота оброблюваної поверхні при цьому виходить досить високою. Наприклад, при обробці притирами з дерева і порошку окису хрому, зваженого в електроліті, шорсткість поверхні може досягати $R_a=0,04$ мкм.

Існує й інша схема електрохонінгування, де катодом є металева штанга, закріплена попереду хонінгувальної головки [18]. При щільності струму $0,2-2 \text{ А/см}^2$ і напрузі 6-12 В отримана швидкість знімання металу коливається в межах $0,04-0,06 \text{ мм/хв}$. Шорсткість обробленої поверхні досягає $R_a=0,8$ мкм.

Продуктивність електрохімічного хонінгування прямо пропорційна анодній щільності струму.

В роботі [30] показано, що у порівнянні зі звичайним алмазним хонінгуванням при електроалмазному хонінгуванні знімання металу збільшується для чавуну в 5 разів; сталі ШХ15 та ХВГ – в 7 разів і сталей 40Х і 45 – у 1,5-2 рази. Зміна зазору між електродами в межах $0,2-1 \text{ мкм}$ викликало коливання знімання металу всього на 12%, причому найбільше знімання було при зазорі, що дорівнює $0,6 \text{ мкм}$. Тому доцільно застосовувати хонголівки з рухомими електродами.

Значний інтерес представляють роботи з електроалмазного хонінгування [31, 32]. У цих роботах наводяться результати досліджень по вибору механічних і електричних режимів елктрохонінгування, вибору електроліту, кінетики електродних процесів.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електрохонінгування має ряд переваг у порівнянні з традиційним хонінгуванням, а саме: більшу продуктивність обробки; зменшена витрата алмазного інструменту; низький питомий тиск брусків і, як наслідок, малі залишкові деформації в поверхневому шарі.

До переваг електрохімічного хонінгування можна віднести і більш ефективне виправлення похибки форми оброблюваного отвору. Зі схеми електрохімічного хонінгування (див. рисунок 1.5 [30]) випливає, що анодна плівка видаляється лише в зоні меншого діаметру, в той час як на інших ділянках вона перешкоджає розчиненню.

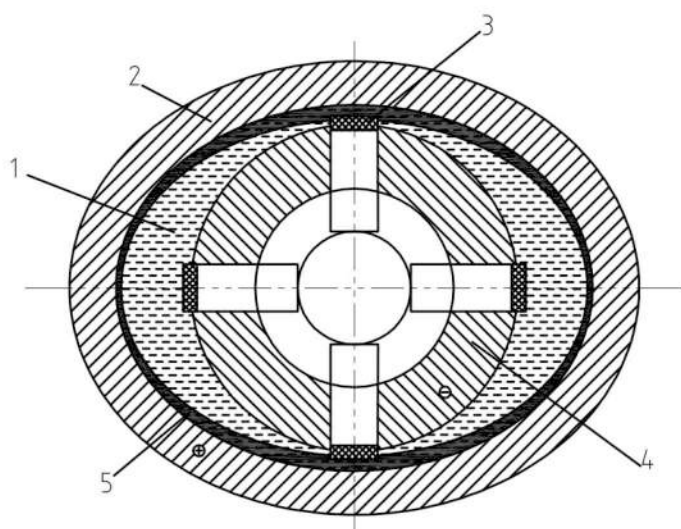


Рисунок 1.5 – Схема виправлення початкової похибки при електрохімічному хонінгуванні: 1 – електроліт; 2 – деталь (анод); 3 – струмонепровідні бруски; 4 – корпус хона (катод); 5 – пасивна плівка

Із наведеного короткого літературного огляду видно, що різні дослідники наводять суперечливі дані.

Наприклад, дослідники [33] вважають, що оптимальною коловою швидкістю інструменту при електрохімічному хонінгуванні є швидкість близько 90 м/хв., а дані роботи [34] рекомендують швидкість в межах 200-250 м/хв.

У роботі [35] вказується, що електрохімічне хонінгування раціонально проводити у два етапи з напругою 24 В і 12 В, у той час як за даними інших дослідників [36] напруга не повинна перевищувати 10 В.

Висновки до розділу 1

З вищевикладеного матеріалу випливає, що існуючі на даний момент часу технології обробки ребристих труб не дозволяють отримати оптимальну якість внутрішньої поверхні труби і видалити максимально можливу кількість залишків відкладень (видалення відкладень із западин, раковин тощо). У зв'язку з цим у роботі намічаються актуальними два напрямки. Перший напрямок пов'язаний з розробкою технологічної схеми, для забезпечення максимально можливого видалення залишків відкладень, що залишилися після механічної обробки основного шару відкладень. Для реалізації цього напрямку належить вирішити комплекс питань, пов'язаних з технологічним забезпеченням процесу обробки поверхні із залишками відкладень на місці експлуатації. Другий напрям пов'язаний з отриманням поверхні заданого значення шорсткості, що буде сприяти продовженню терміну експлуатації труб і мінімізації інтенсивності утворення відкладень під час експлуатації. Літературний огляд вказує на те, що існуючі технології обробки ребристих труб на стаціонарному обладнанні дозволяють отримувати задану шорсткість і знімати розрахунковий припуск матеріалу для видалення дефектного шару, але для виконання таких робіт на місці експлуатації труб не існує ні технології, ні обладнання для здійснення таких операцій.

Отже, **мета дослідження** – підвищення ефективності технологічного процесу обробки ребристих труб на місці експлуатації за рахунок розробки малоопераційних технологій. **Об'єктом** розробки є процес видалення твердих відкладень на внутрішній стінці ребристої труби, а **предметом** – оптимальні режимні параметри комбінованої обробки анодно-механічним хонінгуванням.

Для вирішення поставленої мети необхідно розв'язати наступні **задачі**:

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обґрунтувати можливість застосування комбінованого процесу обробки, що забезпечує ефективну обробку внутрішньої поверхні труби на місці експлуатації;
- експериментально дослідити залежності шорсткості отримуваної поверхні від призначених режимів обробки;
- розробити модель для опису технологічного процесу обробки поверхонь з діелектричним включеннями та шорсткості одержуваної поверхні від варійованих параметрів обробки;
- розробити заходи із практичної реалізації розробок.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ

2.1 Планування експерименту

Для вивчення впливу кожного окремого фактора на процес обробки і встановлення оптимальних значень режиму обробки був складений план експериментів. При вивченні впливу одного або двох факторів на той чи інший процес найкраще застосовувати дисперсійний аналіз [37]. Але в разі вивчення більшого числа впливових факторів загальна кількість можливих комбінацій значень факторів буде величезним, і, отже, зростають витрати коштів і часу.

У подібних випадках застосовують методи планування [38-40], які розподіляють чинники на більш і менш істотні, що різко скорочує кількість дослідів. Розроблений Ш.С. Маневичем квазірандомізаційний метод планування експериментів (КРМПЕ) [41] позбавлений зазначених недоліків.

Цей метод є різновидом методу статистичного дослідження Р. Фішера і передбачає розділення факторів на більш-менш істотні. Такий поділ проводиться на основі наступного судження: вплив зміни значень досліджуваного фактора, якщо він суттєвий, помічається і тоді, коли при одному певному його значенні інші імовірно істотні фактори будуть приймати різні значення. При КРМПЕ кожному фактору дається по 4 рівня і вивчається великий діапазон зміни значень факторів, а обчислення відрізняються своєю простотою.

Для втілення вищесказаного пропонується така матриця-плану, при якій кожному значенню досліджуваного фактора відповідає якомога більша частина можливих значень інших факторів. При цьому результати жеребкування весь час коригуються.

На початковому етапі складається матриця-план основної серії. Така матриця-план приведена таблиці 4.1, в якій фактори позначені через „X”, а цифри вказують на рівень варіювання.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На другому етапі проводиться основна серія дослідів згідно матриці-плану (таблиця 4.2).

Після проведення основної серії дослідів проводилась обробка отриманих результатів, методика яких описана в наступному параграфі.

Потім переходять до подальшого уточнення характеру впливу факторів шляхом постановки кількох перевірочних і контрольних серій дослідів. При проведенні перевірочних серій дослідів досліджуваного фактору надаються різні значення при незмінному оптимальному значенні інших.

При проведенні контрольної серії дослідів досліджується вплив двох найбільш істотних чинників. Матриця-план контрольної серії складається за методом центральних композиційних планів типу $3(k-p)$ на основі найбільш оптимальних результатів. Кожний з факторів варіюється на трьох рівнях.

В результаті проведення серії дослідів можна отримати функцію відгуку:

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{12}X_1X_2 + b_{11}X_1^2 + b_{22}X_2^2, \quad (2.1)$$

де b_i, b_{ji} – коефіцієнти регресії, що показують ступінь впливу факторів;

j, i – номери факторів.

2.2 Обробка результатів та точність вимірювань

Після проведення основної серії дослідів кінцеві результати для кожного фактора розділяються на 4 групи по числу значень рівнів і обчислюються середні значення контрольних показників, що визначають якість процесу.

По різниці між максимальним і мінімальним з середніх значень групи кожного фактора визначається їх істотність [41]. У більш істотних ця різниця найбільша, і навпаки.

Щоб урахувати помилку у визначенні суттєвості, викликану тим, що в деяких групах інші ще більш значущі чинники можуть випадково опинитися в більш

(менш) „вдалому” поєднанні, ніж в середньому, необхідно провести корегування. Воно здійснюється після виділення найбільш суттєвого монотонно впливаючого фактору шляхом додавання до середнього значення груп корегуючої добавки. Величина корегуючих добавок обчислюється за формулою [41]:

$$dM = \Delta M_x (X_m - X_p) / (X_{\max} - X_{\min}), \quad (2.2)$$

де dM – абсолютна величина корегуючих добавок до середнього значення критерію відповідної групи;

X_m – середнє значення рівнів, що задаються суттєвому фактору;

X_p – реальне середнє значення цього фактора для даної групи дослідів;

$X_{\max}$ – максимальне значення суттєвого фактору;

$X_{\min}$ – мінімальне значення суттєвого фактору;

ΔM_x – різниця середніх значень груп найбільш суттєвого фактора.

Якщо є декілька істотних монотонно впливаючих факторів, то послідовно здійснюється кілька корегувань по числу цих факторів. Значення X_T і X_P визначаються за формулою:

$$X_T = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4) / 4, \quad (2.3)$$

де X_1, X_2, X_3, X_4 – числові значення рівнів, що задаються суттєвому фактору.

$$X_P = (X_{1Д} + X_{2Д} + X_{3Д} + X_{4Д} + X_{5Д}) / 5, \quad (2.4)$$

де $X_{1Д}, X_{2Д}, \dots, X_{5Д}$ – дійсне значення суттєвості фактора для даної групи;

5 – кількість дослідів у цій групі.

Після проведення корегування необхідно обчислювати показники значущості окремих факторів. Обчислення починають з визначення неприведених значень показників значущості за формулою:

$$Z' = \frac{(\Delta M)_{\max}}{Y_{\max} - Y_{\min}}, \quad (2.5)$$

де Z' – неприведені значення показника значущості;

$(\Delta M)_{\max}$ – найбільша різниця середнього значення результуючого показника окремого даного фактору;

$Y_{\max}$ – максимальне значення показника всієї серії дослідів;

$Y_{\min}$ – мінімальне значення показника всі серії дослідів.

Далі обчислюється поправочний коефіцієнт K за наступною формулою:

$$K = \frac{1}{Z'_1 + Z'_2 \dots Z'_n}. \quad (2.6)$$

Виходячи з цих розрахунків наведений показник значущості:

$$Z_i = K \cdot Z'_i. \quad (2.7)$$

За значеннями показника значущості Z_i можна судити про ступінь впливу зміни окремих факторів на досліджуваний процес.

Даний мікрометраж та інші виміри оброблялися методами математичної статистики [37]. Щоб визначити закон розподілу його параметрів, статистичний ряд розділявся на інтервали і був представлений у вигляді графіка. Параметри закону розподілу визначалися за такими формулами:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (\bar{x}_i - M)^2 \cdot n_i}{n}}, \quad (2.8)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення;

$\bar{x}_i$ – середнє значення інтервалу;

n_i – число варіантів в інтервалі;

n – загальне число варіантів в ряду;

M – середньоарифметичне значення ряду;

K – число інтервалів.

Математичне очікування, m , визначається з виразу:

$$m = \frac{\sum_{i=1}^k x_i n_i}{n}. \quad (2.9)$$

Перевірка відповідності обраного закону статичному розподілу проводилась за критерієм Пірсона:

$$\chi^2 = \sum \frac{(m_i - n \cdot p_i)^2}{n \cdot p_i}, \quad (2.10)$$

де p_i – теоретична ймовірність попадання випадкової величини в інтервал;

m_i – число значень в інтервалі.

Точність вимірів оцінювалася за коефіцієнтом варіації і за найбільшою можливою помилкою. Коефіцієнт варіації, V , визначали за наступною формулою [37]:

$$V = \frac{\sigma}{M}, \quad (2.11)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення;

M – середньоарифметичне значення ряду.

Найбільша можлива помилка визначалася з наступного виразу [37]:

$$\Delta n(M) = 3\sigma. \quad (2.12)$$

Встановлення браку при вимірюванні, повторність дослідів і кількість замірів для отримання достовірних даних визначали за методикою [37] в залежності від помилки досліду, вираженої в частках від середньоквадратичного відхилення і заданої надійності. Браком у вимірі вважається наявність відхилення, який перевищує за своїм значенням 3σ . Такі виміри при подальших розрахунках не враховувалися. При заданій надійності 0,95% та найбільшій помилці досліду, рівній 3σ , необхідна трикратна повторюваність дослідів.

Похибка вимірювання лінійної швидкості електрода-інструменту визначалася за формулою:

$$\frac{\Delta V_{\text{л}}}{V_{\text{л}}} = \pm \left[\frac{\Delta l}{l} + \frac{\Delta n}{n} \right], \quad (2.13)$$

де $\frac{\Delta l}{l}$ – похибка вимірювання довжини, пройденої брусом 0,5-1%;

$\frac{\Delta n}{n}$ – похибка вимірювання зворотно-поступальних ходів електрода-інструменту 1-2%.

Загальна похибка вимірювань не перевищує 3%.

Робочі значення сили струму, напруги і зусилля притискання електрода-інструменту до деталі фіксувалися за допомогою приладів, похибка вимірювання яких не перевищує 2,5%.

Висновки до розділу 2

Наведено основні теоретичні положення стосовно планування експерименту.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Методика експериментальних досліджень

У відповідності із завданнями, поставленими вище, при виконанні роботи проводилися експериментальні дослідження з метою перевірки достовірності теоретичних передумов і встановлення характеру впливу різних факторів на процес електрохімічної обробки рухомим інструментом поверхні з діелектричним шаром.

У програму експериментальних досліджень були включені наступні питання.

1 Розробка принципової схеми експериментальної установки для анодно-механічного хонінгування поверхонь з діелектричними покриттями з метою видалення цих покриттів і підвищення корозійної стійкості.

2 Визначення меж варіювання параметрів процесу електрохімічної обробки поверхонь з діелектричним покриттям.

3 Дослідження впливу струму, оборотів, концентрації електроліту, зусилля притиску і зернистості брусків на процес обробки.

4 Дослідження впливу розглянутого способу обробки на властивості кінцевої поверхні.

Внутрішня поверхня труби піддається одночасному молекулярно-корозійного зносу і термічного впливу, співвідношення між цими параметрами може змінюватися в широких діапазонах залежно від того, в якому режимі працює установка.

Як показали численні дослідження, корозійна стійкість і швидкість утворення відкладень на теплообмінній поверхні залежать від фізико-механічних властивостей матеріалу і мікрогеометрії поверхні [5, 6, 8, 42]. Тому вивчення цих параметрів при дослідженні електрохімічної обробки абразивним інструментом є важливим завданням.

У якості цікавих для нас контрольних показників при оцінці методу електрохімічної обробки труб були використані наступні: шорсткість поверхні; питоме знімання металу; ступінь очищення поверхні.

Нами були виділені наступні фактори, що впливають на процес електрохімічної обробки з рухомим інструментом: щільність електроліту; швидкість руху інструменту; сила струму; питомий тиск електрода-інструменту на деталь; матеріал електрода-інструменту.

Експериментальні дослідження процесу електрохімічної обробки з рухомим абразивним інструментом поверхні з діелектричними включеннями проводилися у два етапи. На першому етапі були проведені попередні експерименти з метою виявлення меж варіюваних параметрів. На другому етапі проводили дослідження процесу плоскої електрохімічної обробки абразивним інструментом циліндричних зразків, виготовлених зі сталей, близьких за властивостями до сталей, з яких виготовляються труби. Були визначені межі варіювання параметрів процесу, вплив окремих чинників на процес обробки, вплив параметрів обробки на мікрогеометрію і на фізико-механічні властивості поверхні.

У якості джерела струму використовували зварювальний апарат (модель TELWIN NORDICA 3250 230/400V, рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Зварювальний апарат TELWIN NORDICA 3250 230/400V

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Унаслідок наявності у трубі великої кількості відкладень і значних відхилень форми поверхні міжелектродний проміжок постійно змінюється. Якщо використовувати нестабілізоване джерело струму, то, внаслідок зміни міжелектродного проміжку буде змінюватися щільність струму. При використанні зварювального апарату значення анодного струму завжди буде підтримуватися на заданому рівні.

У якості робочої рідини використовувався водний розчин хлориду натрію (кухонна сіль за ГОСТ 13830-84) концентрацією 10, 15, 20, 25 %. Для зміщення рівня рН у бік лужного середовища в розчин було додано невелику кількість (близько 10 г на літр розчину) силікату натрію (рідке скло за ГОСТ 13078-81). Крім того, для зниження дії пасивуючих плівок, в електроліт було додано близько 2-5 г ПАР на літр розчину.

При дослідженні плоскої електрохімічної обробки електрод-інструмент був виготовлений із алмазних брусків на мідній зв'язці (ГОСТ 25594-83) із різною зернистістю 40/28, 125/100, 315/250, 400/315 мкм.

У якості зразків були взяті відрізки труби номінальним діаметром 100 мм з сильними слідами корозії зовнішньої і внутрішньої стінок труби (рисунк 3.2).



Рисунок 3.2 – Експериментальні зразки

Обробці піддавалася внутрішня стінка труби. Дані зразки представляють найгірший варіант труб, який може зустрітися в реальних умовах. Перед обробкою

зразки промивалися проточною водою і внутрішня поверхня піддавалася очищенню металевою щіткою для видалення частини корозії, тим самим імітували процес попередньої обробки труби різцевою головкою.

Варто відзначити, що у всіх розглянутих випадках забруднення зразків становило близько 99% внутрішньої і зовнішньої поверхонь. Бруски були промиті у проточній воді, висушені промисловим феном, зважені і виміряна товщина брусків мікрометром (точністю 0,01 мм). Після обробки бруски та зразки також були промиті теплою водою, висушені і повторно виміряні.

Оброблена поверхня була розділена на геометричні фігури за принципом „є відкладення / немає відкладень”, потім були виміряні геометричні параметри кожної фігури і розрахована її площа. Після цього всі площі „чистих” фігур підсумовувалися для отримання сумарної площі обробленої поверхні.

Ступінь очищення, C , поверхні розраховувалася за формулою:

$$C = \frac{S_0}{S_q}, \quad (3.1)$$

де S_q – площа поверхні, очищеної від відкладень, см^2 ;

S_0 – загальна площа обробки, см^2 .

Питомий знос електрода-інструменту, m , г/хв., визначається за формулою:

$$m = \frac{q_0 - q_1}{T_0}, \quad (3.2)$$

де q_0 , q_1 – маса електрода-інструмента до і після обробки, г;

T_0 – час обробки, хв.

Питоме знімання металу, M , г/хв., оцінювалося кількістю металу (у грамах), знятого за одиницю часу:

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M = \frac{Q_M}{T_0}, \quad (3.3)$$

де Q_M – маса знятого металу за час обробки, г.

Потім зразки були оброблені електрохімічним способом на різних режимах. Частина зразків піддавалася додатковій механічній обробці після вимикання технологічного струму протягом різного часу для видалення з поверхні анодної плівки.

Шорсткість поверхні була виміряна за допомогою профілографа-профілометра моделі БВ-7669М (рисунок 3.3) до і після електрохімічної обробки.

Швидкість переміщення електроду-інструменту визначалася з умови, що при обробці труб на місці експлуатації неприйнятно використовувати великі швидкості інструменту зважаючи на специфіку обробки і з метою зниження динамічних навантажень на установку для обробки труб.

Значення технологічного струму визначали за допомогою струмових кліщів моделі АТК-2031 (рисунок 3.4)



Рисунок 3.3 – Профілограф-профілометр моделі БВ-7669М



Рисунок 3.4 – Струмові кліщі моделі АТК-2031

Питомий тиск електрода-інструменту на деталь P , Па, при плоскому анодно-механічному хонінгуванні визначали за формулою:

$$P = \frac{p}{F_k}, \quad (3.4)$$

де p – середнє значення зусилля притискання ЕІ до деталі, Н;

F_k – площа контакту, м^2 .

Для визначення зусилля стиснення пружин використовували електронний адгезиметр у якості динамометра (АМЦ 2-20 точність $\pm 0,01$ кг, рисунок 3.5). Для створення різних питомих тисків притиснення електрода-інструмента він притискався до електроду-деталі пружинами з різним зусиллям притискання.



Рисунок 3.5 – Адгезиметр-динамометр АМЦ 2-20

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2 Опис експериментальної установки електрохімічного хонінгування

У зв'язку зі значною трудомісткістю, тривалістю і вартістю експериментальних досліджень у виробничих умовах великий інтерес представляють лабораторні методи вивчення.

У якості об'єкту для дослідження процесу електрохімічної обробки абразивним інструментом були взяті труби з вуглецевої сталі зважаючи на їх широке використання.

В експерименті використовувалася наступна марка сталі – сталь 40, питома вага: 7820 кг/м^3 ; твердість HB 217; оброблюваність різанням в гарячекатаному стані при HB 163-168 і $\sigma_s=610 \text{ МПа}$, $K_{v \text{ тв.ст}}=1,2$ і $K_{v \text{ ш.ст}}=0,95$; схильність до відпускнуї крихкості – схильна.

Для проведення досліджень по технологічному забезпеченню заданої якості поверхні труб методом електрохімічної обробки була розроблена лабораторна установка, що реалізує процес плоского хонінгування. Прийняти подібну схему обробки плоскої замість об'ємної схеми дозволяє допущення, що форму міжелектродного зазору між внутрішньою поверхнею і поверхнею контакту абразивного бруска можна вважати плоскою. Крім того, при ЕХО важлива швидкість відносного переміщення електродів а не окремі її складові, що дозволяє виключити зворотно-поступальний рух інструмента, тобто спростити привід і скоротити витрати потужності електродвигуна. Схема установки дозволяє швидко змінювати досліджувані зразки, проводити дослідження брусків різної зернистості, а також різних складів робочих рідин.

На рисунку 3.6 а, б наведена схема експериментальної установки для електрохімічної обробки переривчастих поверхонь із діелектричними твердими включеннями.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

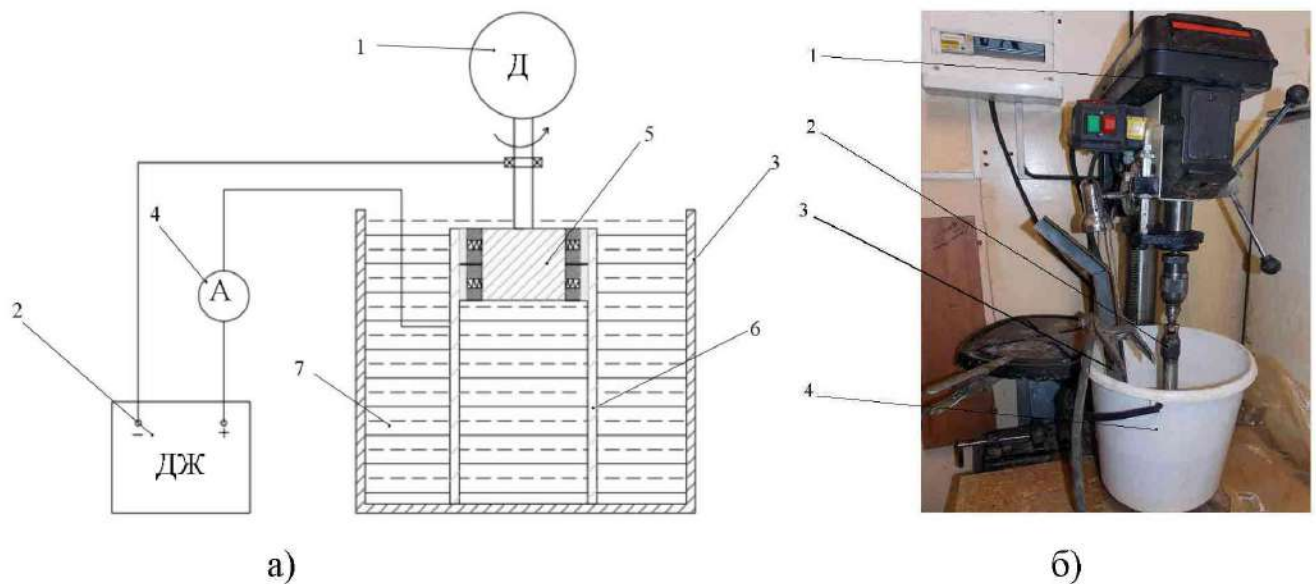


Рисунок 3.6 – Експериментальна лабораторна установка електрохімічного хонінгування: а – принципова схема: 1 – двигун; 2 – джерело струму; 3 – ємність з електролітом; 4 – амперметр; 5 – електрод-інструмент; 6 – електрод-деталь; 7 – електроліт; б – вигляд загальний: 1 – свердлильний верстат; 2 – електрод-інструмент; 3 – електрод-деталь; 4 – ємність з електролітом

Зразок 6 (рисунок 3.6, а) встановлювали у ванну з електролітом 3. В деталь вводили хонінгувальну головку 5 і за допомогою пружин створювали задане зусилля, але, оскільки внутрішня поверхня труби має відхилення форми, зусилля притискання може змінюватися в невеликих діапазонах. За допомогою регулятора на джерелі струму виставляли розрахунковий струм. За допомогою амперметра контролювали значення струму і приймали рішення про його підвищення або зниження на катоді.

В якості електрода-інструмента використовували експериментальну хонінгувальну головку (рисунок 3.7) із підпружиненими сегментами алмазного хону на діелектричній підкладці. Хонінгувальні сегменти до діелектричної підкладки кріпилися за допомогою клею.

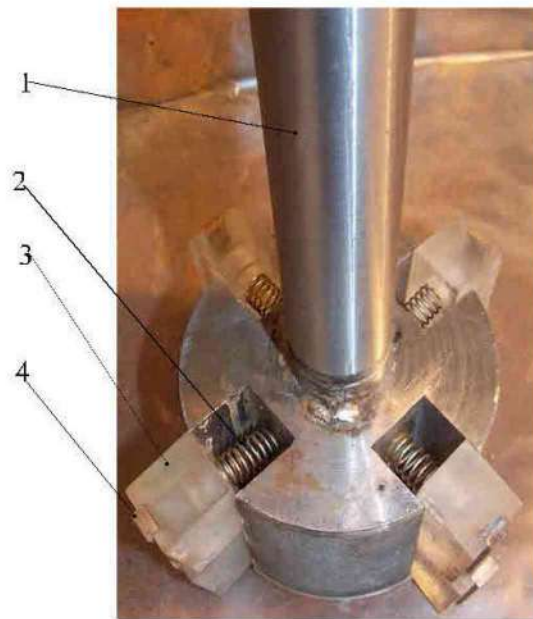


Рисунок 3.7 – Хонінгувальна головка:

1 – привідний вал; 2 – пружина; 3 – діелектрична підкладка; 4 – алмазний хон

Оброблюваний зразок був занурений у ємність з електролітом. Рівень електроліту вибирався таким чином, щоб повністю занурити увесь зразок. В процесі обробки за рахунок обертання інструменту увесь час відбувалося оновлення електроліту в міжелектродному проміжку, але ступінь оновлення електроліту була обмежена замкнутим об'ємом ємності, що цілком поєднується з реальними умовами обробки труб. В якості абразивного інструменту були обрані алмазні бруски. Для створення розрахункового значення притискання алмазний брусок притискається за допомогою набору змінних пружин з різним зусиллям стискування.

3.3 Встановлення меж варіювання факторів, що впливають на процес анодно-механічного хонінгування

Завданням дослідження є визначення оптимальних значень факторів, що впливають на процес обробки, а також максимальне видалення різного роду

включень з поверхні, отримання заданого значення шорсткості і утворення на поверхні деталі анодної плівки.

У відповідності з поставленими завданнями дослідження були проведені досліди для встановлення меж варіювання факторів, що впливають на процес анодно-механічного хонінгування.

За даними науково-технічної літератури та пошукових експериментів з великого числа чинників, що впливають на процес, у якості істотних обрані наступні: щільність електроліту – X_1 ; оберти ЕІ – X_2 ; технологічний струм – X_3 ; питомий тиск у контакті між електродами – X_4 ; зернистість брусків – X_5 .

Значення факторів попередньо встановлювалося за даними науково-технічної літератури і результатів теоретичних досліджень.

Результат експериментів оцінювався за такими критеріями:

- 1) максимальна R_{max} і середня висота нерівностей профілю Rz ;
- 2) швидкість зносу електроду-інструменту m і його відносний знос K ;
- 3) ступінь очищення поверхні C .

Протягом кожного досліду фіксувався робочий струм за допомогою струмовимірювальних кліщів.

На „м'яких” (при малих значеннях струмів і низьких концентраціях електроліту) режимах обробки видалення дефектного шару припуску відбувалося в основному за рахунок механічної обробки і незначного електрохімічного розчинення. На поверхні залишалося велика кількість іржі, обробка відбувалася тільки в тих місцях, де алмазними брусками був зруйнований шар іржі. У цих місцях значення шорсткості поверхні виходили мінімальними, а після припинення обертання інструменту відбувається утворення анодної плівки. Продуктивність обробки при цьому дуже низька. Попередні експерименти показали, що значення струму короткого замикання не слід встановлювати нижче 2 А/см^2 , а концентрацію електроліту не нижче 10%, так як при більш низьких значеннях параметрів процес обробки сильно сповільнюється, інтенсивність видалення відкладень падає і анодна плівка майже не утворюється. Підвищення щільності струму скорочує час

видалення дефектного шару і збільшує швидкість утворення анодної плівки. До збільшення продуктивності призводить підвищення обертів інструменту і збільшення притискання алмазних брусків. Але при перевищенні певного числа оборотів спостерігається ефект аквапланування, що різко знижує продуктивність електрохімічної складової обробки, а при збільшенні зусилля притискання спостерігається потрапляння брусків в різні дефектні заглиблення, що призводить до закушування інструменту і його руйнування. Попередні дані експерименту показали, що значення оборотів має бути не більше 800 об/хв, а зусилля притискання брусків не більше 0,2 МПа. Реальні значення робочих обертів і струму залежать від багатьох факторів, наприклад, тиску брусків, розмірів міжелектродного проміжку, ступеня забруднення електроліту і т.п.

При обробці труби швидкість переміщення інструмента буде складатися з швидкості поступального та обертового рухів. При плоскій електрохімічній обробці значення має сумарна швидкість переміщення електродів, а не її складові. За даними науково-технічної літератури [21, 43], при електрохімічній обробці з рухомим абразивним інструментом, розглянемо випадок електрохімічного хонінгування, при цьому бажано збільшити швидкість переміщення інструменту до 25-30 м/с. Це дає можливість збільшити продуктивність обробки за рахунок посилення механічного режиму. Але при цьому між деталлю і інструментом виникає водяний клин, так званий ефект аквапланування, що в свою чергу призводить до необхідності збільшення тиску притискання брусків, це негативно позначається на шорсткості поверхні. У зв'язку з цим надавати інструменту великі швидкості обертання недоцільно.

Однак значення меж варіювання цього фактора необхідно приймати з урахуванням можливостей наявного обладнання для виконання операцій обробки отворів на місці експлуатації. В якості основного приводу при обробці труб на місці експлуатації використовується ручна дріль із вбудованим редуктором і двома швидкостями обертання 200 об/хв і 650 об/хв. Об'єктом дослідження була обрана труба із потовщеною стінкою з номінальним внутрішнім діаметром 100 мм. З

урахуванням відкладення і відхилення внутрішньої форми труби в деяких місцях внутрішній діаметр зменшується до 97,5 мм. Беручи до уваги ці значення, отримуємо межі зміни швидкості обертання інструменту 20-65 м/хв.

Для проведення лабораторних випробувань, з урахуванням характеристик обладнання, яке буде використовуватися при обробці отворів на місці експлуатації, був створений експериментальний стенд, що дозволяє проводити електрохімічну обробку за плоскою схемою. Проведення досліджень на такому стенді дозволяє швидко змінювати досліджувані зразки, проводити дослідження з різними значеннями обертів, технологічного струму, концентрацією електроліту і зернистістю брусків. Для проведення експериментальних досліджень був спроектований і виготовлений сегментний інструмент, який дозволяє проводити дослідження з алмазними брусками різної зернистості. Використання даного стенду дозволило скоротити трудомісткість і вартість експериментальних робіт.

Для проведення експериментальних робіт з прийнятою схемою плоскою обробки використовувався настільний свердлильний верстат фірми модель Jet JDP-15T, із блоком змінних шківів, що дозволяє швидко змінювати налаштування і охоплювати широкий діапазон швидкостей обертання інструменту. Попередні експерименти показали, що застосування високих обертів шпинделя на даному експериментальному стенді небажано, так як застосування великих обертів викликає розбризкування і значне переміщення шару електроліту до стінок ємності і призводить до обробки в осушеній зоні. При цьому обробка поверхні проводиться у повітряному середовищі, що призводить до зупинки електрохімічної обробки. Для проведення дослідів був обраний наступний діапазон швидкостей обертання шпинделя 210; 320; 420; 540 об/хв, що за середнім діаметром зразка (98 мм) становить відповідно 20; 58; 31,36; 41,16; 53,92 м/хв.

Притискання хонінгувальних брусків до оброблюваної поверхні здійснювалося за рахунок пружин. Для проведення експерименту були обрані пружини з наступним зусиллям стиску 0,5; 1; 1,5; 2 кг. За даними науково-технічної літератури [21, 24] при електрохімічному хонінгуванні рекомендується

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

створювати питомий тиск алмазних брусків від 0,05-0,5 МПа. Проведені попередні експерименти показали, що при тиску від 0,025 до 0,2 МПа забезпечується стабільний процес обробки і мінімальне зусилля на привід, подальше зростання тиску є недоцільним, так як це вимагає застосування більш потужних приводів. Менші значення тиску призводять до зменшення продуктивності аж до повної зупинки процесу, оскільки інструмент не може видалити залишки відкладень і анодну плівку, яка перешкоджає електрохімічному розчиненню металу. Обробку при таких низьких значеннях тиску алмазними хонінгувальними брусками можна пояснити хорошими ріжучими здібностями алмазних зерен, які подібно зубам фрези зрізають анодну плівку і залишки відкладень, замість того щоб розчавлювати і продирати їх, як це має місце при обробці абразивним інструментом або металевим гладким інструментом.

По закінченню встановлення меж варіювання окремих факторів кожному з них задавалося по чотири значення, представлених в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Межі варіювання рівнів факторів

№	Фактори		Розмір-ність	Межі варіювання факторів		Рівні факторів			
	X	Позначення		нижній	верхній	1	2	3	4
1	X_1	γ	%	10	25	10	15	20	25
2	X_2	n	об/хв.	210	540	210	320	420	540
3	X_3	I	А	50	180	50	100	150	180
4	X_4	P	МПа	0,025	0,1	0,025	0,05	0,075	0,1
5	X_5	$3EI$	мкм	40/28	400/315	40/28	125/110	315/250	400/315

За даними науково-технічної літератури [21, 30], при електрохімічному хонінгуванні в якості матеріалу для виготовлення інструменту можна

використовувати всі струмопровідні метали: сталі, кольорові метали і сплави (мідь, алюміній, латунь, бронза тощо), тверді сплави і т.д.

Великою зносостійкістю володіють інструменти на мідній зв'язці і її сплавах. Крім того, такі інструменти дозволяють одержувати покриття з міді, як при фінішній антифрикційній безабразивній обробці, що підвищує зносостійкість обробленої поверхні. Інструменти із твердих сплавів володіють хорошою зносостійкістю, але мають велику вартість.

Алюмінієві інструменти малостійкі до механічних навантажень, стирання та електрохімічного впливу, що обумовлює їх великий знос. У якості матеріалу брусків для проведення експериментів були обрані бруски на мідній зв'язці.

Висновки до розділу 3

Розроблено методику та установку для лабораторних досліджень вивчення впливу параметрів електрохімічної обробки поверхонь із діелектричними включеннями на оціночні показники оброблюваної поверхні.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.1 Вплив факторів на процес анодно-механічного хонінгування

Згідно з прийнятою методикою проведення експериментального дослідження була складена матриця-план основної серії дослідів (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Матриця-план п'ятифакторного експерименту

Номер дослідів	Фактори				
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	1	2	2	2	2
2	2	2	2	2	2
3	3	2	2	2	2
4	4	2	2	2	2
5	2	1	2	2	2
6	2	2	2	2	2
7	2	2	1	2	2
8	2	2	3	2	2
9	2	2	3	1	2
10	2	2	3	3	2
11	2	3	3	2	1
12	2	4	4	4	1
13	2	3	3	2	1
14	1	4	4	4	2
15	1	3	3	2	3
16	1	3	2	2	4
17	1	4	4	4	4

Продовження таблиці 4.1

<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
18	4	4	4	4	4

Час обробки в усіх дослідах складав одну хвилину. Протягом кожного досліду фіксувалося робоче значення струму. Зведена таблиця результатів основної серії дослідів наведена в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати серії експериментів

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	I_p , А	R_z , мкМ	M , г/хв	C , %	m , г/хв
	γ , %	n , хв ⁻¹	I , А	p , МПа	$3EI$, мкМ					
<i>l</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>
1	10	320	100	0,05	100/125	97	12	2,15	78	0,1
2	15	320	100	0,05	100/125	97,5	12	2,13	79	0
3	20	320	100	0,05	100/125	97,3	12	2,12	78	0
4	25	320	100	0,05	100/125	97,8	11	2,14	80	0
5	15	210	100	0,05	100/125	98	15	1,8	73	0
6	15	420	100	0,05	100/125	97,9	12	2,4	80	0,1
7	15	540	100	0,025	100/125	98	13	2,2	82	0
8	15	320	150	0,05	100/125	148	10	3,1	84	0
9	15	320	150	0,025	100/125	147,9	11	2,9	82	0
10	15	320	150	0,075	100/125	148,1	10	3,46	86	0,12
11	15	420	150	0,05	40/28	148,4	18	2,84	79	0
12	15	540	180	0,1	40/28	179	15	3,1	74	0,1
13	15	420	150	0,05	40/28	179,3	16	3	73	0
14	15	320	150	0,05	40/28	181,2	18	2,4	71	0
15	10	540	180	0,1	100/125	182	7,4	4,4	90	0,12
16	10	320	150	0,05	250/315	152	12	3,7	86	0,13

Продовження таблиці 4.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
17	10	420	100	0,05	400/315	98,6	15	3,2	84	0,11
18	10	540	180	0,1	400/315	182	8	4,8	92	0,1

Аналіз поєднання рівнів факторів у кожному досліді і максимальної різниці значень контрольованих параметрів з урахуванням впливу монотонності дозволяє стверджувати, що найбільш вагомими факторами, що впливають на процес обробки, є оберти інструменту і робочий струм. Для аналізу отриманих значень були розраховані теоретичні і реальні значення факторів (таблиця 4.3).

Таблиця 4.3 – Розрахункові та експериментальні значення

γ , %	n , хв ⁻¹	$I_{розр.}$ А	p , МПа	I_p , А	$R_{z\text{ розр.}}$ мкм	$R_{z\text{ експ.}}$ мкм	$M_{розр.}$ г/хв	$M_{експ.}$ г/хв	$3EI$, мкм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
10	320	100	0,05	97	11	12	2,172	2,15	100/125
15	320	100	0,05	97,5	11	12	2,175	2,13	100/125
20	320	100	0,05	97,3	11	12	2,164	2,12	100/125
25	320	100	0,05	97,8	11	11	2,18	2,14	100/125
15	210	100	0,05	98	16	15	1,854	1,8	100/125
15	420	100	0,05	97,9	11	12	2,473	2,45	100/125
15	540	100	0,025	98	13	13	2,226	2,2	100/125
15	320	150	0,05	148	11	10	3,178	3,2	100/125
15	320	150	0,025	147,9	11	11	3,012	2,9	100/125
15	320	150	0,075	148,1	9	10	3,485	3,46	100/125
15	420	150	0,05	148,4	19	18	2,883	2,84	40/28
15	540	180	0,1	179	17	15	3,213	3,19	40/28
15	420	150	0,05	179,3	16	16	3,025	3,0	40/28

Продовження таблиці 4.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	320	150	0,05	181,2	17	18	2,389	2,4	40/28
10	540	180	0,1	182	8	7,4	4,486	4,86	100/125
10	320	150	0,05	152	11	12	3,779	3,8	250/315
10	420	100	0,05	98,6	16	15	3,287	3,21	400/315
10	540	180	0,1	182	10	8	4,889	4,85	400/315

Вплив оціночних показників від концентрації електроліту представлені на рисунках 4.1-4.3.

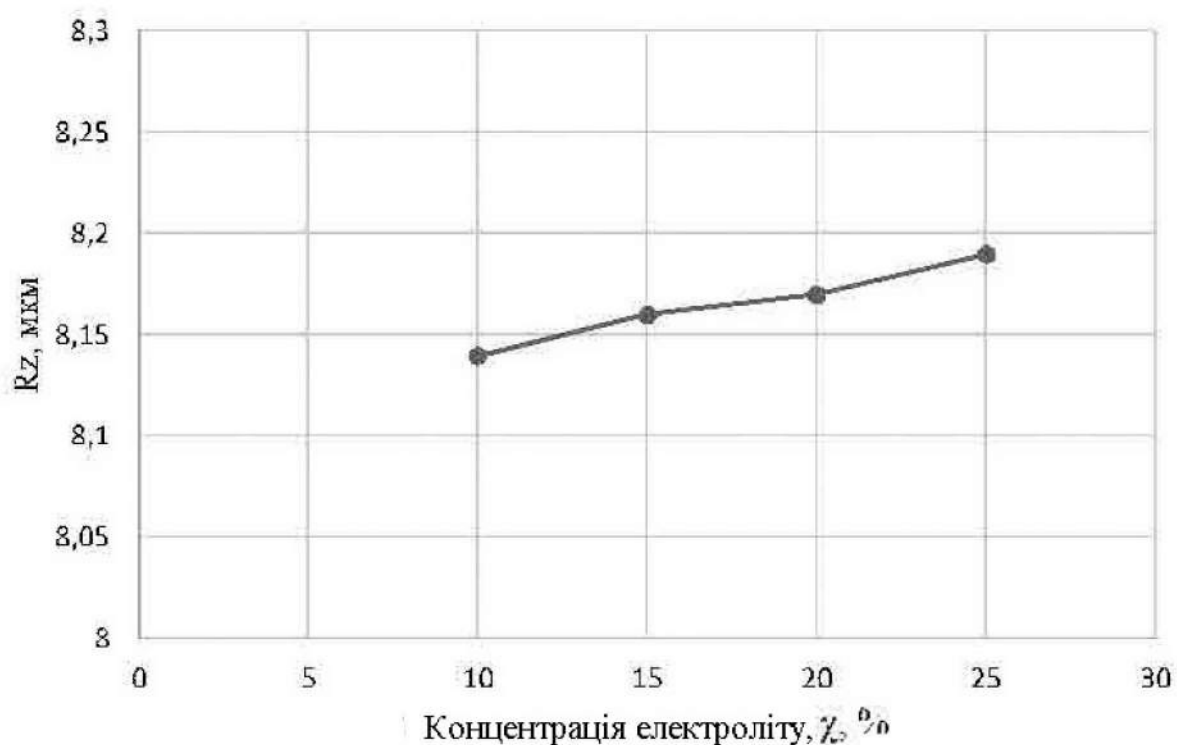


Рисунок 4.1 – Залежність шорсткості, R_z , від концентрації електроліту, χ

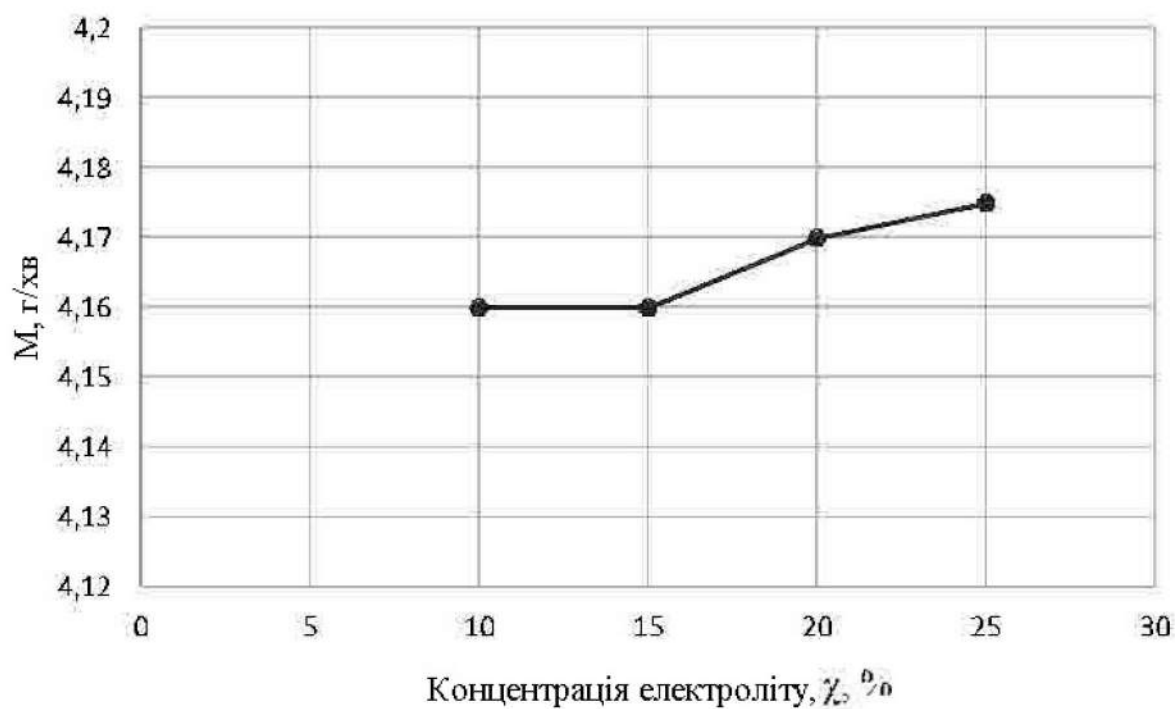


Рисунок 4.2 – Залежність величини питомого знімання металу, M , від концентрації електроліту, χ

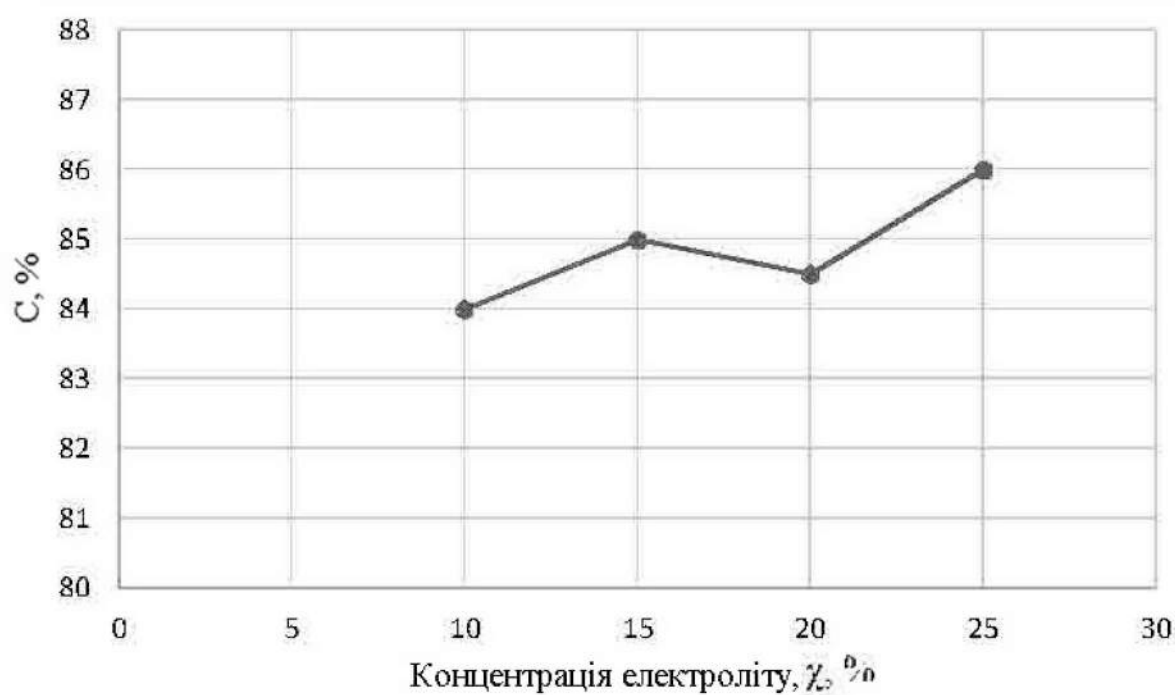


Рисунок 4.3 – Залежність ступеня очищення поверхні, C , від концентрації електроліту, χ

Як видно з рисунка 4.1, значення шорсткості поверхні залежно від концентрації електроліту практично не змінюється, всі виміряні значення знаходяться в межах точності вимірювання приладу.

На рисунку 4.2 представлений графік питомого знімання металу, тут теж не спостерігається змін знімання металу в залежності від концентрації електроліту, всі зміни в межах точності ваг

З графіка, представленого на рисунку 4.3, видно, що ступінь очищення поверхні теж змінюється несуттєво. Зміни величин на всіх трьох графіках лежать в межах точності вимірювань цих величин. З аналізу графіків можна зробити висновок, що концентрація електроліту не впливає на ці показники та є несуттєвим чинником. Тому, для економії коштів, оптимальною концентрацією електроліту є мінімальна концентрація 10%. У подальших експериментах концентрацію електроліту будемо приймати 10% і вважати за несуттєвий фактор.

Залежність оціночних показників від частоти обертання інструмента наведена на рисунках 4.4-4.6.

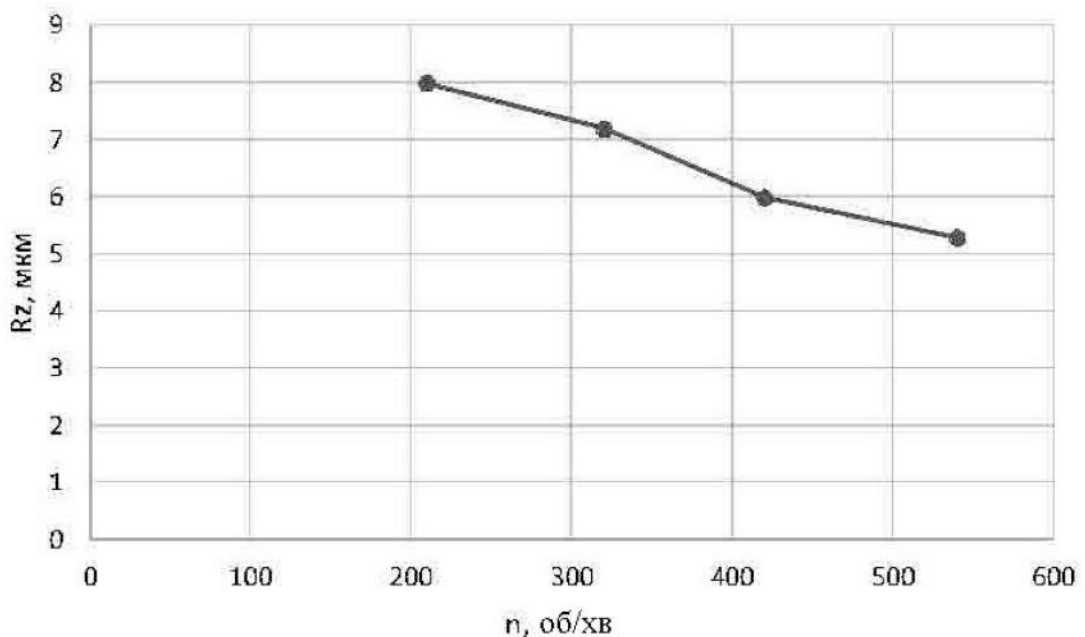


Рисунок 4.4 – Залежність середньої шорсткості, R_z , від частоти обертання інструмента, n

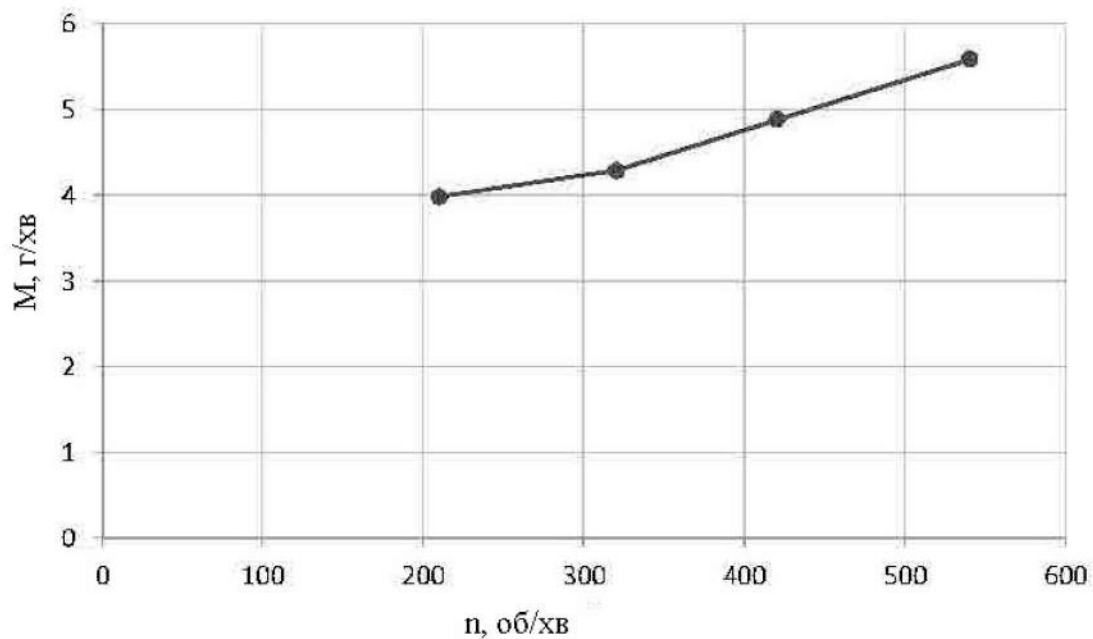


Рисунок 4.5 – Залежність величини питомого знімання металу, M , від частоти обертання інструмента, n

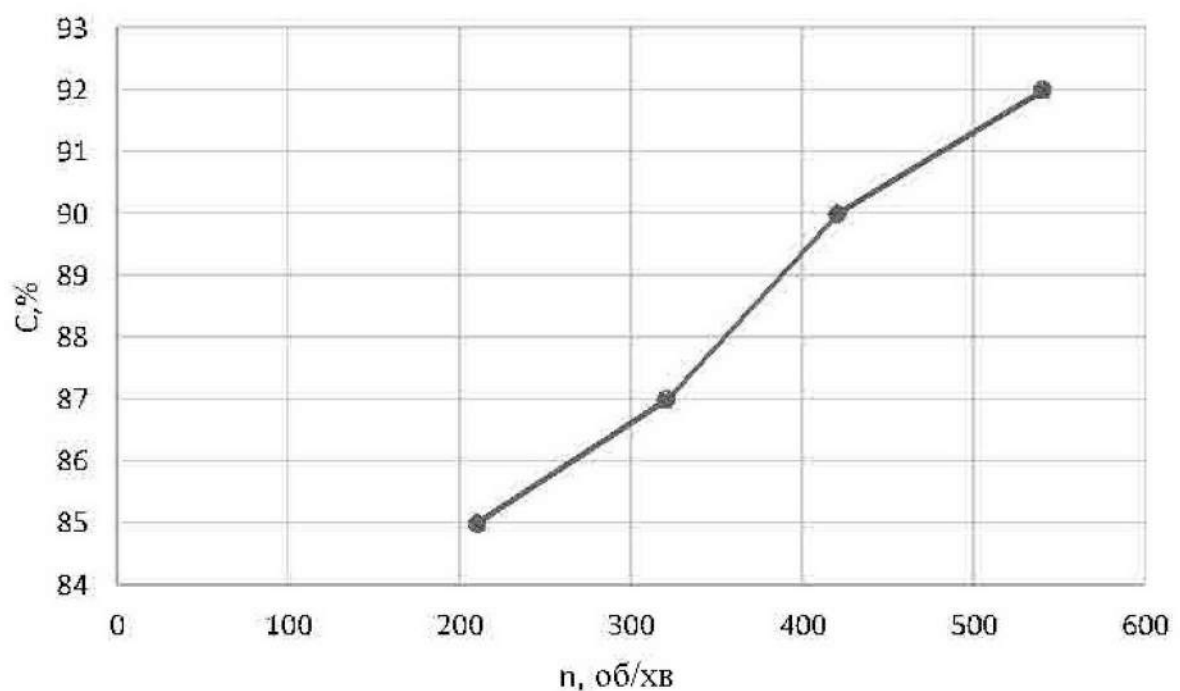


Рисунок 4.6 – Залежність ступеня очищення поверхні, C , від частоти обертання інструмента, n

З графіка, представленого на рисунку 4.4, видно, що при збільшенні числа обертів значення шорсткості падає. Це можна пояснити тим, що початкова шорсткість поверхні є дуже високою і може не піддаватися вимірюванню. При

збільшенні числа обертів збільшується механічна складова знімання металу, а отже збільшується і сумарне знімання металу, що призводить до більш швидкого видалення різних дефектів з поверхні і надання поверхні оптимального класу частоти. Відповідно, за рахунок збільшення механічної складової знімання металу збільшується сумарне знімання металу. Це наочно демонструє графік, представлений на рисунку 4.5. Також за рахунок збільшення знімання металу збільшується ступінь очищення поверхні. Однак варто зазначити, що в науково-технічній літературі зустрічаються свідчення того, що при певних швидкостях різання може відбуватися інтенсивне засалювання брусків, боротися з яким можна за допомогою збільшення або зменшення обертів. При використанні вищезгаданого діапазону оборотів засалювання брусків не спостерігалось. Варто відзначити, що алмазним брускам властиво самозаточування. Для забезпечення механізму самозаточування доцільно короткочасно посилювати механічний режим обробки. У зв'язку з вищевикладеним можна зробити висновок, що при певних параметрах обробки частота обертання інструменту є істотним чинником. При обробці поверхонь з діелектричними включеннями засалювання брусків збільшується і частота обертання в даному випадку буде істотним фактором.

На рисунках 4.7-4.9 представлені залежності оціночних факторів від технологічного струму.

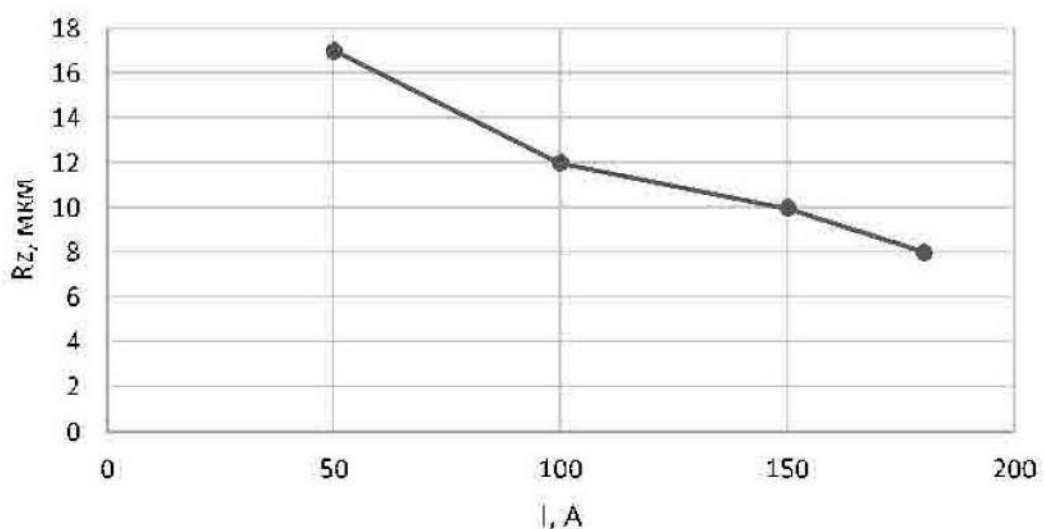


Рисунок 4.7 – Залежність середньої шорсткості, R_z , від технологічного струму, I

Як видно з наведених вище графіків, технологічний струм є найістотнішим чинником, який впливає на оціночні показники (значення шорсткості, знімання металу і ступінь очищення). На рисунку 4.7 представлена залежність шорсткості від технологічного струму: зі збільшенням струму шорсткість зменшується, хоча в ряді робіт [13, 24, 43] встановлено, що чим більше технологічний струм, тим вище шорсткість оброблюваної поверхні.

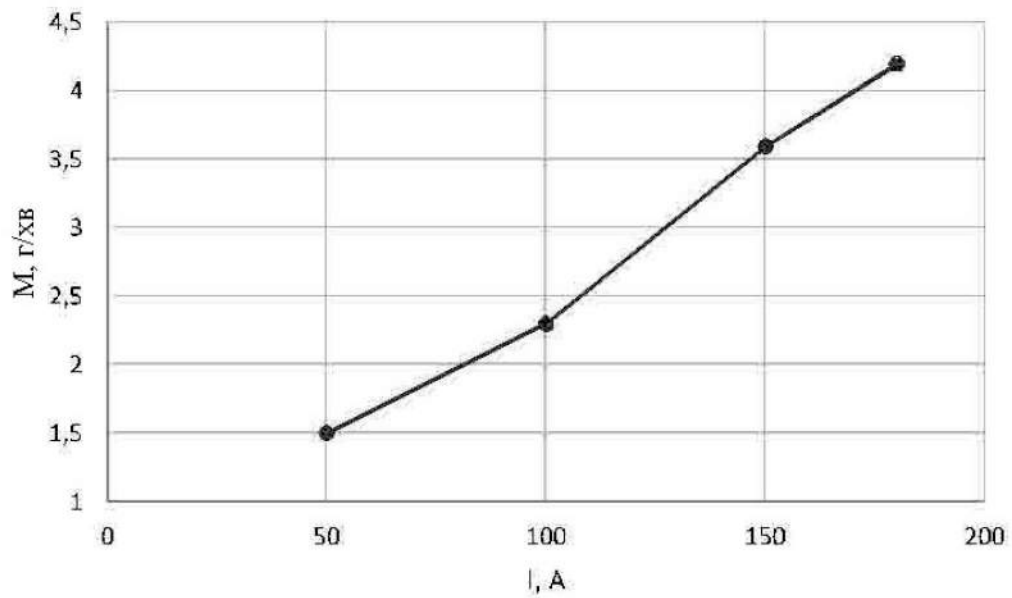


Рисунок 4.8 – Залежність величини питомого знімання металу, M , від технологічного струму, I

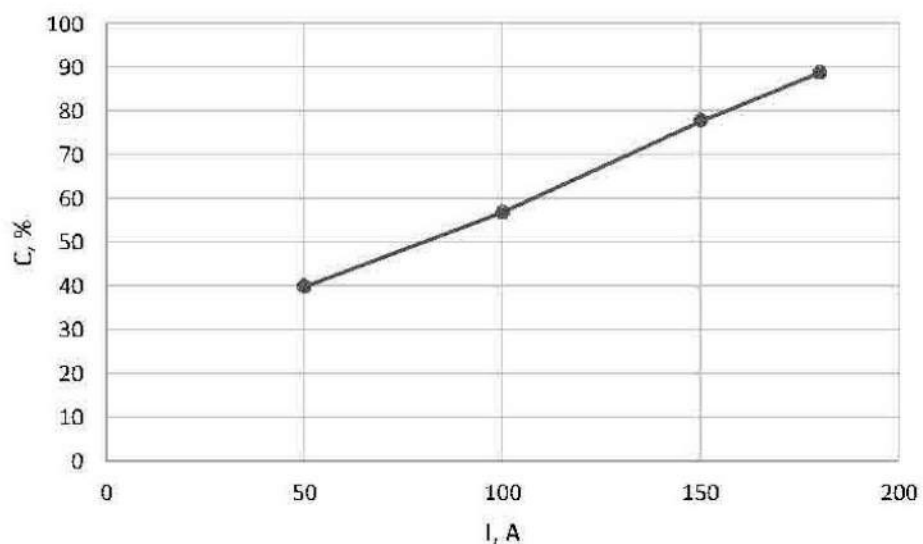


Рисунок 4.9 – Залежність ступеня очищення поверхні, C , від технологічного струму, I

У нашому випадку спостерігається зворотна картина: чим вище струм, тим менше шорсткість. Це пов'язано з тим, що початкове значення шорсткості поверхні досить велике, і для досягнення розрахункового значення необхідно зняти досить великий припуск (в деяких випадках до 2,5 мм), а при малих технологічних струмах протягом 1 хвилини обробки такого знімання не відбувається. Тому з підвищенням технологічного струму значення шорсткості поверхні поступово зменшується, досягаючи певного рівня. Якщо після розрахункового часу обробки почати зменшувати технологічний струм, то значення шорсткості буде зменшуватися.

Розглянемо графік, представлений на рисунку 4.8. Як відомо, кількість знятого металу прямо пропорційно залежить від технологічного струму. Варто відзначити, що механічна складова знімання чинить значний вплив на процес обробки тим, що видаляє діелектричні включення і сприяє рівномірному електрохімічному розчиненню металу по всій поверхні. Тобто за рахунок участі механічної складової в процесі обробки досягається досить висока ступінь очищення поверхні.

На рисунках 4.10-4.12 представлені залежності оціночних факторів від питомого тиску інструмента.

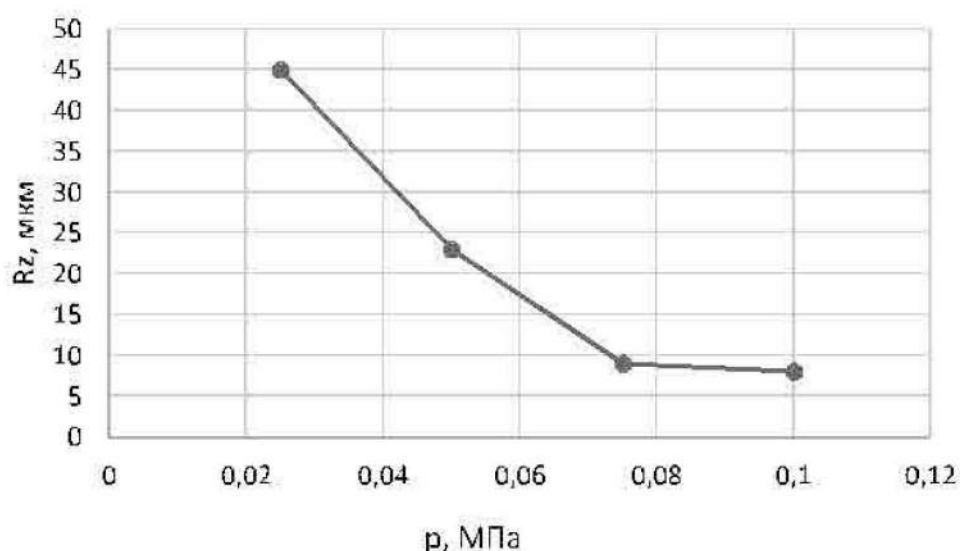


Рисунок 4.10 – Залежність середньої шорсткості, R_z , від питомого тиску інструмента, p

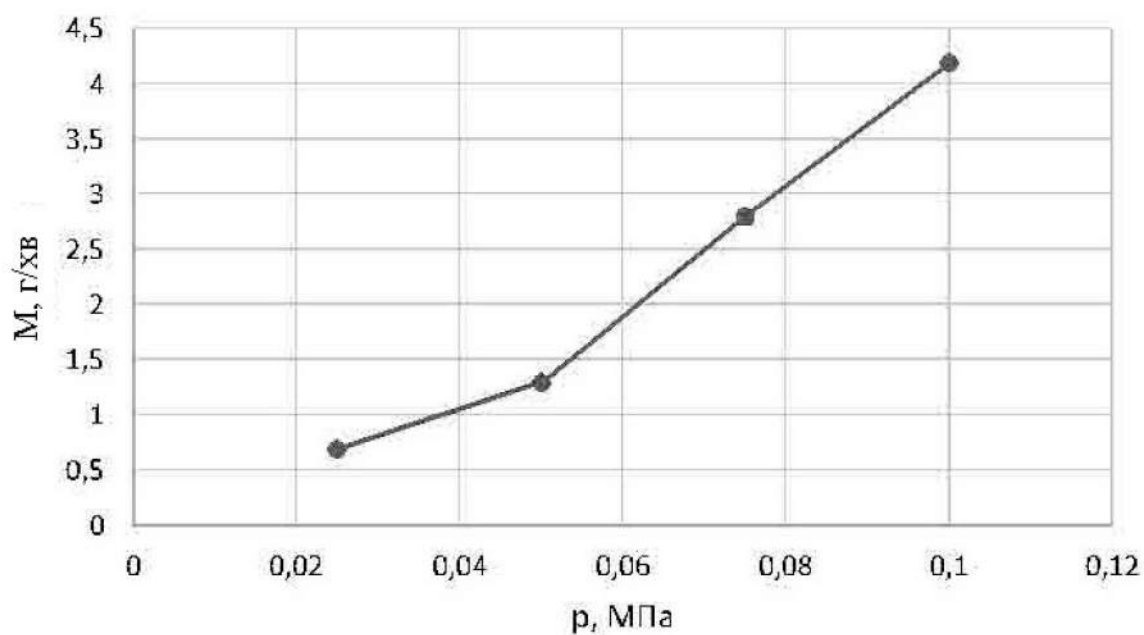


Рисунок 4.11 – Залежність величини питомого знімання металу, M , від питомого тиску інструмента, p

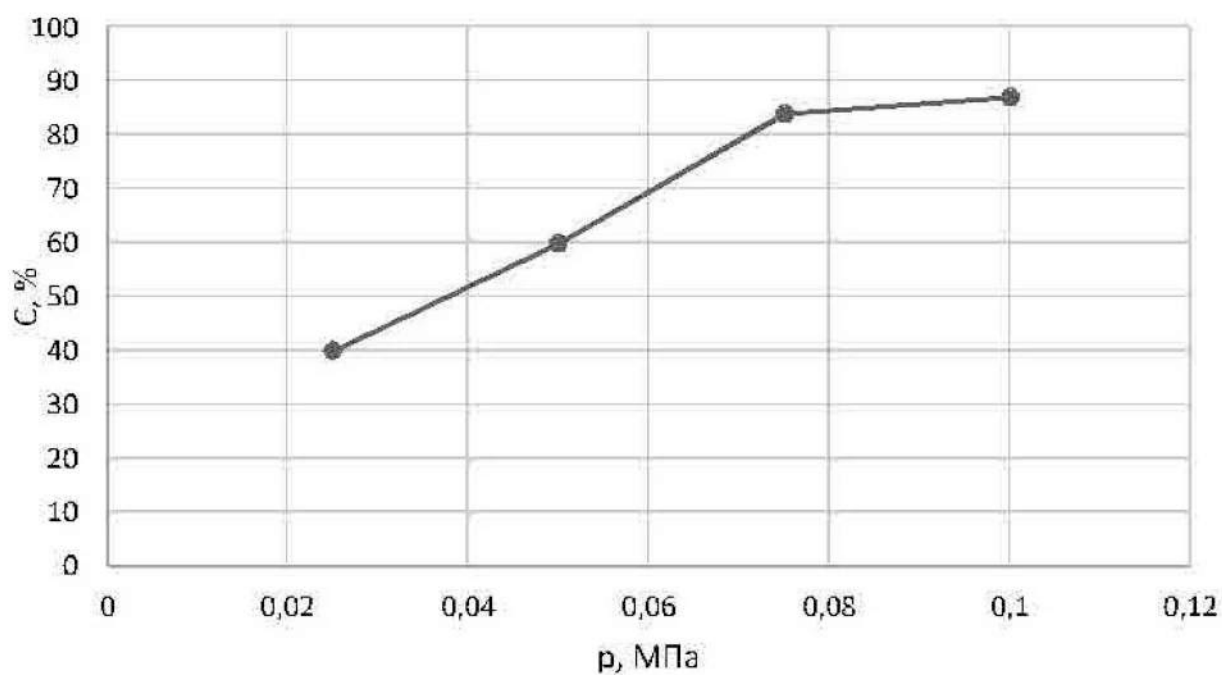


Рисунок 4.12 – Залежність ступеня очищення, C , від питомого тиску інструмента, p

Аналіз кривих показує, що питомий тиск інструменту спричиняє істотний вплив на процес знімання металу, очищення поверхні і утворення мікрорельєфу.

Це можна пояснити наступними міркуваннями: при процесі електрохімічної обробки обробка починається там, де присутній „відкритий” метал, в місцях де є діелектричні включення, обробки немає. Отже, якщо тиск інструменту буде недостатнім для руйнування цих включень, то значення шорсткості поверхні буде тільки збільшуватися, оскільки знімання металу буде спостерігатися тільки на відкритих місцях. При недостатньому тиску інструменту руйнування анодної плівки буде відбуватися повільно, що, в свою чергу, впливає на металоз’єм і ступінь очищення поверхні. У зв’язку з цим робимо висновок, що питомий тиск інструменту є істотним фактором, який впливає на процес обробки. Необхідно відзначити, що при збільшенні тиску буде відбуватися більш інтенсивне самозаточування брусків і більш інтенсивне їх зношування. Швидке зношування брусків може негативно позначатися на економічній складовій обробки. У зв’язку з тим, що внутрішня поверхня труби має значні відхилення форми, при збільшенні тиску може статися заклинювання бруска і його руйнування. З точки зору збільшення довговічності роботи установки, збільшення тиску вище оптимального є недоцільним. Експериментальні дослідження показали, що при обробці поверхонь, що мають відхилення форми, оптимальним є тиск 0,07-0,1 МПа. Подальше збільшення тиску веде до заклинювання інструменту.

На рисунках 4.13-4.15 наведені залежності оціночних факторів від зернистості брусків.

Аналізуючи вищенаведені залежності оціночних показників від розмірів основної фракції абразиву електрода інструменту, на початку кожного графіка можна помітити характерну ділянку, яка відрізняється від решти. Для цієї ділянки кривої характерний малий розмір основної фракції абразиву. У зв’язку з невеликим розміром фракції абразиву процес механічного знімання діелектричних включень і руйнування анодної плівки сповільнюється, що, в свою чергу, уповільнює процес електрохімічної обробки і, відповідно, погіршує оціночні показники.

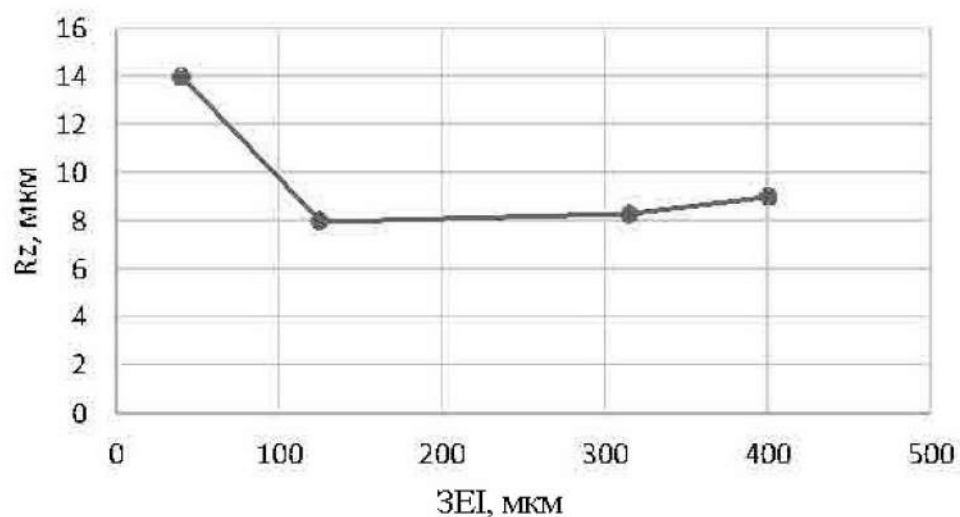


Рисунок 4.13 – Залежність середньої шорсткості, R_z , від розміру основної фракції електроду-інструмента, ZEI

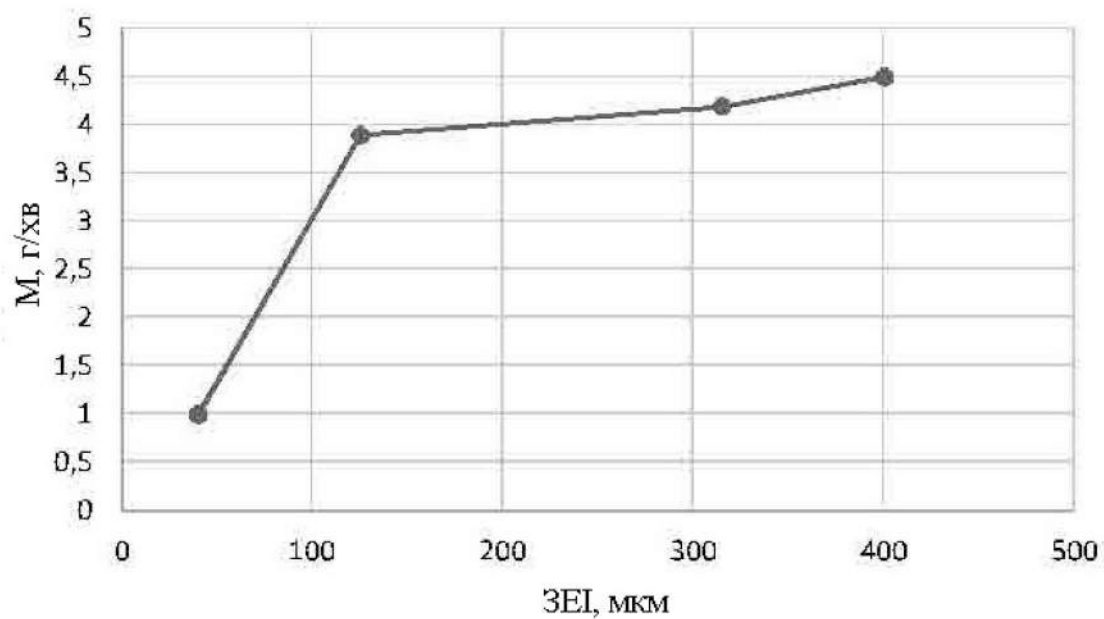


Рисунок 4.14 – Залежність величини питомого знімання металу, M , від розміру основної фракції електроду-інструмента, ZEI

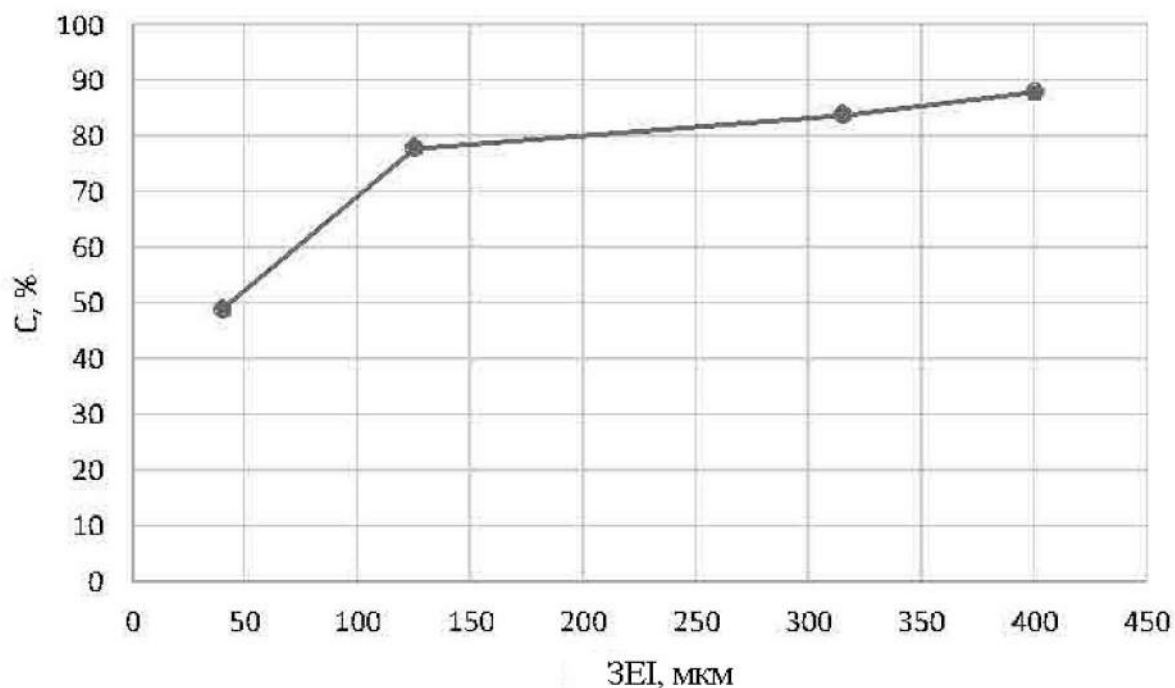


Рисунок 4.15 – Залежність ступеня очищення поверхонь, C , від розміру основної фракції електроду-інструмента, $ЗЕІ$

Даний недолік застосування брусків з малої фракцією абразивного зерна можна подолати шляхом підвищення обертів і питомого тиску, тим самим довести механічну складову знімання до прийнятного рівня. Як вже зазначалося раніше, підвищення обертів і збільшення питомого тиску вище оптимального призводить до небажаних явищ. При збільшенні розмірів основної фракції зерна спостерігається стабілізація оціночних показників та їх поступовий лінійний ріст. Це пов'язано із зростаючою складовою механічного знімання, а також з незначним зростанням електрохімічного знімання. Зростання електрохімічного знімання пояснюється тим, що при збільшенні розміру фракції зерна збільшується видалення діелектричних відкладень і руйнування анодних плівок, що призводить до інтенсифікації електрохімічного розчинення.

Висновки до розділу 4

Дослідження показали, що найбільш суттєвими факторами при електрохімічній обробці алмазними брусками є сила струму, тиск і зернистість брусків. Ці три складові мають високу кореляційну залежність, так як при зменшенні хоча б однієї зі складових значно спадає інтенсивність процесу обробки.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РОЗРОБОК

5.1 Застосування технології, що пропонується, та її безпечність

Дану технологію можна застосовувати для внутрішньої обробки поверхні отворів теплообмінного обладнання на місці експлуатації. Накладення на процес електрохімічної обробки складовою процесу знімання металу дозволяє отримувати високу чистоту поверхні $R_a \sim 1,8$ мкм і видаляти максимальну кількість відкладень. При цьому після обробки на поверхні утворюється анодна плівка, що підвищує корозійну стійкість деталей.

Технологія застосовна при обробці внутрішньої поверхні наступного технологічного обладнання: ребристі труби; теплообмінні апарати; котлове обладнання; товстостінні труби.

В залежності від виконання електрода-інструмента можлива обробка отворів діаметром від 50 до 300 мм. В якості основного електроліту краще всього використовувати нейтральні розчини солей, таких як NaCl, KNO₃ і т.п. Для інтенсифікації процесу обробки в основний розчин електроліту додається луга в кількості 1-2% від маси розчину (Na₂SiO₃) для зміщення рівня рН в лужну сторону і ПАР в кількості 0,5-1% для інтенсифікації процесу руйнування анодної плівки. При великій товщині діелектричних включень в якості електроліту можна використовувати електроліти на основі різних кислот. Застосування кислот дозволяє домогтися більш високої продуктивності обробки, але також пов'язане з технологічними труднощами і вимагає їх застосування підвищення рівня техніки безпеки та застосування обладнання та інструменту з більш дорогих матеріалів.

Для отримання якісної поверхні в якості електрода-інструменту рекомендується використовувати алмазні бруски на мідній зв'язці. При визначенні зернистості використовуваних брусків необхідно враховувати початковий стан поверхні: чим вище вихідна шорсткість і кількість відкладень, тим вище повинна бути зернистість брусків. В якості джерела струму найкраще використовувати

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зварювальний апарат з автоматичною стабілізацією струму. У таблиці 5.1 наведено оптимальні значення параметрів обробки отворів діаметром 100 мм.

У якості основного приводу пропонується використовувати ручні дрилі і з можливістю регулювання обертів. Обробку краще всього проводити на низьких обертах в цілях зниження динамічних навантажень на інструмент. Між приводом і приводним валом інструменту необхідно встановити діелектричну муфту. При обробці глибоких отворів пропонується використовувати набір нарощуваних штанг, середня довжина штанги близько 1 метру.

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри комбінованої обробки

№ з.п.	Параметр	Значення	Примітки
1	2	3	4
1	Швидкість обертання електрода-інструмента	0,35...1 м/с	В залежності від стану вихідної поверхні призначаються робочі оберти інструменту: чим менше різного роду відхилень має поверхня, тим вище можуть бути оберти інструменту
2	Питомий тиск електрода-інструмента	0,08...0,012 МПа	При значних відхиленнях форми отвори і локальних заглибленнях питомий тиск має зменшуватися з метою мінімізації можливості закушування інструменту
3	Технологічний струм	7...10 А/см ²	У початковий момент обробки технологічний струм повинен бути максимальним, потім його можна знизити

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4
4	Зернистість абразивного матеріалу	100...350 мкм	При необхідності видалення значної частини припуску матеріалу зернистість абразиву повинна бути максимальною

Для інтенсифікації процесу при обробці електроду-інструменту можна надавати невеликий осцилюючий рух. Після кожного циклу обробки рекомендується проводити візуальний контроль стану поверхні. При обробці довгих труб для забезпечення візуального контролю необхідно використовувати діагностичне обладнання.

Перед початком роботи на ділянці необхідно перевірити справність устаткування, пристосувань і інструмента, огорожень, захисного заземлення, вентиляції. Перевірити правильність складання заготовок і напівфабрикатів. Під час роботи необхідно виконувати всі правила використання технологічного устаткування, дотримуватися правил безпечної експлуатації транспортних засобів, тари і вантажопідйомних механізмів, дотримувати вказівки про безпечний зміст робочого місця. В аварійних ситуаціях необхідно неухильно виконувати всі правила, що регламентують поведінку персоналу при виникненні аварій і ситуацій, які можуть призвести до аварій і нещасних випадків. По закінченні роботи повинно бути виключене все електроустаткування, зроблене збирання відходів виробництва й інших заходів, що забезпечують безпеку на ділянці.

Також під час комбінованої (анодно-механічної) обробки необхідно дотримуватись наступних правил.

1 Електрод-інструмент і електрод-виріб повинні бути надійно ізольовані від корпусу установки.

2 Всі струмоведучі частини електроіскрових установок повинні бути недоступні для випадкового дотику до них, зокрема, електровиріб і електрод-

інструмент під час роботи повинні бути захищені від дотику за допомогою спеціального пристрою.

3 Способи підведення електропроводів до виробу та інструменту повинні виключати можливість переходу напруги на корпус верстата і ванни з рідким середовищем.

4 У конструкції повинні бути передбачені пристрої, що автоматично відключають струм живлення і розряджаючі конденсатори при операціях, що вимагають дотику працюючих до струмоведучих частин.

5 Електричні пристрої установки (конденсатори, опору, випрямлячі тощо) повинні бути забезпечені необхідним охолодженням опорів, термоізоляцією конденсаторів і надійною ізоляцією струмоведучих частин від корпусу верстата або пульта.

6 У верстатах електроіскрової дії повинно бути забезпечено надійне і безпечне перемикання режимів обробки. Перемикання повинно проводитися за допомогою рукояток, розташованих на зовнішній стороні щитка управління. Для попередження помилкових включень, що можуть призвести до аварії або нещасні випадки, повинні передбачатися відповідні блокувальні пристрої.

7 Станини верстатів і корпуси пультів керування повинні бути заземлені.

8 Електрична апаратура і проводи повинні бути захищені від впливу рідкого середовища, в якому здійснюється обробка (гас, масло тощо), і від механічних пошкоджень. Ділянка проводки між пультом керування верстатом повинна бути прокладена в міцних трубах.

9 Пересувні частини електропроводки, а також електропроводки в місцях, де прокладка в трубах утруднена, повинні виконуватися в міцних, гнучких рукавах, забезпечених ущільненням проти впливу рідкого середовища.

10 Розташування важелів і кнопок управління повинно дозволяти робочому проводити з ними всі необхідні дії легко і безпечно.

11 Установки повинні мати захист від короткого замикання.

12 Щит управління повинен бути обладнаний світловою сигналізацією, що

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попереджає про включення установки в електричну мережу і про подачу струму на розрядний контур.

13 У разі застосування при обробці легкозаймистих рідин (гас) електричні світильники місцевого освітлення повинні бути у вибухозахисному виконанні.

14 До роботи на верстатах можуть допускатися тільки особи, які мають відповідну кваліфікацію, пройшли навчання, а також інструктаж з протипожежної безпеки.

15 Під час роботи установки в приміщенні повинно знаходитися не менше двох осіб.

16 На кожному робочому місці повинен бути гумовий килимок і розрядник для зняття напруги з конденсаторів установки.

17 Кожна установка повинна мати засоби вогнегасіння за погодженням з пожежною охороною.

Ділянка повинна бути оснащена необхідними попереджувальними плакатами, устаткування повинно мати відповідне забарвлення, повинна бути виконана розмітка проїжджої частини проїздів. Сама ділянка повинна бути спланована відповідно до вимог техніки безпеки, а саме дотримання: ширини проходів, проїздів, мінімальної відстані між устаткуванням. Всі ці відстані повинні бути не менше допустимих.

5.2 Захист населення від зброї масового ураження та її вплив на довкілля

Максимальне виконання всіх захисних засобів громадянської оборони, дає змогу захистити населення від зброї масового ураження та інших сучасних засобів нападу супротивника .

До основних способів захисту населення відносяться: організація укриттів (захисних споруд), розміщення робітників та службовців підприємств, установ та організацій за межами міста, а також евакуація решти населення з цих міст.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільш надійним методом захисту від зброї масового ураження вважається укриття жителів в захисних спорудах. Розвиток ракетно-ядерної зброї та стратегічної авіації значно підвищують можливість раптового нападу. Тому терміни проведення захисних заходів можуть виявитися вкрай обмеженими. Першочерговим має бути укриття населення в місцях захисту за місцем перебування (на роботі або навчанні, в місцях постійного проживання).

Захисні споруди призначені для захисту населення від ядерної, хімічної та бактеріологічної небезпеки. А також від можливих вторинних вражаючих факторів у результаті ядерного вибуху. В залежності від захисних властивостей ці споруди поділяються на укриття та протирадіаційні укриття.

Для захисту населення в укриттях та протирадіаційних укриттях необхідно забезпечити наявність таких укриттів. Оскільки надійний захист буде забезпечено лише за умови наявності достатньої кількості споруд, що дасть змогу населенню швидко скористатися ними. Укриття та протирадіаційні укриття облаштовуються заздалегідь, в мирний час. При недостатній кількості наявних укриттів у воєнний час, при виникненні прямої загрози захоплення ворогом, швидко будують захист з готових будівельних елементів та конструкцій, цегли, бетону, лісоматеріалів. Застосовують підвальні, підземні і інші приміщення в заглибленнях. Крім цього, в такий час споруджуються прості укриття. В їх будівництві бере участь все дієздатне населення.

Укриття – це споруда, що несе функцію захисту людини від результатів ядерної зброї (ударної хвилі, світлового випромінювання, проникаючої радіації), отруйних речовин, бактеріальних засобів, високих температур і шкідливих газів в зоні пожеж. А також завалів та уламків зруйнувань при вибухах. Люди можуть знаходитися в укритті довгий час. Безпека в укритті забезпечується за рахунок міцності огорожувальних конструкцій та перекриттів. В результаті створення санітарно-гігієнічних умов в заваленому приміщенні безпечно на протязі декількох діб. Ці умови забезпечують нормальну життєдіяльність людини у випадку

зараження навколишнього середовища радіоактивними, отрутними речовинами, у випадку виникнення масових пожеж.

Найбільш розповсюдженні вбудовані укриття. Під них відводять підвальні або напівпідвальні поверхи виробничих, загальних та житлових будівель.

Будують також укриття у вигляді окремо стоячої будівлі. Вони повністю або частково заглиблені та обсіпані зверху та боків ґрунтом. Під них можуть використовуватися підземні переходи, галереї, метро. Приміщення, де мають ховатися люди, надійно герметизують, щоб не проникали небезпечні та шкідливі речовини. Це досягається шляхом збільшення щільності стін та перекриттів, закладення в них будь-яких тріщин та отворів, а також правильним облаштуванням входів.

Укриття, за правилами, повинне мати не менше двох входів, розташованих з протилежних боків. Вбудоване укриття повинне мати, крім того, аварійний вихід.

Також приміщення має бути забезпечене фільтровентиляційним агрегатом. Він забезпечує вентиляцію приміщення, очищення зовнішнього повітря від радіоактивних, отруйних речовин.

При розташуванні укриття в місцях, де є вірогідність виникнення сильної пожежі або загазованість території сильнодіючими отруйними речовинами, може бути передбачено повну ізоляцію приміщення, з регенерацією повітря в них.

Крім того, в приміщеннях укриття розміщують комплект для ведення розвідки (дозиметри прибори, прибори хімічної розвідки), захисний одяг, засоби гасіння пожеж, аварійний запас інструментів, провізії та води.

В укритті також мають бути документи, де зазначені характеристика та правила утримання його, паспорт, план, таблиць оснащення, схеми внутрішніх і зовнішніх мереж, журнал перевірки стану і тощо.

Кожні військові дії завдають шкоди навколишньому середовищу. Особливо це стосується тривалих дії на великих площах. Хоча, й короточасні збройні конфлікти також шкідливі. Умисний вплив людини на довкілля через військові дії називаються екоцидом.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На даний час найбільшим руйнівним потенціалом володіє зброя масового ураження, а саме ядерна, хімічна, бактеріологічна.

Ядерна зброя характеризується значною потужністю та різною вражаючою дією, що визначається впливом на довкілля ударної хвилі, світлового випромінювання, радіації проникнення, електромагнітного імпульсу та радіоактивного зараження.

Ударна хвиля при ядерному вибухові володіє величезною руйнівною силою. Завдаються травми незахищеним людям і тваринам, що можуть призвести до їх загибелі. При надлишковому тискові у фронті вибухової хвилі понад 50 кПа спостерігається пошкодження лісових насаджень, дерева із корінням вириваються, у людей виникає розрив внутрішніх органів, кісти переламуються.

Світлове випромінювання викликає суттєві опіки відкритих ділянок на тілі, сітківки очей. Під впливом радіації проникнення, що викликана гама-променями та нейтронами, у тварин та людей виникає променева хвороба, що може закінчитися загибеллю.

Хімічна зброя призначена для отруєння людини та довкілля за допомогою бойових отруйних речовин (газів, рідин, твердих речовин). Засоби їх застосування це ракети, міни, снаряди, бомби, розпилення з літаків. Отруйні речовини впроваджуються до трофічних ланцюгів, являючи високу токсичну небезпеку для життєдіяльності організмів.

Бактеріологічна зброя здатна викликати масові інфекційні захворювання людей, тварин чумою, холерою, сибірською виразкою тощо, навіть потрапляючи до їх організмів у доволі малій кількості. Багато бактерій утворюють спори, що можуть зберігатися у ґрунті протягом десятиліть.

Отже, ліквідація усіх видів зброї масового ураження – єдиний шлях уникнення глобальної екологічної катастрофи, пов'язаної із військовими діями.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3 Капітальні вкладення, необхідні для створення виробництва

Капітальні вкладення, необхідні для здійснення виробництва, складаються із капітальних вкладень в основні виробничі фонди $K_{\text{оф}}$ та капітальні вкладення в обігові кошти $K_{\text{ок}}$:

$$K = K_{\text{оф}} + K_{\text{ок}}; \quad (5.1)$$

Капітальні вкладення в основні виробничі фонди складаються з вартості споруд та вартості обладнання. Враховуючи те, що відновлювальні роботи відбуваються на промисловому майданчику, то вартість споруд не розраховуємо.

Загальні розміри витрат на обладнання визначають як суму вартості основного обладнання, енергетичного та підйомно-транспортного обладнання, а також засобів контролю та управління, інструментів, виробничого та господарського інвентарю. Вартість одиниці обладнання визначається за початковою (балансовою) вартістю, в яку вводять витрати на придбання обладнання, транспортно-заготівельні витрати, витрати на будівельні роботи, монтаж обладнання.

Вартість обладнання для обробки визначається прямим розрахунком. Підбір обладнання здійснюється з використанням даних, які знаходяться у “Нормативній базі експлуатації обладнання”. Результати підбору обладнання заносять у таблицю 5.2.

Вартість виробничого обладнання буде складатися із сумарної вартості контрольно-вимірювальних пристроїв та вартості обладнання для обробки деталей. Вартість КВП складає орієнтовно 1000 грн.

Вартість енергетичного обладнання у цеху можна прийняти рівною 6%, підйомно-транспортного обладнання – 10%, засобів контролю та керування – 15%, інструментів та пристроїв – 12% та господарського і виробничого інвентарю – 5% від загальної вартості виробничого обладнання.

					KPM.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.2 – Обладнання

Найменування		Модель	Р, кВт	Балансова вартість, грн.	К-ть	Робітників, чол.	Зайнято робітників, чол. в 2 зм.
Установка електро- механічної обробки	Ручна дріль із можливістю регулю- вання обертів	Bosch GSB 19-2	0,85	3000	1	1	2
	Зварювальний апарат з автома- тичною стабіліза- цією струму	TELWIN NORDICA 3250 230/400V	4,2	2500	1		
Усього (для обробки)		5500			2	1	2
Усього (виробниче обладнання)		6500			2	1	2

Для подальших розрахунків у цьому ж розділі доцільно буде визначити і розміри річних амортизаційних відрахувань на кожний вид основних фондів. Розмір амортизаційних відрахувань розраховується згідно з діючими затвердженими нормами амортизаційних відрахувань. Отримані результати заносяться до таблиці 5.3.

$$C_{\text{енерг}} = 0,06 \cdot 6500 = 390 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{пто}} = 0,1 \cdot 6500 = 650 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{зак}} = 0,15 \cdot 6500 = 975 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{ін}} = 0,12 \cdot 6500 = 780 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{гві}} = 0,05 \cdot 6500 = 325 \text{ грн.}$$

Для подальших розрахунків у цьому ж розділі доцільно буде визначити і розміри річних амортизаційних відрахувань на кожний вид основних фондів. Розмір амортизаційних відрахувань розраховується згідно з діючими затвердженими нормами амортизаційних відрахувань. Отримані результати заносять у таблицю 4.2.

$$AB = H_{AB} \cdot 3B; \quad (5.2)$$

де AB – амортизаційні відрахування;

H_{AB} – норма амортизаційних відрахувань;

3B – залишкова вартість;

$$H_{AB} = \left(1 - \sqrt[p]{\frac{ЛВ}{ПВ}}\right) \cdot 100\%; \quad (5.3)$$

де ЛВ – ліквідаційна вартість;

ПВ – первісна вартість;

p – кількість років.

Корисний термін використання для будівель становить 20 років, для обладнання – 5 років, підйомно-транспортного обладнання – 6 років, засобів контролю – 3 роки, інструменту – 4, інвентарю – 6 років.

Ліквідаційне сальдо для будівель становить 2 %, для обладнання цеху – 6 %, підйомно-транспортного обладнання – 4 %, засобів контролю – 12 %, інструменту – 5 %, інвентарю – 5 % .

Для обладнання амортизаційні відрахування становлять:

$$ЛВ = 0,06 \cdot 6500 = 390 \text{ грн.};$$

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{AB} = (1 - \sqrt[5]{\frac{390}{6500}}) \cdot 100 = 43\%;$$

$$AB = 0,43 \cdot 6500 = 2795 \text{ грн.}$$

Для підйомно-транспортного обладнання амортизаційні відрахування становлять:

$$ЛВ = 0,04 \cdot 650 = 26 \text{ грн.};$$

$$H_{AB} = (1 - \sqrt[6]{\frac{26}{650}}) \cdot 100 = 42\%;$$

$$AB = 0,42 \cdot 650 = 273 \text{ грн.}$$

Для засобів контролю амортизаційні відрахування становлять:

$$ЛВ = 0,12 \cdot 975 = 117 \text{ грн.};$$

$$H_{AB} = (1 - \sqrt[3]{\frac{117}{975}}) \cdot 100 = 50,7\%;$$

$$AB = 0,507 \cdot 975 = 494 \text{ грн.}$$

Для інструментів та приладів амортизаційні відрахування становлять:

$$ЛВ = 0,05 \cdot 780 = 39 \text{ грн.};$$

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_{AB} = (1 - \sqrt[4]{\frac{39}{780}}) \cdot 100 = 52,7\%;$$

$$AB = 0,527 \cdot 780 = 411 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.3 – Основні фонди та їх амортизація

Найменування груп основних фондів	Вартість основних фондів, грн.	Норма амортизаційних відрахувань, %	Річні амортизаційні відрахування, грн.
1. Будівлі, всього	-	5	-
2. Підйомно-транспортне обладнання	650	42	273
3. Обладнання, всього	6500	43	2795
4. Засоби контролю та керування	975	50,7	494
5. Інструменти та прилади	780	52,7	411
6. Господарський інвентар	325	40	130
Всього:	9230	-	4103

Для господарського інвентарю амортизаційні відрахування становлять:

$$ЛВ = 0,05 \cdot 325 = 16,3 \text{ грн.};$$

$$H_{AB} = (1 - \sqrt[6]{\frac{16,3}{325}}) \cdot 100 = 40\%;$$

$$AB=0,4 \cdot 325=130 \text{ грн.}$$

Для будівель амортизаційні відрахування не визначаємо, т.я. обробка виконується на відкритому майданчику.

Капітальні вкладення в обігові кошти визначаються діленням суми коштів, що витрачаються на випуск продукції, на коефіцієнт обертання обігових коштів, який приймається за 3-5 обертів у рік.

Відповідно до цього:

$$K_{ок} = C_T/4 \quad (5.4)$$

$$K_{ок} = 346850/4 = 86713 \text{ грн.}$$

Капітальні вкладення необхідні для здійснення виробництва:

$$K = 9230 + 86713 = 95943 \text{ грн.}$$

Висновки до розділу 5

У даному розділі було надано рекомендації щодо практичної реалізації розробок із точки зору безпеки праці, захисту довкілля та капітальних вкладень у виробництво.

					КРМ.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Отже, відповідно до отриманого завдання на кваліфікаційну роботу здобувача вищої освіти та за результатами її виконання зроблено наступні висновки.

1 Проведено аналіз технологічних процесів, що реалізуються на практиці обробки ребристих труб на місці експлуатації. Встановлено, що існуючі технологічні процеси не забезпечують заданого значення шорсткості і повного видалення залишків відкладень. При аналізі літературних джерел не було знайдено технології, що дозволяє проводити обробку внутрішньої поверхні труб на місці експлуатації з отриманням поверхні із заданим значенням шорсткості. Були розглянуті різні методи комбінованої обробки металів і підібраний метод електрохімічної обробки з рухомим інструментом для його застосування на місці експлуатації. Розроблений технологічний процес обробки ребристих труб на місці експлуатації, що забезпечує задане значення шорсткості і максимальне видалення залишків відкладень. Встановлено, що при механічній обробці із накладанням електрохімічного процесу підвищується якість поверхні і знижується значення шорсткості. В основному це забезпечується за рахунок електрохімічної складової обробки.

2 Дослідження за розробленою моделлю поверхні деталей, оброблених з накладанням електрохімічного процесу, показали, що при малій глибині дефектів відбувається видалення діелектричних включень.

3 На підставі аналізу та узагальнених результатів досліджень дані рекомендації з розробки та практичного застосування технології при обробці труб на місці експлуатації діаметром від 50 до 300 мм. Розроблені практичні рекомендації щодо вибору раціональних режимів обробки, характеристик ріжучого інструменту і електрохімічного процесу для забезпечення заданої якості поверхні і максимального видалення залишків відкладень.

4 Надано рекомендації щодо практичної реалізації розробок.

					KPM.133ГМмд_21.02.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		