

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

### Відновлення робочої поверхні пластинчастого насосу плазмовим напиленням

Рівень вищої освіти: перший бакалаврський  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Відновлення і технічний сервіс автомобілів

Шифр: КРБМТВА 26. 22097. 000 ПЗ

Виконав: студент 4 курсу,  
група МТВА-22-1



Максим ОДЗЕМОК

Керівник, д.т.н., професор



Олександр ДИХА

Нормоконтролер, к.т.н., доцент



Олег БАБАК

До захисту допускаю:  
завідувач кафедри ТАМ



Олександр ДИХА

15 06 2026 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра: трибології, автомобілів та матеріалознавства  
Рівень вищої освіти: перший бакалаврський  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 132 Матеріалознавство  
Освітня програма: Відновлення та технічний сервіс автомобілів

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ТАМ  
Олександр ДИХА

" 15" квітня 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Одземок Максим Олександрович

1. Тема роботи: **Відновлення робочої поверхні пластинчастого насосу плазмовим напиленням**

Керівник роботи: Диха Олександр Володимирович, д.т.н., проф.

Затверджено наказом університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Строк подання студентом роботи на кафедру: 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи:

- 1) Дані про будову пластинчастих насосів
- 2) Технічні умови виготовлення ремонту гідравлічних машин
- 3) Матеріали переддипломної практики.
- 4) Нормативно – технологічна документація
- 5) Результати літературного огляду і патентного пошуку.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1 Аналіз конструкції пластинчастих насосів
2. Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту деталей насосу
- 3 Технологія відновлення і підвищення зносостійкості деталей вузла тертя
4. Проектування технологічного оснащення
5. Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного різними технологіями

### 5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання: 20 квітня 2026р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз конструкції пластинчастих насосів	1.05.2026	
2	Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту деталей насосу	15.05.2026	
3	Технологія відновлення і підвищення зносостійкості деталей вузла тертя	30.05.2026	
4	Проектування технологічного оснащення	10.06.2026	
5	Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного різними технологіями	12.06.2026	

Студент



Одземок МАКСИМ

Керівник кваліфікаційної роботи



Олександр ДИХА

## РЕФЕРАТ

Обсяг пояснювальної записки – 72 сторінок, кількість рисунків - 24, таблиць - 7, додатків - 1, кількість джерел згідно із переліком посилань - 10.  
Студент гр. МТВА-22-1 Одземок М.О.





**Тема «Відновлення робочої поверхні пластинчастого насоса плазмовим напиленням»**

У кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення зносостійкості та відновлення працездатності деталей пластинчастого насоса. Проведено аналіз умов роботи пари тертя «пластина – статор» та визначено основні механізми зношування, серед яких домінують контактно-втомне та абразивне руйнування. Виконано порівняльний аналіз сучасних методів відновлення деталей, зокрема дугової металізації, електролітичного хромування та плазмового напилення. Обґрунтовано доцільність застосування плазмового напилення як ефективного способу формування зносостійких покриттів для внутрішніх поверхонь. Розроблено технологічний процес відновлення, що включає підготовку поверхні, нанесення покриття та фінішну механічну обробку. Виконано розрахунок припусків і визначено режими обробки. Очікується, що впровадження запропонованої технології дозволить підвищити ресурс деталі та покращити експлуатаційні характеристики насоса.

**Ключові слова:** пластинчастий насос, зношування, відновлення деталей, плазмове напилення, зносостійкість, пара тертя, поверхнева інженерія, механічна обробка

## Зміст

<b>ВСТУП .....</b>	<b>6</b>
<b>1 Аналіз конструкції пластинчастих насосів.....</b>	<b>8</b>
1.1 Аналіз конструкцій пластинчастих насосів та їх технічного стану.....	8
1.2 Аналіз видів зношування деталей пластинчастого насосу.....	18
1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості.....	20
<b>2 Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту деталей насосу.....</b>	<b>24</b>
2.1 Технічне обслуговування агрегату.....	24
2.2 Технологія поточного ремонту.....	26
2.3 Розробка конструкцій необхідних пристосувань.....	29
<b>3 Технологія відновлення і підвищення зносостійкості деталей вузла тертя.....</b>	<b>34</b>
3.1 Вибір методу підготовки поверхні під відновлення, відновлення та режими підготовки і відновлення поверхні.....	34
3.2 Вибір і обґрунтування методу відновлення поверхні.....	35
3.3 Розробка технологічного процесу відновлення деталі.....	38
3.4 Вибір методів підготовки поверхні під відновлення.....	44

					<b>КРБМТВА 26. 22097. 000 ПЗ</b>					
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Відновлення робочої поверхні пластинчастого насосу плазмовим напиленням			Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.	Одземок							4	70	
Перевір.	Диха							ХНУ, гр. МТВА-22-1		
Н.контр.	Бабак									
Затвер	Диха									

3.5 Розрахунок та вибір режимів обробки і відновлення поверхні.....	46
<b>4 Проектування технологічного оснащення.....</b>	<b>51</b>
<b>5 Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного різними технологіями.....</b>	<b>53</b>
5.1 Постановка задачі випробувань зносостійкості.....	53
5.2 Матеріали пари тертя: пластина – статор.....	58
5.3 Визначення навантаження на пластини.....	60
5.4 Визначення середнього контактного тиску.....	62
5.5 Лабораторні випробування пар тертя.....	64
Висновки.....	70
Література.....	71
Додатки.....	72

## Вступ

Сучасний розвиток машинобудування висуває підвищені вимоги до надійності, довговічності та економічності роботи машин і механізмів. Особливо це стосується гідравлічних систем, які широко застосовуються в транспортній техніці, промислового обладнанні та мобільних машинах. Одним із ключових елементів таких систем є пластинчасті насоси, від працездатності яких значною мірою залежить ефективність функціонування всієї гідросистеми.

У процесі експлуатації деталі пластинчастих насосів працюють в умовах інтенсивного тертя, змінних навантажень та впливу робочого середовища, що призводить до їх поступового зношування. Найбільш навантаженими є контактні поверхні пари тертя «пластина – статор», де реалізуються складні механізми зношування, зокрема контактно-втомний та абразивний. Це зумовлює зниження продуктивності насоса, погіршення його робочих характеристик і, як наслідок, необхідність ремонту або заміни деталей.

В умовах сучасного виробництва важливого значення набувають технології відновлення деталей, які дозволяють не лише повернути їх до працездатного стану, але й підвищити експлуатаційні властивості. Одним із перспективних напрямів є застосування зносостійких покриттів, зокрема отриманих методами газотермічного напилення. Серед них плазмове напилення відзначається високою ефективністю, можливістю локального нанесення та забезпеченням високих фізико-механічних характеристик покриття.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення технології відновлення деталей пластинчастих насосів із використанням сучасних методів поверхневої інженерії.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

**Метою роботи** є підвищення зносостійкості та ресурсу деталі пластинчастого насоса шляхом розробки ефективної технології її відновлення з використанням плазмового напилення.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати умови роботи та характер зношування деталі, визначити основні механізми її руйнування;
- виконати порівняльний аналіз методів відновлення та обґрунтувати вибір раціональної технології;
- розробити технологічний процес відновлення деталі, включаючи підготовку поверхні, нанесення покриття та фінішну обробку;
- оцінити ефективність запропонованої технології з точки зору підвищення довговічності та можливості практичного застосування.

Таким чином, виконання даної роботи спрямоване на вирішення актуальної інженерної задачі підвищення ресурсу деталей гідравлічних машин шляхом застосування сучасних технологій відновлення.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1 Аналіз конструкції пластинчастих насосів

## 1.1 Аналіз конструкцій пластинчастих насосів та їх технічного стану

Проблеми підвищення надійності та довговічності гідравлічних машин, зокрема пластинчастих насосів, залишаються актуальними в сучасному машинобудуванні. Як зазначено в роботах , інтенсивне зношування робочих поверхонь є основною причиною зниження ефективності таких агрегатів, що обумовлює необхідність застосування сучасних методів відновлення.

Дослідження, наведені в працях Chan та Stachowiak, свідчать, що основними механізмами руйнування у вузлах тертя є абразивне, адгезійне та контактнo-втомне зношування. При цьому особливу роль відіграє стан поверхневого шару, який визначає інтенсивність деградаційних процесів. Аналогічні висновки підтверджуються в класичних роботах з трибології, де підкреслюється залежність зносу від контактних напружень, шорсткості та умов змащування.

У дослідженнях Holm показано, що електричні та теплові явища в контактах можуть додатково впливати на знос, особливо у випадку струмопровідних елементів. Це має важливе значення для аналізу трибосистем із комбінованим навантаженням.

Питання підвищення зносостійкості деталей широко розглянуті в роботах, присвячених поверхневій інженерії. Зокрема, застосування газотермічних покриттів дозволяє значно підвищити ресурс деталей за рахунок формування шару з високою твердістю та стійкістю до зношування. Як зазначають Pawlowski та інші дослідники, плазмове напилення є одним із найбільш ефективних методів нанесення функціональних покриттів.

У роботах Davis підкреслюється, що властивості покриттів визначаються не лише їх складом, але й параметрами процесу напилення: температурою,

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкістю частинок і ступенем окислення. Це узгоджується з результатами сучасних досліджень, де показано, що контроль мікроструктури покриття є ключовим фактором забезпечення його довговічності.

Значна увага приділяється також питанням адгезії покриттів. Дослідження показують, що якість підготовки поверхні є критичним чинником, який визначає міцність зчеплення. Використання абразивної або шліфувальної обробки дозволяє сформувати оптимальний мікрорельєф, що забезпечує механічне закріплення покриття.

Окремий напрям досліджень пов'язаний із порівнянням різних методів відновлення. Електролітичне хромування забезпечує високу твердість і зносостійкість, однак має обмеження з точки зору екології та локального нанесення. Дугова металізація характеризується високою продуктивністю, але має обмеження при обробці внутрішніх поверхонь. У цьому контексті плазмове напилення розглядається як найбільш універсальний і технологічно гнучкий метод.

Сучасні дослідження також спрямовані на математичне моделювання процесів зношування. Використання чисельних методів, зокрема методу скінченних елементів, дозволяє прогнозувати напружено-деформований стан контактних зон та оцінювати довговічність деталей.

Таким чином, аналіз літературних джерел показує, що підвищення ресурсу деталей пластинчастих насосів досягається комплексним підходом, який включає вибір оптимальних матеріалів, удосконалення конструкції та застосування сучасних технологій відновлення, серед яких найбільш перспективним є плазмове напилення.

Пластинчасті гідромашини мають відносно просту конструкцію, досить надійні, довговічні і малошумні, завдяки чому вони знаходять дуже широке застосування гідроприводах металорізальних верстатів з помірним тиском до 150 МПа. За кількістю циклів роботи за один оберт вала розрізняють

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Опори ротора виконані у вигляді підшипників ковзання, що встановлені в розподільчих дисках. Обертання ротора забезпечується через шліцьове з'єднання з приводним валом 17, який опирається на кулькові підшипники 16 і 23.

У передньому розподільчому диску виконані серпоподібні вікна 13 і 18, геометрія яких забезпечує безперервне сполучення робочих камер із всмоктувальною магістраллю під час збільшення їх об'єму та з нагнітальною – при його зменшенні.

Притискання пластин до внутрішньої поверхні статора здійснюється за рахунок тиску робочої рідини, що підводиться до їх торців через отвори 12 і 19, з'єднані каналами з відповідними гідролініями. Задній диск 24 має плаваючу конструкцію та оснащений кільцевою порожниною 20, яка сполучається з напірною магістраллю і обмежена шайбою 22 та ущільнювальними кільцями 21.

У процесі роботи насоса тиск у кільцевій порожнині створює осьове зусилля, яке забезпечує ущільнення і притискання робочих елементів. Пластини під дією відцентрових сил і тиску рідини притискаються до ексцентрично розташованої внутрішньої поверхні статора. Максимальне значення ексцентриситету обмежується упором 3, до якого статор підтискається пружиною 9 регулятора тиску. До складу регулювального механізму також входять штовхач 8 і регулювальний гвинт 10.

Серпоподібні вікна розміщені асиметрично відносно горизонтальної осі і зміщені в напрямку обертання ротора. У результаті цього сила тиску рідини, що діє на внутрішню поверхню статора, має складову  $R$ , яка зміщує статор у бік зменшення подачі, долаючи опір пружини регулятора. Це забезпечує автоматичну зміну подачі насоса залежно від тиску в системі.

Аналіз статичної характеристики показує, що зі зростанням тиску подача  $Q$  поступово зменшується через збільшення внутрішніх витоків. При досягненні критичного значення тиску. Сила  $R$  перевищує зусилля пружини, і подача практично зводиться до нуля. Характеристику насоса можна коригувати зміною

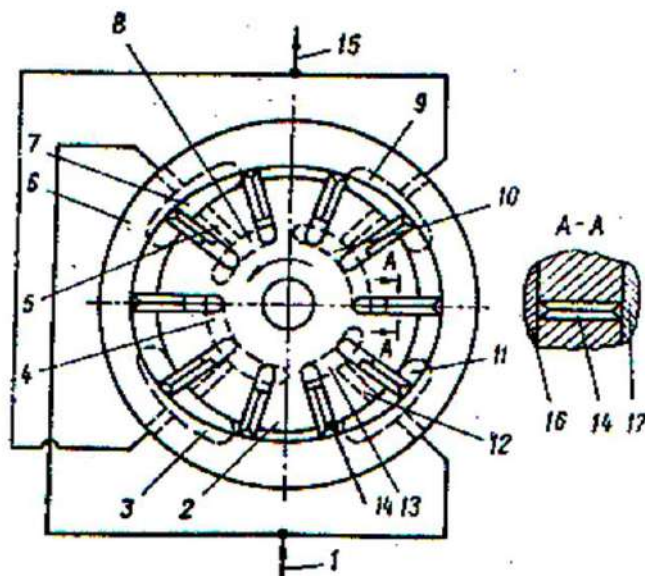
					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



поверхня статора має форму овала і тому пластини здійснюють зворотньо – поступальний рух у пазах ротора, забезпечуючи при цьому зміну об’єму робочих камер. Два діаметрально розташованих всмоктувальних вікна 4 розподільчого диска 1 для полегшення умов всмоктування сполучаються отворами 15 в статорі 5 з двома глухими пазами 13 плаваючого диска 12, в якому є також два вікна 18 для нагнітання. Вони виконані симетрично осі насоса і зміщені на  $90^{\circ}$  відносно вікон всмоктування.

Недоліком таких насосів є високі питомі тиски між напрямною поверхнею статора і пластинами, які знаходяться в зоні всмоктування, що обмежує номінальний тиск в таких насосах до 6,3 МПа [63].

У насосах високого тиску (до 12,5 МПа) БГ12 – 2 в кожному пазу ротора встановлено по дві пластини 14, які мають скошені кромки на гранях, прилеглих до розподільних дисків 16, 17 і до статора 6 (рисуюнок 1.3).



Рисуюнок 1.3 – Схема насоса високого тиску моделі БГ12 - 2

У результаті цього на торцеві поверхні пластин діє тиск: у зоні нагнітання — тиск нагнітання, а в зоні всмоктування — відповідно тиск всмоктування. При

									Арк.
									13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ				

цьому самі пластини практично не навантажуються силами тиску, а їх контакт зі статором забезпечується переважно відцентровими силами.

Подача робочої рідини здійснюється через гідролінію 1, яка з'єднує діаметрально протилежні порожнини всмоктування. Заповнення робочих камер, утворених між сусідніми пластинами, відбувається через основні вікна 7 і 11. Вони пов'язані каналами 5 і 12 із допоміжними всмоктувальними вікнами 8 і 13, через які також заповнюються підпластинні порожнини.

Витіснення рідини з робочих камер здійснюється через основні нагнітальні вікна 3 і 9, тоді як з підпластинних об'ємів рідина відводиться через допоміжні вікна 4 і 10. Далі потік надходить у спільну напірну гідролінію. У цьому процесі пластини, взаємодіючи через допоміжні вікна, виконують функції, аналогічні роботі поршнів у радіально-поршневих насосах.

Пластинчасті гідромашини можуть працювати і як гідромотори за умови забезпечення початкового притискання пластин до поверхні статора. Це досягається або застосуванням коромислових пружин (наприклад, у гідромоторі типу Г16–1), або подачею робочої рідини під торці пластин із подальшим її надходженням у робочі камери.

Оскільки геометрична вісь напрямної поверхні статора ексцентрична відносно вісі ротора, об'єм робочої камери, обмежений двома суміжними пластинами, поверхнями ротора і статора та боковими кришками (на схемі не показано), змінюється при обертанні ротора. Обертання ротора в напрямку стрілки призводить до збільшення об'єму А і зниження в ній тиску. Під дією перепаду між атмосферним тиском та тиском у робочій камері остання наповнюється робочою рідиною з бака через усмоктувальний отвір 5. Зменшення об'єму камери Б супроводжується витісненням рідини в нагнітальний отвір 2 насоса. Всмоктувальними та нагнітальними отворами є серпоподібні отвори, виконані в бокових кришках насоса. Для відокремлення зони нагнітання від зони всмоктування серпоподібні отвори розділені

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перемичками, які розташовані в середині кута  $\varphi$ , величина якого  $\varphi \geq \beta$ , де  $\beta = 2\pi/z$  - кут між пластинами ;  $z$  - кількість пластин.

Вуглецева інструментальна сталь У8А може застосовуватися для виготовлення інструментів невеликих розмірів, що працюють при відносно низьких швидкостях різання, оскільки при нагріванні до температур близько 190–200 °С її твердість суттєво знижується. Разом із тим дана сталь придатна для інструментів, які працюють в умовах ударних навантажень і потребують поєднання високої твердості з достатньою в'язкістю. До таких виробів належать матриці, ножиці, металорізальні ножі, столярний та пневматичний інструмент, а також різноманітні пластини, зокрема ті, що розглядаються у даній роботі.

Сірий чавун марки СЧ20 характеризується границею міцності на розтяг близько 200 МПа та є багатокомпонентним сплавом системи Fe–Si–C з наявністю постійних домішок марганцю, фосфору та сірки. Його структура визначається наявністю графіту у вигляді пластин, що значною мірою впливає на експлуатаційні властивості. Найбільш поширеними є доєвтектичні чавуни з вмістом вуглецю 2,4–3,8%. Зі збільшенням кількості вуглецю підвищується частка графіту, що, у свою чергу, призводить до зниження механічної міцності.

Кремній, вміст якого зазвичай знаходиться в межах 1,2–3,5%, істотно впливає на процес графітизації та формування структури чавуну. Його дія аналогічна впливу зниження швидкості охолодження. Змінюючи співвідношення вуглецю та кремнію, а також умови охолодження, можна регулювати структуру металевої основи. Для аналізу таких процесів доцільно використовувати не лише діаграму стану Fe–C, а й потрібну діаграму Fe–Si–C.

Марганець у кількості до 1,25–1,4% пригнічує процес графітизації та сприяє утворенню структур білого чавуну, особливо в поверхневих шарах. Сірка є шкідливою домішкою, яка погіршує механічні та ливарні властивості, тому її вміст обмежують до 0,1–0,12%. Фосфор, вміст якого може досягати 0,2–

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

0,5%, не впливає на графітизацію, але утворює тверді евтектичні включення, що покращують рідкотекучість, проте знижують пластичність.

Механічні властивості сірого чавуну визначаються насамперед характеристиками графітної складової: її кількістю, розмірами та характером розподілу. Чим менші та ізольованіші графітні включення, тим вищі твердість і міцність матеріалу. Водночас пластинчастий графіт істотно знижує міцність при розтягу та пластичність, яка практично відсутня. Натомість опір стиску та твердість визначаються металевою основою. Перлітна структура забезпечує підвищену міцність і зносостійкість, тоді як феритна — характеризується найнижчими показниками.

Під час роботи пластинчастого насоса пластини в зоні нагнітання практично не зазнають дії радіальних сил тиску, тоді як у перехідних зонах навантаження є частковим. Для покращення герметичності використовують конструкції пластин, що встановлюються з можливістю вільного переміщення та мають профіль, узгоджений із кривизною статорного кільця.

Аналіз умов роботи показує, що найбільш характерним видом відмов у парі тертя «пластина – статор» є інтенсивне зношування контактних поверхонь. Додатково проявляється контактено-втомне руйнування, яке може посилюватися при наявності абразивних частинок розміром до 25 мкм. Найбільшого зносу зазнають пластини, що призводить до зменшення подачі або повної втрати працездатності насоса. У таких випадках агрегат підлягає ремонту або заміні, причому найчастіше здійснюється заміна зношених пластин.

Для зменшення інтенсивності зношування та запобігання сухому тертю в конструкції насоса передбачають різні технічні рішення. Одним із ключових обмежень є робочий тиск, оскільки при його підвищенні зростає сила притискання пластин до статора. Це призводить до витіснення мастильної плівки та переходу до режиму сухого тертя, що супроводжується локальним перегрівом поверхонь до температур, які можуть перевищувати температуру відпуску сталі.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунки показують, що при тиску порядку  $140 \text{ кгс/см}^2$  сили притискання можуть досягати критичних значень, за яких спостерігається різке зростання зносу. Для їх зменшення застосовують конструктивні рішення, зокрема встановлення двох вільно розміщених пластин у кожному пазу статора. Завдяки скошеним торцям між ними та статором формується замкнена камера, яка забезпечує часткове розвантаження та зниження контактних навантажень.

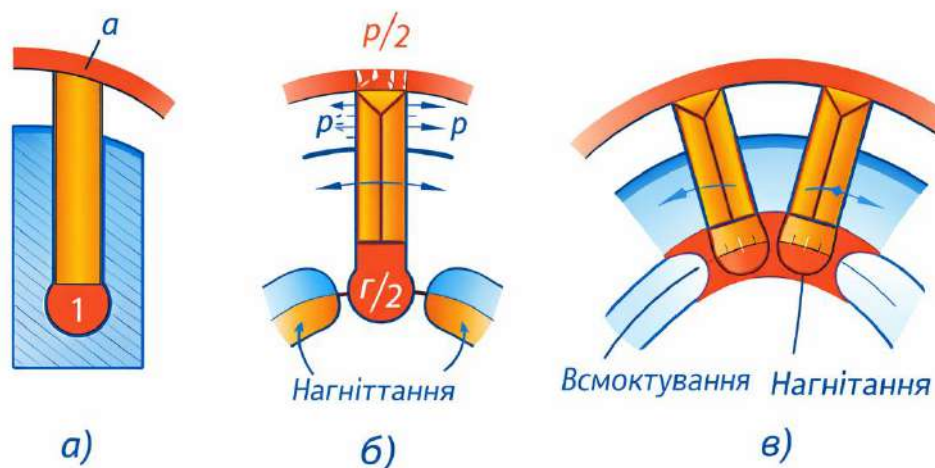


Рисунок 1.4 – Схема розвантаження робочих пластин від сил рідини

Ця камера з'єднується каналом малого перерізу (який має великий опір) з порожниною під пластиною, в результаті чого в камері виникає розвантажувальний тиск, величина якого, внаслідок опору з'єднувального каналу і деякого витікання із камери, буде меншою, чим тиск в полості під пластиною.

Часто насоси виготовляють так, щоб полості пазів під пластинами були на робочих ділянках відповідно з всмоктуванням і нагнітанням і відсікаються від них лише в певних положеннях (рисунок 1.4, б). При проходженні цих ділянок,

спрофільованих в насосах двократної дії по радіусу з центра ротора, виникає розвантаження пластин, так як тиск у верхній камері, отриманій скошеними її кромками і тиску в камері під пластинами стають рівними середньому арифметичному ( $P/2$ ) між тисками всмоктування і нагнітання. Можна побачити, що в насосах останньої схеми пластини, працюючи одночасно по схемі радіально – поршневого насоса, всмоктують і нагнітають рідину, що компенсує об'єм, займаючим пластинами.

Для зменшення ударної дії зворотнього потоку рідини в кінці проходу робочої кліти роздільної перемички, зі сторони нагнітального вікна виконується невелика прорізь (вусик), (рисунок 1.4, в).

Для зниження інтенсифікації абразивними частками використовують спеціальні фільтри, які встановлюють всередині насоса. Такі фільтри здатні ловити частинки до 25 мкм. Номінальна тонкість фільтра 25 мкм.

Отже найбільш частішою відмовою пластинчастого насоса є зношення пластин, шляхом сухого тертя об статор, а також зношення за рахунок забруднення абразивними частками розміром до 25 мкм. В результаті чого насос направляється на ремонт де зношені частини замінюють на нові.

## 1.2 Аналіз видів зношування деталей пластинчастого насосу

Як вище було сказано, в пластинчастому насосі відбувається зношування пластин шляхом контактно – втомного зношування, а також за рахунок забруднення абразивними частками.

Як зазначалося раніше, у пластинчастому насосі основними механізмами руйнування пластин є контактно-втомне та абразивне зношування. Розглянемо їх більш детально.

Контактно-втомне зношування зумовлене багаторазовим циклічним деформуванням поверхневих шарів у зоні контакту деталей тертя. Воно

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

характерне як для умов кочення, так і ковзання, причому в даному випадку реалізується саме при ковзанні. Наслідком такого процесу є виникнення втомного викришування робочих поверхонь пластин.

При певній кількості циклів навантаження та рівні контактного тиску відбувається накопичення дефектів кристалічної будови, що призводить до зародження мікротріщин. Надалі ці тріщини розвиваються і спричиняють відшарування частинок матеріалу. У реальних матеріалах ініціаторами тріщиноутворення виступають неметалеві включення та локальні скупчення фаз. Підвищення опору контактному-втомному зношуванню досягається формуванням дрібнодисперсної структури, наприклад мартенситу відпуску з твердістю не менше 56 HRC.

Емпіричні залежності, зокрема встановлені Басквіном, показують, що в області великих чисел циклів ( $N > 10^7$ ) поведінка матеріалу відхиляється від лінійної залежності, що відповідає наявності границі витривалості. Температурний фактор також суттєво впливає на довговічність: при підвищенні температури спостерігається зниження втомної міцності, що пов'язано зі структурною нестабільністю, окисленням та розвитком повзучості. Водночас для сталей при температурах до 200–300 °C цей вплив є незначним.

Зростання частоти навантаження сприяє підвищенню межі витривалості за рахунок збільшення швидкості деформаційних процесів. Крім того, довговічність значною мірою залежить від послідовності прикладання навантажень: максимальна витривалість досягається при їх поступовому зростанні.

Важливим супутнім явищем є фретинг-корозія, яка виникає в умовах малих відносних переміщень контактуючих поверхонь. Вона проявляється у вигляді дрібних заглиблень, заповнених продуктами окислення. На початковій стадії відбувається захоплення мікронерівностей поверхонь із подальшим утворенням окиснених частинок зносу. Надалі процес набуває абразивного характеру, оскільки продукти зносу додатково руйнують матеріал. При цьому

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

утворюються мікротріщини, які є концентраторами напружень і можуть призвести до руйнування деталі. Таким чином, фретинг-корозія суттєво знижує втомну міцність.

Абразивне зношування обумовлене потраплянням твердих частинок у зазори пар тертя. Навіть за наявності фільтрації повністю виключити їх проникнення практично неможливо. Джерелом абразиву можуть бути як зовнішні домішки, так і продукти власного зносу.

Інтенсивність абразивного зношування зростає зі збільшенням концентрації та розміру частинок. Важливу роль відіграє їх механічна міцність: чим твердіша частинка, тим глибше вона проникає в поверхню матеріалу. Водночас у спряженнях типу «сталь–полімер» частинки частково занурюються в м'який матеріал, що знижує їх руйнівну дію.

У вузлах з високими контактними навантаженнями (зубчасті передачі, підшипники кочення, шарнірні з'єднання) через інтенсивне дроблення абразиву залежність зносу від навантаження може бути слабо вираженою. Натомість при малих тисках або в м'яких спряженнях знос суттєво зростає зі збільшенням навантаження. Для контактів із коченням характерне збільшення зношування зі зростанням ковзання, а також залежність від швидкості руху.

Важливим фактором є твердість контактуючих поверхонь: підвищення твердості сприяє зменшенню зношування як самої деталі, так і її пари тертя.

### 1.3 Обґрунтування вибору вузла тертя для підвищення зносостійкості

Статор виготовляється литвом. Ливарними називаються сплави на основі різних металів, які використовуються для виготовлення виливки. Так як в нашому випадку статор виготовляється з сірого чавуну СЧ20, це можна розглядати як матеріал з металевою основою у вигляді сталі, в якій міститься включення графіту. Це забезпечує невисоку твердість (менше 200НВ), добру обробляємість різанням, здатність гасити удари, вібрацію та коливання. Але цей

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

матеріал має недостатню пластичність, нездатний змінювати форму під дією тиску, литво є єдиним способом виготовлення статора з цього матеріалу. До того ж статор відноситься до крупногабаритних деталей в порівнянні з іншими деталями насоса.

Для виготовлення статора використовують спеціальні форми для заливки чавуну. Для цього чавун повинен мати такі технологічні властивості: рідкотекучість – для заповнення всієї ливарної форми; усадку – здатність зменшувати об'єм та розміри при кристалізації та охолодженні; газопоглинання – здатність розплавленого чавуну до поглинання таких газів як  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ , що містяться в навколишньому середовищі та у ливарній формі.

При литві можуть виникнути: технологічні дефекти литих заготовок, зумовлені технологічними властивостями в ливарному сплаві. До цих дефектів відносяться: недоливи – недостатня рідкотекучість ливарного сплаву; усадочні раувини та пористість - об'ємна усадка; холодні тріщини – лінійна усадка; коробління – лінійна усадка; газові раковини – газопоглинання; неоднорідність механічних властивостей – ліквіація.

Для отримання працездатної деталі необхідно дотримуватися умов, вказаних вище.

Пластини (рисунок 1.5) отримуються листовим штампуванням з подальшою механічною обробкою.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Отже на першому етапі виготовлення пластини знаходяться у виді металевої стрічки. Розміри цієї стрічки вибираємо в залежності від технологічних розмірів готової деталі. Розміри стрічки будуть такими: ширина  $B = 60\text{мм}$ ; довжина  $L = 3\text{м}$ ; товщина  $\delta = 6\text{мм}$ . Всі розміри підібрані за відповідними формулами.

На другому етапі необхідно виконати спеціальний механічний процес з відповідним пуансоном – відповідні розміри пластини. При нескладній формі нашої деталі використовуємо штампування простої дії на крок подачі матеріалу заготовки.

Після отримання заготовки (з розмірами, максимально наближеними до розмірів деталі) вона підлягає термічній обробці. Залишки металу відправляють на переплав з послідуочим його використанням.

Після отримання деталі її направляють на фрезерну обробку для отримання на вершині необхідного радіусу і отримання необхідних фасок.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 Технологія технічного обслуговування і поточного ремонту деталей насосу

### 2.1 Технічне обслуговування агрегату

Діагностування – технологічний елемент профілактики і ремонту, основний метод виконання контрольних робіт. Специфічною властивістю, якою діагностика відрізняється від звичайного визначення стану, є, передусім, виявлення несправностей без розбирання.

Методи діагностування поділяють на суб'єктивні та об'єктивні.

Суб'єктивні методи базуються на оцінюванні технічного стану вузлів і агрегатів за непрямими ознаками, що визначаються під час роботи механізму. До них належать візуальний огляд, аналіз звукових характеристик роботи, контроль умов змащування, а також прийняття рішень на основі досвіду та логічних висновків оператора.

Об'єктивні методи передбачають використання контрольно-вимірювальних засобів для отримання достовірної інформації про фактичний технічний стан елементів системи. Обробка отриманих даних здійснюється за визначеними алгоритмами діагностування. До цієї групи належать методи, що ґрунтуються на аналізі структурних параметрів, герметичності робочих об'ємів, характеристик робочих процесів, віброакустичних сигналів, а також параметрів циклічних процесів. Основними вимогами до таких методів є висока точність, надійність вимірювальної апаратури, технологічність і економічна доцільність.

Діагностування гідронасоса полягає передусім у визначенні ступеня зношування його деталей. У разі досягнення граничних розмірів елементи підлягають заміні, тоді як деталі з допустимим зносом можуть бути відновлені.

У гідравлічних машинах (насосах, гідродвигунах, розподільниках) зазори між рухомими елементами становлять, як правило, 5–30 мкм, тому під час монтажу необхідно уникати механічних ударів і пошкоджень корпусу.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перед пуском системи запобіжний клапан або регулятор тиску налаштовують на мінімальне значення. Після перевірки легкості обертання вала насоса (без заїдань) вмикають електродвигун і контролюють правильність напрямку обертання. Для більшості насосів він має бути за годинниковою стрілкою (зі сторони вала або вентилятора електродвигуна), що підтверджується відповідними позначеннями в технічній документації.

Після цього насос запускають на триваліший час і виконують огляд гідросистеми, зберігаючи можливість оперативного вимкнення. За показами манометра перевіряють наявність тиску, після чого оглядають з'єднання трубопроводів і вузлів. У разі виявлення витоків систему зупиняють і усувають дефекти.

При зниженому тиску виконують промивання гідросистеми (орієнтовно протягом 2 годин), після чого контролюють рівень робочої рідини, стан фільтрів і за необхідності здійснюють їх очищення або заміну. Далі проводять налагодження системи: встановлюють робочий тиск, регулюють швидкість виконавчих органів, перевіряють їх переміщення, тепловий режим, витрати через дренаж, а також роботу електрокерованих розподільників і реле тиску.

На початковому етапі експлуатації відбувається приробка деталей, що супроводжується інтенсивним забрудненням фільтрів частинками зносу. Тому після 20–25 годин роботи необхідно перевірити їх стан. Надалі контроль здійснюють приблизно через кожні 100 годин.

У процесі експлуатації слід регулярно контролювати рівень масла, тиск у різних точках системи, стан ущільнень, а також своєчасно усувати витoki. Зниження робочого тиску проявляється у зупинці гідродвигунів навіть при малих навантаженнях і може супроводжуватися сигналом від реле тиску. Причинами цього можуть бути несправності насоса, регулювальної або розподільної апаратури.

Складним етапом є локалізація несправності — визначення ділянки системи, де виник дефект. Зменшення тиску може бути наслідком зниження

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

подачі насоса, підвищення витоків або збільшення опору в гідролініях. Діагностику доцільно починати з вимірювання тиску в доступних точках системи за допомогою манометра.

У разі зниження тиску в напірній лінії найбільш імовірною причиною є порушення роботи запобіжного клапана або регулятора тиску, часто внаслідок забруднення. Також необхідно перевірити рівень масла та відсутність аерації. Наявність повітря в системі (піноутворення, бульбашки) свідчить про підсос повітря у всмоктувальній або зливній лінії.

Зміна кольору робочої рідини є небезпечним сигналом. Наприклад, поява мутного або «молочного» відтінку вказує на потрапляння води або охолоджувальної рідини.

При підвищенні температури масла необхідно перевірити ефективність роботи теплообмінника: наявність потоку води або роботи вентилятора, а також очистити радіатори від забруднень. Якщо це не дає результату, слід шукати причини підвищеного тепловиділення в системі.

Регулярне технічне обслуговування дозволяє своєчасно виявляти та усувати несправності, що значно зменшує витрати часу і ресурсів у порівнянні з аварійним ремонтом.

## 2.2 Технологія поточного ремонту

Розбирання машин є важливим етапом загального технологічного процесу ремонту. Відсутність необхідного обладнання і пристосувань або не вірне їх використання призводять до пошкоджень деталей в процесі розбирання агрегатів і їх складових частин. Тому вірна організація і оснащення обладнанням і інструментом робочих місць для розбирання зменшує витрати запасних частин, знижує ціну і підвищує якість ремонту.

Під час поточного ремонту розбирання виконують після попереднього очищення агрегату на спеціалізованих дільницях. Демонтаж здійснюється лише

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

в необхідних межах — для встановлення причин несправностей і заміни або відновлення окремих вузлів і деталей. Збиральні одиниці розбирають тільки тоді, коли це обґрунтовано технологічною необхідністю. Надмірне втручання призводить до порушення припрацювання поверхонь і прискореного зношування, оскільки кожне розбирання змінює характер з'єднань і потребує повторної адаптації деталей. Стан вузлів доцільно попередньо оцінювати за результатами діагностування.

Якість очищення деталей є важливим чинником ефективності ремонту. Вона впливає на продуктивність праці, культуру виробництва та довговічність відновлених виробів. Наявність забруднень може призвести до дефектів при відновленні: наприклад, під час наплавлення — до утворення пор і раковин, а при гальванічних або хімічних процесах — до відшарування покриттів.

Організація мийно-очисних операцій залежить від умов виробництва, виду забруднень, а також габаритів і маси деталей. Найбільш ефективною вважається багатостадійна схема очищення із застосуванням спеціалізованих методів для відповідальних елементів. Якість цих операцій оцінюють за повнотою видалення забруднень, а ефективність — за витратами праці та рівнем організації процесу.

Дефектація є складовою технічного контролю і полягає у визначенні придатності деталей до подальшого використання. Основним її завданням є недопущення до складання елементів із вичерпаним ресурсом, одночасно з уникненням необґрунтованого вибракування придатних деталей і визначенням необхідності їх відновлення.

Оцінювання стану деталей здійснюється за технологічними картами дефектації, які містять відомості про матеріал, термічну обробку, твердість, геометричні параметри, допустимі відхилення, типові дефекти та методи контролю. У процесі дефектації виявляють зміну розмірів і форми поверхонь, порушення взаємного розташування елементів, деградацію фізико-механічних властивостей, а також корозійні та втомні пошкодження.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами контролю деталі розподіляють на групи: придатні до подальшої експлуатації; придатні після комплектування з новими або відновленими деталями; такі, що підлягають ремонту; та непридатні, які списуються. Маркування виконують кольоровими позначками для спрощення ідентифікації.

Контролю підлягають лише ті параметри, які можуть змінюватися в процесі експлуатації. Оскільки деталі часто мають кілька дефектів, важливо дотримуватися встановленої послідовності перевірок, що дозволяє зменшити трудомісткість робіт.

Методи дефектації включають візуальний огляд, простукування, вимірювання геометричних параметрів, а також використання універсальних і спеціальних приладів та стендів. Під час огляду виявляють тріщини, деформації, задири, корозію, негерметичність та інші дефекти. Простукування дозволяє оцінити стан нерухомих з'єднань і виявити приховані тріщини.

Для вимірювань застосовують штангенциркулі, мікрометри, індикаторні нутроміри та інші засоби. Приховані дефекти визначають за допомогою пневматичних, гідравлічних, магнітних, капілярних і ультразвукових методів. Зокрема, пневматичний метод використовують для перевірки герметичності, подаючи стиснене повітря і спостерігаючи за появою бульбашок. Магнітна дефектоскопія ефективна для феромагнітних матеріалів, а капілярні методи — універсальні для виявлення поверхневих дефектів.

Процес складання полягає у послідовному з'єднанні деталей відповідно до технологічної документації. Якість складання визначається точністю виконання операцій і відповідністю параметрів з'єднань установленим нормам. Під точністю розуміють відхилення фактичних значень посадок (зазорів або натягів) від нормативних.

Досягнення необхідної точності при ремонті забезпечується застосуванням різних методів: повної або часткової взаємозамінності, селективного складання, регулювання та підгонки деталей.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таблиця 2.2 – Технічна характеристика електрометалізаторів.

Тип апарата	Робочий тиск стисненого повітря		Витрата стисненого повітря		Продуктивність в кг/год при розпиленні		Вага. кг	Діаметр застосовуваного дроту. мм
	ат	кн/м <sup>2</sup>	м <sup>3</sup> /хв	м <sup>3</sup> /с	сталі	цинку		
ЛК-У	6.1	611	1.2	1.12	2.5-3.1	3.1-5.1	1.7	1.1-1.8
ЛК-6а	5.5-6.1	551-611	1.45-1.1	1.117-1.116	6.1	-	21.8	1.2-1.8
ЛК-У	5-6	511-611	1.81	1.113	4.6	4.1-5.6	1.4	-
ЕМ-3А	4.5-6.1	451-611	1.1-1.2	1.116-1.12	3.5	2.5-5.1	2.4	1.1-2.1
ЕМ-6	4-5	411-511	1.8-1.9	1.113-1.115	7-12	-	21	1.5-2.5
ГИМ-1	4.5	451	1.6-1.8	1.11-1.113	1.8-1.1	2.5	2.6	1.1-2.1

Газовий металізатор ГИМ-1 — інжекторного типу, що дозволяє працювати на ацетилені, який одержується від зварювальних газогенераторів низького тиску (до 500 мм вод. ст., чи 5 кн/м<sup>2</sup>). При низьких тисках (до 400 мм вод. ст., чи 4 кн/м<sup>2</sup>) апарат використовується для нанесення легкоплавких покриттів, при великих тисках — для металізації сталю; при цьому продуктивність може бути підвищена до 1,4 кг/год (38 X 10<sup>-5</sup> кг/сек) при тиску ацетилену 3000 мм вод. ст. (30 кн/м<sup>2</sup>).

За своєю конструкцією всі електрометалізатори з приводом дротоподаючого механізму від повітряної турбіни подібні між собою.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30





Електродвигун механізму подачі дроту апарата ЕМ-6 має потужність 75 Вт і частоту обертання 2800 об/хв (приблизно 47 об/с). Швидкість подачі дроту регулюється в межах 0,7–4,5 м/хв.

Для отримання покриттів типу псевдосплавів у складі апарата ЕМ-6 передбачено змінний вузол — тридротову металізаційну голівку МТГ, розроблену ВНІПавтогеном. Вона встановлюється замість стандартної дводротової. У процесі роботи між кожною парою дротів виникає електрична дуга, яка плавить електродний матеріал, що подається в зону її горіння. Склад покриття регулюється шляхом вибору матеріалу дроту та зміни швидкості подачі кожного з них за допомогою редуктора механізму подачі.

Живлення електрометалізаторів здійснюється через понижувальний трансформатор, який забезпечує ступінчасте регулювання напруги в діапазоні 20–55 В. Це дає можливість підбирати оптимальний режим залежно від типу розпилюваного металу.

Стиснене повітря подається від централізованої компресорної установки підприємства через повітрозбірник (ресивер). Об'єм ресивера визначається кількістю постів металізації. Для одного поста, як правило, використовують повітрозбірник об'ємом близько 2 м<sup>3</sup> при робочому тиску 6–7 ат (600–700 кПа).

Таблиця 2.3 – Типові режими електродугового наплення (при тиску розпилюючого стиснутого повітря 0,5 МПа)

Напилюваний матеріал	Діаметр дроту, мм	Напруга електричної дуги, В	Сила струму електричної дуги, А	Продуктивність розпилення, кг/год
Вуглецева сталь (0.2 С)	2.6	26	260	3
Цинк	2.0	26	200	6
Алюміній	2.0	24	75	2
Бронза	2.0	26	230	5.5
Мідь	2.6	24	90	3
Латунь	2.6	30	290	5

### 3 Технологія відновлення і підвищення зносостійкості деталей вузла тертя

#### 3.1 Вибір методу підготовки поверхні під відновлення, відновлення та режими підготовки і відновлення поверхні

Статор пластинчастого насосу Г12 – 5М являє собою кільце внутрішній діаметр якого складає Ø 90 мм, зовнішній діаметр Ø 110 мм, ширина В = 45 мм. По зовнішній поверхні статор кріпиться в корпусі насосу, а по внутрішній поверхні статора ковзають лопасті. Навантаження, яке несе статор невелике, але в процесі роботи виникає знос внутрішньої поверхні статора що призводить до втрат в продуктивності насосу та роботи з перебоями.

Статор виготовляється з сірого чавуну марки СЧ 20 ДСТУ 1412 - 88. Хімічний склад та фізико – механічні властивості чавуну наведені в таблицях 3.1 та 3.2 відповідно.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад чавуну СЧ 20 ДСТУ 1412 - 88, у відсотках

Марка матеріалу	C	Si	Mn	S	P
СЧ 20	2.7-3.6	1.5-3.5	0.4-1.0	<0.1	<0.3

Таблиця 3.2 – Фізико – механічні властивості чавуну СЧ 20 ДСТУ 1412 - 88

Марка чавуну	Фізичні властивості			Механічні властивості			
	$\gamma$ . г/см <sup>3</sup>	$\lambda$ . кал см·с·град	$\alpha \cdot 10^6, ^\circ\text{C}^{-1}$	$\sigma_{\text{и}}$ . МПа	$\sigma_{\text{в}}$ . МПа	а м. кг·м см <sup>2</sup>	НВ
СЧ 20	7.2-7.3	0.10-0.135	10-12	400	210	0.4-0.9	170-241

Розглянувши хімічний склад та фізико – механічні властивості чавуну можна зробити висновок, що він придатний для виготовлення статора пластинчатого насосу.

Твердість статора повинна бути в межах від 190 до 230 НВ, що задовільняється самим матеріалом.

Внутрішня поверхня статора повинна бути чистою і точно виготовлена. Це досягається механічною обробкою розточуванням та шліфуванням. Після обробки точність виготовлення розміру за 7 квалітетом з посадкою Н і шорсткість поверхні  $Ra = 0,4$  мкм

До зовнішньої поверхні статора і його ширини особливих вимог не висувається, тому зовнішній діаметр отримується за точністю Н14 і шорсткістю  $Ra = 3,2$  мкм.

Інших вимог до деталі не висувається.

### **3.2 Вибір і обґрунтування методу відновлення поверхні**

Розглянута деталь функціонує в умовах тертя, тому в процесі експлуатації зазнає поступового зношування. Основною причиною цього є багаторазове переміщення лопаті вздовж поверхні статора, що призводить до розвитку контактно-втомного механізму руйнування. Допустиме значення зносу обмежується величиною не більше 0,3 мм. У зв'язку з цим постає задача відновлення працездатності деталі та вибору такого методу, який дозволив би суттєво підвищити її ресурс і довговічність вузла тертя загалом.

Одним із найбільш ефективних напрямів є нанесення зносостійких покриттів на основі хрому. Такі покриття можуть бути отримані різними способами, зокрема дуговою металізацією, плазмовим напиленням та електролітичним хромуванням. Для обґрунтування вибору доцільно провести порівняльний аналіз зазначених технологій.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дугова металізація здійснюється за допомогою спеціального обладнання — металізатора. У процесі роботи два дроти подаються до зони контакту, де між ними виникає електрична дуга, що плавить метал. Розплавлений матеріал під дією струменя стисненого повітря (близько 0,6 МПа) диспергується та переноситься на поверхню деталі. Висока швидкість частинок (120–300 м/с) і короткий час їх руху забезпечують пластичне деформування при ударі, заповнення мікронерівностей і формування суцільного покриття. Товщина шару може змінюватися від кількох мікрометрів до 10 мм і більше. Водночас для відновлення даної деталі цей метод є малоприматним, оскільки потребує суворого дотримання положення напилювальної головки (перпендикулярно до поверхні та на відстані 120–150 мм), що практично неможливо забезпечити при обробці внутрішніх поверхонь діаметром близько 90 мм.

Електролітичне хромування базується на процесі електролізу, при якому в електроліті (наприклад, на основі  $\text{CrO}_3$  та  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) під дією електричного струму (20–30 А/дм<sup>2</sup>) відбувається осадження хрому на поверхні деталі. Цей метод забезпечує високу твердість покриття та значну адгезію до основного матеріалу. Однак його суттєвим недоліком є складність локального нанесення шару: зазвичай покриття формується на всій поверхні деталі, що є економічно не вигідним і екологічно небезпечним через утворення токсичних відходів.

На відміну від зазначених методів, плазмове напилення позбавлене більшості перелічених обмежень. У цьому випадку перенесення розплавленого матеріалу здійснюється за рахунок енергії високотемпературного плазмового струменя, що забезпечує високу якість покриття, можливість локального нанесення та кращий контроль параметрів процесу. Принципова схема плазмотрона наведена на рисунку 3.1.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36



покрить, використовують дрiт марок: Нп – 40; Нп – 30ХГСА; Нп – 30Х13. Процес має високу продуктивнiсть, яка складає вiд 2 до 20 кг/год, а витрати на отримання плазми у двiчi меншi за вартiстю нiж киснево-ацетиленове полум'я, при еквiвалентних видiленнях енергiї. Процес дозволяє повнiстю автоматизувати технологiю, та дає можливiсть нанесення покрить на деталi практично любої складностi за допомогою насадних мундштукiв, якi призначенi для того щоб змiнювати напрямок плазмового потоку. Плазмовому напиленню пiдлягають поверхнi у яких знос не перевищує 1,0...1,5 мм. Напилений шар має високу твердiсть, але є крихким, а тому пiсля напилення допускається лише обробка абразивним iнструментом i не ранiше нiж через 24 год. пiсля формування покриття.

### 3.3 Розробка технологiчного процесу вiдновлення деталi

Розробимо технологiчний процес вiдновлення деталi, який включає в себе операцiї пiдготовки поверхнi пiд вiдновлення, вiдновлення та обробки поверхнi пiсля вiновлення.

Розробка технологiчного процесу вiдновлення деталi передбачає формування послiдовностi операцiй, спрямованих на забезпечення вiдновлення геометричних параметрiв, пiдвищення зносостiйкостi та забезпечення необхідної якостi поверхнi. Процес включає три основнi етапи: пiдготовку поверхнi, нанесення вiдновлювального покриття та фiнiшну механiчну обробку.

Особливу увагу придiляють забезпеченню чистоти поверхнi, точностi базування, а також контролю параметрiв на кожному етапi. Це дозволяє мiнiмiзувати дефекти та забезпечити стабiльнiсть результатiв вiдновлення.

Технологiчний процес виконується у такiй послiдовностi:

005 Очищувальна операцiя

На даному етапi проводиться первинне очищення деталi вiд залишкiв мастильних матерiалiв, пилу, продуктiв зношування та iнших забруднень.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдпис	Дата		

Очищення може здійснюватися із застосуванням розчинників або лужних мийних розчинів. Якість очищення має вирішальне значення для подальших операцій, особливо для адгезії покриття.

010 Мийна операція

Деталь піддається ретельному миттю в спеціалізованих мийних установках або ваннах. Використовуються гарячі водні розчини з мийними засобами, що забезпечують повне видалення залишкових забруднень.

015 Сушильна операція

Після миття деталь сушиться гарячим повітрям або в сушильних шафах. Це необхідно для запобігання корозії та забезпечення стабільності наступних технологічних операцій.

020 Контрольна операція

Виконується первинний контроль геометричних параметрів деталі (діаметр, овальність, конусність, шорсткість). За результатами контролю визначається придатність деталі до відновлення.

025 Внутрішньошліфувальна операція (підготовча)

Деталь встановлюється у трикулачковий патрон з базуванням по зовнішній поверхні. Проводиться шліфування зношеної поверхні з метою видалення дефектного шару та створення необхідної шорсткості для підвищення адгезії покриття.

030 Відновлювальна операція (плазмове напилення)

На підготовлену поверхню наноситься зносостійке покриття методом плазмового напилення. Процес забезпечує формування щільного шару з високими механічними властивостями. Важливими параметрами є температура плазми, швидкість подачі матеріалу та відстань до поверхні.

035 Контрольна операція

Після напилення проводиться контроль товщини шару, його суцільності, адгезії та відсутності дефектів (пор, тріщин, відшарувань).

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

040                    Внутрішньошліфувальна                    операція                    (попередня)  
 Здійснюється попереднє шліфування для вирівнювання напиленого шару та наближення розмірів до заданих.

045                    Внутрішньошліфувальна                    операція                    (чистова)  
 Виконується остаточне шліфування до номінального розміру з забезпеченням необхідної точності (Н7) та шорсткості поверхні.

050                    Контрольна                    операція                    (заключна)  
 Проводиться фінальний контроль геометричних параметрів, шорсткості, точності форми та взаємного розташування поверхонь. Деталь визнається придатною до подальшої експлуатації або складання.

Виконаємо розрахунок припусків на обробку отвору статора діаметром Ø90Н7 (+0,035 мм). Установлення деталі здійснюється в трикулачковому патроні з базуванням по зовнішній поверхні.

Після нанесення покриття передбачено виконання двох етапів механічної обробки: попереднього та чистового шліфування. Для визначення припусків використовується аналітичний підхід.

Мінімальний припуск визначається за залежністю:

$$Z_{min} = R_{z(i-1)} + T_{i-1} + \rho_{i-1} + y_i$$

де:

- $R_{z(i-1)}$ — висота мікронерівностей після попередньої операції;
- $T_{i-1}$ — товщина дефектного шару;
- $\rho_{i-1}$ — сумарні просторові відхилення (овальність, биття, конусність);
- $y_i$ — похибка установки на даній операції.

Значення параметрів  $R_z$  та  $T$  приймаються за довідковими даними. Оскільки для поверхонь після плазмового напилення нормативні значення обмежені, їх доцільно оцінювати за аналогією з литими заготовками, отриманими в одній напівформі.

При цьому необхідно враховувати, що напилений шар має підвищену шорсткість і пористість, що вимагає збільшення припуску на механічну обробку

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

у порівнянні з традиційними заготовками. Також враховується можливе нерівномірне нанесення покриття, що впливає на величину просторових відхилень.

Загальний припуск розподіляється між попереднім і чистовим шліфуванням таким чином, щоб забезпечити стабільність процесу та досягнення заданої точності поверхні.

Розрахунок припусків зводимо в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 - Результати розрахунку припусків на розмір  $90H7^{(+0,035)}$  мм

Послідовність обробки	Елементи припуску. мкм				Розрахунковий припуск $\cdot Z_{\min}$ . мкм	Розрахунковий розмір . мм	Допуск І Т. мкм	Граничні розміри. мм		Граничні значення припусків. мм	
	$R_{z-i}$	$T_{i-}$	$\rho_i$	$\epsilon_{yi}$				min	max	$2z_{\min}$	$2z_{\max}$
$\varnothing 90H7^{(+0,035)}$ Заготовка	40	160	45	-	-	89.050	350	89.05	89.40	-	-
Шліфувати попередньо	10	20	-	170	$\frac{2 \cdot 386}{772}$	89.822	87	89.822	89.909	0.509	0.772
Шліфувати кінцево	-	-	-	59	$\frac{2 \cdot 89}{178}$	90.000	35	90.000	90.035	0.126	0.178

Значення просторових відхилень оброблюваної поверхні відносно базової визначається за формулою

$$\rho = \rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot l, \quad (3.2)$$

де  $\Delta_k$  - питома кривизна при литві в одній напівформі,  $\Delta_k = 1,0$  мкм/мм,[3];  
 $l$  – довжина оброблюємої поверхні,  $l = 45$  мм.

$$\rho = 1,0 \cdot 45 = 45 \text{ мкм.}$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 3.3.

На інші операції механічної обробки геометрична сума просторових відхилень буде настільки малою, що нею можна знехтувати.

Так як заготовка встановлюється в трикулачковому патроні, от похибка установки визначається за формулою

$$\varepsilon_{y_i} = \sqrt{\varepsilon_o^2 + \varepsilon_p^2}, \quad (3.3)$$

де  $\varepsilon_o$  – похибка установки в осьовому напрямку,  $\varepsilon_o = 80$  мкм;

$\varepsilon_p$  – похибка установки в радіальному напрямку,  $\varepsilon_p = 150$  мкм.

$$\varepsilon_{y_i} = \sqrt{80^2 + 150^2} = 170 \text{ мкм.}$$

Похибка установки на послідуєчих операціях визначається за формулою

$$\varepsilon_y = 0,05\varepsilon_{y_i} + \varepsilon_{\text{інд}}, \quad (3.4)$$

де  $\varepsilon_{\text{інд}}$  – похибка індикації інструмента,  $\varepsilon_{\text{інд}} = 50$  мкм.

$$\varepsilon_y = 0,05 \cdot 170 + 50 = 59 \text{ мкм.}$$

Визначаємо припуск на виконуємі операції за формулою (3.1)

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Попереднє шліфування

$$2z_{\min} = 2(50 + 160 + \sqrt{45^2 + 170^2}) = 2 \cdot 386 \text{ мкм.}$$

Кінцеве шліфування

$$2z_{\min} = 2(10 + 20 + 59) = 2 \cdot 89 \text{ мкм}$$

Загальні припуски знаходяться за формулою

$$2z_{\max 3} = \sum 2z_{\max i}, \quad (3.5)$$

$$2z_{\min 3} = \sum 2z_{\min i}. \quad (3.6)$$

$$2z_{3 \max} = 0,772 + 0,178 = 0,950 \text{ мкм;}$$

$$2z_{3 \min} = 0,509 + 0,126 = 0,635 \text{ мкм;}$$

Перевірка правильності розрахунків

$$2Z_{3 \max} - 2Z_{3 \min} = IT_3 - IT_d, \quad (3.7)$$

$$0,950 - 0,635 = 0,350 - 0,035,$$

$$0,315 = 0,315.$$

Числові значення припусків визначені вірно.

Визначимо дійсний розмір заготовки

$$D_{\text{зар}} = 89_{+0,05}^{+0,40} \text{ мм.}$$

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



передчасного руйнування в умовах експлуатації. Тому вибір раціональної технології підготовки поверхні є обов'язковою складовою процесу відновлення.

Підготовка поверхні під плазмове напилення включає комплекс взаємопов'язаних операцій, які виконуються у визначеній послідовності. На першому етапі проводиться очищення деталі від механічних та хімічних забруднень, таких як залишки мастильних матеріалів, пил, абразивні частинки, продукти зношування та корозії. Для цього застосовують механічні (щітки, струменеве очищення) або хімічні способи очищення.

Наступним етапом є знежирення поверхні. Воно виконується шляхом миття деталі у водних розчинах, що містять поверхнево-активні речовини (ПАР), або органічних розчинників. Метою цієї операції є повне видалення жирових плівок, які можуть суттєво знизити адгезію покриття. Особливо важливим є забезпечення чистоти поверхні без залишків реагентів, що досягається додатковим промиванням у чистій воді.

Після очищення і знежирення проводиться сушка деталі для видалення вологи, оскільки її наявність може призвести до утворення пор у напиленому шарі та зниження його якості. Сушіння здійснюється гарячим повітрям або в сушильних камерах.

Однією з ключових операцій є попередня механічна обробка поверхні. Вона виконується з метою:

- відновлення правильної геометричної форми поверхні;
- видалення дефектного шару матеріалу, який утворився в процесі експлуатації;
- створення необхідної шорсткості для підвищення зчеплення покриття з основою.

Шорсткість поверхні має суттєвий вплив на адгезійну міцність покриття. З одного боку, збільшення шорсткості сприяє механічному закріпленню частинок напиленого матеріалу, а з іншого — надмірна шорсткість може призвести до

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

концентрації напружень і зниження міцності покриття. Тому важливим є забезпечення оптимального значення параметра шорсткості.

Крім того, перед напиленням необхідно виконати захист тих ділянок деталі, які не підлягають відновленню. Для цього використовують спеціальні екрани, маски або покриття, що запобігають попаданню напиленого матеріалу на небажані поверхні.

Як метод підготовки поверхні в даному випадку обрано внутрішнє шліфування на спеціалізованому внутрішньошліфувальному верстаті. Такий вибір обумовлений необхідністю забезпечення високої точності геометричних параметрів та стабільності обробки внутрішньої поверхні.

У процесі шліфування формується поверхня з шорсткістю не менше  $Ra = 12\text{мкм}$ , що є достатнім для забезпечення надійного зчеплення напиленого шару з основним металом. При цьому створюється мікрорельєф, який сприяє механічному закріпленню частинок покриття та підвищує його експлуатаційні характеристики.

Додатковою перевагою шліфування є можливість точного регулювання розмірів оброблюваної поверхні, що важливо для подальшого нанесення рівномірного шару покриття та забезпечення необхідного припуску на фінішну обробку.

Таким чином, обраний метод підготовки поверхні — внутрішнє шліфування — дозволяє одночасно вирішити декілька технологічних задач: забезпечити необхідну геометричну точність, сформувати оптимальну шорсткість та створити умови для якісного нанесення плазмового покриття.

### **3.5 Розрахунок та вибір режимів обробки і відновлення поверхні**

Для підготовки поверхні під відновлення використаємо шліфування, цей метод підготовки поверхні деталі, яка підлягає напиленню є найбільш оптимальним, так як забезпечує необхідну шорсткість та розміри.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Габаритні розміри даної деталі складають:  $\varnothing 110 \times \varnothing 90 \times 45$  мм, а тому для механічної обробки приймаємо внутрішшліфувальний верстат мод. 3К227В, спосіб кріплення діталі – патрон трикулачковий. Матеріал заготовки чавун СЧ 20, твердість від 170 до 241 НВ.

Призначимо шліфувальний круг для обробки заданої поверхні. Для заданого матеріалу і його твердості приймаємо шліфувальний круг із слідуючою характеристикою: ПВ 24А63ПСМ23К8А 35м/с [5].

Встановлюємо діаметр  $D_k$  та висоту (ширину)  $V_k$  круга. При внутрішньому шліфуванні рекомендується  $D_k / D_3 = 0,8 - 0,9$ . Приймаємо це співвідношення 0,85. Тоді  $D_k = 0,85D_3 = 0,85 \times 90 = 76,5$  мм. Приймаємо  $D_k = 60$  мм. Висоту круга  $V_k$  для обробки отвору приймаємо меншою на 10 – 15 мм, тобто  $V_k = 45 - 10 = 35$  мм [5].

Розміри  $D_k = 60$  мм і  $V_k = 35$  мм передбачені стандартом і можуть використовуватись на прийнятому верстаті.

Призначаємо режими різання.

Визначаємо частоту обертання шліфувального круга при прийнятій швидкості  $V = 35$  м/с

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 60} = 11146 \text{ хв}^{-1}, \quad (3.8)$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо  $n_k = 9000 \text{ хв}^{-1}$  [5].

Визначаємо частоту обертання заготовки за [6], приймаємо в межах 100 – 600  $\text{хв}^{-1}$ . Пиймаємо  $n_3 = 200 \text{ хв}^{-1}$ .

Визначаємо швидкість руху окружної подачі за формулою

$$V_{\text{Сокр}} = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_3}{1000} = \frac{3,14 \cdot 90 \cdot 200}{1000} = 56,5 \text{ м/хв} (\approx 0,942 \text{ м/с}). \quad (3.9)$$

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За [6] визначимо швидкість руху повздовжньої подачі  $V_{\text{Сповз}}$ . Приймаємо  $V_{\text{Сповз}} = S_M = 7000$  мм/хв.

Враховуємо поправочні коефіцієнти на повздовжню подачу  $K_{SM1} = 0,77$ ,  $K_{SM2} = 1,0$ .

Тоді

$$V_{\text{Сповз}} = 7000 \cdot K_{SM1} \cdot K_{SM2} = 7000 \cdot 0,77 \cdot 1,0 = 5390 \text{ мм/хв.} \quad (3.10)$$

За [6] визначаємо поперечну подачу круга, приймаємо  $S_{\text{тподв.ход}} = 0,004$  мм/подв. хід.

Враховуємо поправочні коефіцієнти на поперечну подачу які визначаються за [6]:  $K_{St1} = 1,0$ ;  $K_{St2} = 0,93$ ;  $K_{St3} = 1,0$ ;  $K_{St4} = 1,2$ ;  $K_{St5} = 1,0$ ;  $K_{ж} = 1,0$ ;  $K_1 = 1,0$ .

$$S_{2x} = S_{\text{тподв.хід}} = 0,004 \cdot K_{St1} \cdot K_{St2} \cdot K_{St3} \cdot K_{St4} \cdot K_{St5} \cdot K_{ж} \cdot K_1, \quad (3.11)$$

$$S_{2x} = 0,004 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,0045 \text{ мм/подв.хід.}$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо  $S_{2x} = 0,004$  мм/подв.хід.

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання за формулою

$$N_{\text{різ}} = N_{\text{табл}} \cdot K_{N1}, \quad (3.12)$$

де  $N_{\text{табл}}$  – табличне значення потужності різання при заданих умовах обробки,  $N_{\text{табл}} = 3,3$  кВт, [6];

$K_{N1}$  – поправочний коефіцієнт на потужність різання,  $K_{N1} = 1,16$ , [6].

Тоді

$$N_{\text{різ}} = 3,3 \cdot 1,16 = 3,85 \text{ кВт.}$$

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевіряємо, чи достатня потужність приводу шліфувального шпінделя верстата. У верстата 3К227В  $N_{\text{шп}} = N_{\text{д}} \cdot \eta = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7$  кВт;  
 $N_{\text{різ}} \leq N_{\text{шп}}$  ( $3,85 < 4,7$ ), тобто обробка можлива.

Перевіряємо, чи виконується умова безприпального шліфування за формулою

$$N_{\text{уд}} = \frac{N_{\text{різ}}}{B_{\text{к}}} = \frac{3,85}{35} = 0,11 \text{ кВт/мм.} \quad (3.13)$$

Так як  $N_{\text{уд}} = 0,13 \text{ кВт/мм} > 0,11$  то умова безприпального шліфування виконується.

Основний час на операцію визначаємо за формулою

$$T_{\text{o}} = \frac{2 \cdot L \cdot h}{V_{\text{Сповз}} \cdot S_{2x}}, \quad (3.14)$$

де  $L$  – довжина ходу столу; при перебігі на кожну сторону  $0,5B_{\text{к}}$ ;

$h$  – припуск на сорону,  $h = 0,15$  мм.

$$T_{\text{o}} = \frac{2 \cdot 45 \cdot 0,15}{5390 \cdot 0,004} = 0,626 \text{ хв.}$$

Для плазмового напилення використовується універсальна плазмова установка моделі УПМ – 4.

Технічна характеристика плазмотрона для наплавки внутрішніх поверхонь слідує:

- допустима сила струму, А 260
- продуктивність наплавки, кг/год від 0,3 до 3,0
- діаметр, мм:
- плазмоутворюючого сопла 4,0

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вихідного отвору захистного сопла від 10,0 до 12,0  
- висота плазмотрона, мм 48

Приведемо режими напилення в залежності від наплавляемого матеріалу.

Наплавочний дріт марки Нп – 30Х13.

Склад плазмоутворюючого газу: аргон – від 70 до 95 %, азот – 530 %.

Витрати газу (л/хв):

плазмоутворюючого – від 35 до 45,

транспортуючого – від 6 до 9.

Сила струму – 250 А.

Напруга дуги від 45 до 50 В.

Відстань напилення від 80 до 120 мм.

Частота обертання деталі – від 20 до 40 хв<sup>-1</sup>.

Напилене плазмове покриття має підвищену твердість, ламкість і знижену теплопровідність з – за оксидних включень і пор в шарі покриття. Негативний вплив оказує якість напиленого плазмового покриття і різниця в коефіцієнтах термічного напруження, яке виникає в процесі напилення. Все це визначає ряд особливостей наступної обробки покриття. Використання звичайних режимів в процесі механічної обробки призводить до виникнення тріщин, сколів і додаткових термічних напружень. Для механічної обробки плазмового покриття необхідно використовувати алмазний інструмент. Приступати до чистової обробки деталей з плазмовим покриттям слід не раніше ніж через 24 години після напилення в зв'язку з необхідністю релаксації внутрішніх напружень в деталях та покриттях. При вірному шліфуванні покриття не повинно мати вигляд глянцевого чи полірованого. Шліфування проводиться з подачею фільтрованої охолоджувальної рідини (кращім варіантом є вода з додатком 5 % емульсола при витраті від 0,6 до 0,85 л/хв.).

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 4 Проектування технологічного оснащення

За основу, для розробки установки для відновлення деталей плазмовим напиленням прийнята установка моделі СПМ – 1.

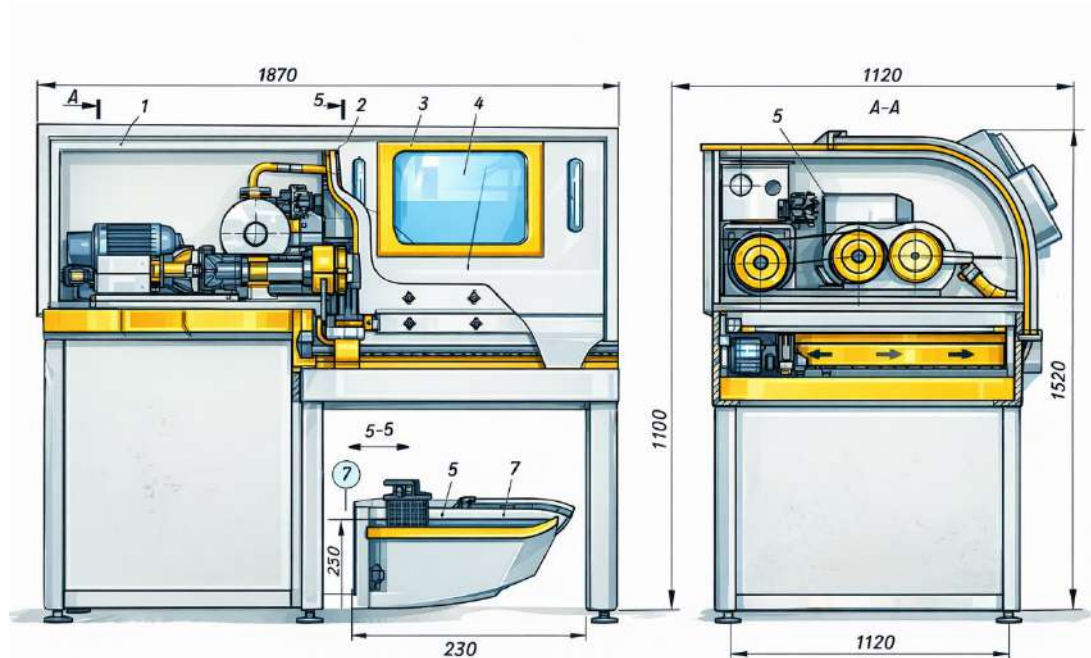


Рисунок 4.2 – Установка для відновлення деталей плазмовим напиленням

Установка призначається для нанесення покриттів плазмовим напиленням на внутрішні циліндричні поверхні деталей. Крім того, установка може бути використана для нанесення покриттів на зовнішні поверхні циліндричних деталей. Відновлюємо деталь встановлюється на планшайбу чи в трикулачковий патрон. Переміщення горілки і обертання деталі здійснюється роздільними приводами, що дозволяє плавно регулювати крок напилення і отримувати рівномірне покриття. Регулювання швидкостей обертання деталей виконується ступінчасто за допомогою клинопасової передачі, а в межах кожної ступені – плавно за рахунок зміни числа обертів електродвигуна постійного струму 1. Горілка розміщена на рухомому візку, пересування якого здійснюється гвинтом 7 і гайкою від електродвигуна 6 через черв'ячний редуктор 5. На рухомому візку консольно

									Арк.
									51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

встановлена штанга 8, до якої кріпиться плазмова горілка. Вісь горілки встановлюється відносно напилюємої поверхні шляхом переміщення горілки по штанзі.

Для отримання покриттів з мінімальним припуском на обробку, запобіганню надлишкового нагріву і окислення деталі напilenня виконується за декілько проходів. Зворотно – поступовий рух горілки при цьому виконують реверсуванням електродвигуна 6 від кінцевих вимикачів, які встановлюються на верхній напрямній рухомого візка.

За процесом напilenня спостерігають через скло 3, яке захищає оператора від випромінювань. Скло вмонтовано в рухому кришку 4. При завантаженні деталей в металізаційну камеру рухома кришка легко відсувається по напрямним. Крупно габаритні деталі встановлюють на планшайбі з використанням вантажопід’ємного механізму.

Технічна характеристика плазмотрона для наплавки внутрішніх поверхонь слідує:

- допустима сила струму, А	260
- продуктивність наплавки, кг/год	від 0,3 до 3,0
- діаметр, мм:	
плазмоутворюючого сопла	4,0
вихідного отвору захистного сопла	від 10,0 до 12,0
- висота плазмотрона, мм	48

Наплавочний дріт марки Нп – 30Х13.

Склад плазмоутворюючого газу: аргон – від 70 до 95 %, азот – 530 %.

Витрати газу (л/хв):

    плазмоутворюючого – від 35 до 45,  
    транспортуючого – від 6 до 9.

Сила струму – 250 А.

Напруга дуги від 45 до 50 В.

Відстань напilenня від 80 до 120 мм.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## 5 Оцінка зносостійкості вузла тертя, виконаного різними технологіями

### 5.1 Постановка задачі випробувань зносостійкості

На відміну від поршневих витиснення рідини в роторних нагнітачах походить з робочих камер, що роблять обертальний рух. Витискувачі цих нагнітачів роблять разом з ротором обертальний рух. Витиснення рідини виробляється або в результаті обертального, або обертального і зворотно-поступального руху.

У відповідності зі сказаним роторної гидромашини називають машину, у якої рухливі елементи, що утворюють робочу камеру, роблять обертальний рух витискувачів. Робоча камера роторного нагнітача обмежується поверхнею статора, ротора і витискувача.

По характері руху робочих органів роторні нагнітачі бувають роторно-обертальними і роторнопоступовими. До першого відносяться такі нагнітачі, у яких витискувачі разом з ротором роблять обертальний рух. До цього класу нагнітачів відносяться зубцюваті (шестерені) і гвинтові. У зубцюватих нагнітачах робочі камери разом з рідиною переміщуються в площині, перпендикулярній осі обертання ротора, а в гвинтових — уздовж осі обертання.

Зворотно-поступальним відносяться такі нагнітачі, у яких витискувачі, обертаючись разом з ротором, одночасно роблять зворотно-поступальні рухи. До цього класу нагнітачів відносяться шибєрні (пластинчасті) і роторно-поршневі (радіальні й аксіальні). У роторно-поршневих нагнітачах витискувачами звичайно служать поршні чи плунжери, що розташовуються або радіально (їхнє переміщення спрямоване уздовж радіуса обертання ротора), або аксіально (їхнє переміщення спрямоване паралельно осі обертання ротора). Усі роторнопоступальні нагнітачі можуть виконуватися як регульованими, тобто зі змінюваним обсягом робочої камери, так і нерегульованими. Усі роторно-обертальні нагнітачі виконуються нерегульованими.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відмінною рисою роторних нагнітачів є відсутність усмоктувальних і напірних клапанів. Це порозумівається тим, що в роторних нагнітачах робочий орган захоплює в порожнині усмоктування деякий обсяг рідини, що переміщається разом з робочим органом до порожнини нагнітання, куди рідина витісняється під дією деякого тиску. Відповідно до цим основними параметрами роторних нагнітачів є: робочий обсяг  $V_0$ , подача  $Q$ , тиск нагнітання  $p$ , момент  $M$ , потужність  $N$ , а також об'ємний  $\eta_0$  і механічний  $\eta_M$  ККД.

Залежність подачі  $Q$  нагнітача від тиску  $p$  при всіх інших рівних умовах (частоті обертання ротора, температурі, в'язкості рідини і т.д.) називають характеристикою нагнітача.

Робочий обсяг роторного нагнітача виражається через обсяг однієї робочої камери  $v_0$  і число робочих камер  $Z_0$ .

$$V_0 = v_0 \cdot Z_0, \quad (5.1)$$

Тоді теоретична хвилинна подача роторного нагнітача при частоті обертання ротора  $n$  визначиться

$$Q_T = V_0 n, \quad (5.2)$$

Дійсна подача  $Q$  роторного нагнітача менше теоретичної  $Q_T$  внаслідок наявності в реальних нагнітачах об'ємних утрат. Об'ємні втрати  $\Delta Q$  (витоки) поділяються на дійсні  $\Delta Q_d$  й умовні  $\Delta Q_y$ . Дійсні об'ємні утрати виникають під дією перепаду тиску в результаті витоку рідини через зазори в ущільненнях з робочої порожнини в неробочу. Досвід показує, що дійсні витоки пропорційні перепаду тиску в нагнітачі. Умовні об'ємні утрати викликані неповним заповненням робочих камер рідиною при проході їх через зону усмоктування. Основними причинами цього явища вважають недостатній напір (малий тиск)

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

на вході в нагнітач і великий опір усмоктувальних каналів, що підводять рідину до розподільних вікон, а також опір у розподільних вікнах і в самих циліндрах.

При роботі роторних насосів опір усмоктувальної лінії може привести в залежності від значення абсолютного тиску до появи кавітації, що приводить до розриву потоку. Такий режим роботи насоса особливо реальний при високій частоті обертання. Дійсно, при збільшенні частоти обертання ротора зростає кількість рідини, що проходить через канали, що підводять, і вузол розподілу (розподільні вікна), і, отже, збільшуються втрати напору. Кількісне порівняння дійсних витоків рідини з умовними показує, що останні можуть скласти до 75% всіх об'ємних утрат.

Об'ємні утрати враховуються об'ємним ККД  $\eta_0$  і виражаються у виді залежності

$$Q = Q_T \cdot \eta_0 = V_0 n \eta_0, \quad (5.3)$$

Теоретичну (індикаторну) потужність роторного нагнітача  $N_T$  визначають як добуток теоретичної подачі  $Q_T$  на тиск, що розвивається нагнітачем

$$N_T = Q_T \cdot p = V_0 n p, \quad (5.4)$$

У цьому випадку теоретичний (індикаторний) момент на валу нагнітачі  $M_T$  при кутовій швидкості обертання  $\omega_0$  дорівнює

$$M_T = \omega_0 N_T, \quad (5.5)$$

Робота роторних нагнітачів завжди супроводжується втратою енергії (чи потужності) на тертя механічних частин, а також на подолання вязкостного й інерційного опору рідини в каналах машини. Ці механічні втрати потужності характеризуються механічним ККД  $\eta_M$ , що дорівнює відношенню теоретичної (індикаторної) потужності до потужності, підведеної до машини і називаною приводною потужністю на валу  $N_{np}$ . У цьому випадку

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{np} = \frac{N_T}{\eta_M} ; M_{np} = \frac{M_T}{\eta_M}, \quad (5.6)$$

де  $M_{np} = N_{np} \omega$  — приводний момент на валу.

Використовуючи виразами (5.3) і (5.4), одержуємо для приводної потужності

$$N_{np} = \frac{Q_p}{\eta_0 \eta_M} = N_{II} \eta \quad (5.7)$$

$N_{II} = Q_p$  — корисна потужність нагнітача;  $\eta = \eta_0 \eta_M$  — ККД нагнітача.

Нерівномірність подачі роторних нагнітачів оцінюється коефіцієнтом нерівномірності

$$a = \frac{Q_{max} - Q_{min}}{Q_{cp}} \quad (5.8)$$

де  $Q_{max}; Q_{min}; Q_{cp}$  — максимальна, мінімальна і середня подача відповідно.

### 5.1 Конструкція пластинчастого насосу

У пластинчастих насосах одноразової дії з торцевим розподіленням рідини (рисунок 5.1), при обертанні ротора 4, радіально розміщені 3, під дією відцентрової сили, притискаються до внутрішньої напрямної поверхні статора 1. Вісь статора зміщена відносно осі ротора на величину  $e$ . Оскільки геометрична вісь напрямної поверхні статора ексцентрична відносно осі ротора, об'єм робочої камери, обмежений двома сумісними пластинами, поверхнями ротора та статора і боковою кришкою, змінюється при обертанні ротора. Обертання ротора в напрямку стрілки призводить до збільшення об'єму  $A$  і зниження тиску. Під дією передачу між атмосферним тиском та тиском в

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 5.2 Матеріали пари тертя: пластина – статор

Матеріалом статора, в основному, служить сірий чавун (марки СЧ 20 – СЧ 52) ДСТУ 1412 – 88 [4]. Хімічний склад та фізико – механічні властивості чавуну наведені в таблицях 5.1 та 5.22 відповідно.

Таблиця 5.1 – Хімічний склад чавуна СЧ 20 ДСТУ 1412 - 88, у відсотках

Марка матеріалу	C	Si	Mn	S	P
СЧ 20	2,7-3,6	1,5-3,5	0,4-1,0	<0,1	<0,3

Таблиця 5.2 – Фізико – механічні властивості чавуна СЧ 20 ДСТУ 1412 - 88

Марка чавуну	Фізичні властивості			Механічні властивості			
	$\gamma$ , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	$\lambda$ , $\frac{\text{кал}}{\text{см} \cdot \text{с} \cdot \text{град}}$	$\alpha \cdot 10^6, \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	$\sigma_{\text{и}}$ , МПа	$\sigma_{\text{в}}$ , МПа	$a_{\text{м}}$ , $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{см}^2}$	НВ
СЧ 20	7,2-7,3	0,10-0,135	10-12	400	210	0,4-0,9	170-241

Пластини частіше виготовляють з маловуглецевих сталей (в залежності від того, який тиск створює насос). В токарних верстатах можливе застосування текстолітових пластин ДСТУ 5-52 (термореактивні пластмаси з листовим наповнювачем) ПТ; ПТ-1; ПТК. Фізикомеханічні властивості маловуглецевих сталей та текстоліту наведені відповідно у таблицях 3 та 4.

Таблиця 5.3 – Механічні властивості вуглецевої сталі звичайної якості згідно ДСТУ 380 – 88 та ДСТУ 9543 – 88

									Арк.
									58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ				

Марка сталі	$\sigma_B$ , кГ/мм <sup>2</sup>	$\sigma_T$ , кГ/мм <sup>2</sup> ,			$\delta_{10}$ , %	$\delta_5$ , %
		Не меньше, *			Не меньше	
		1	2	3		
Ст.0	32	-	-	-	18	22
Ст.1	32-40	-	-	-	28	33
Ст.2	34-42	22	20	19	26	31
Ст.3	38-40	24	22	21	23	27
Ст.4	42-44	26	25	24	21	25
Ст.5	50-53	28	27	26	17	21
Ст.6	60-63	31	30	30	13	16
Ст.7	70-74	-	-	-	9	11

Таблиця 5.4 – Фізико механічні властивості текстоліта ПТК, ПТ, ПТ-1

Властивість		Кількісна оцінка
Густина, $\gamma$ , $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$		1,3 – 1,4
Теплостійкість по Мартенситу, °С		125
Водопоглинання за добу, в % по вазі		0,35
$\sigma_{BC}$ , $\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$	Перпендикулярно слоям	2000 – 2500
	Паралельно слоям	1200 – 2500
Гр. Міцності при статичному згині: $\sigma_{ви}$ , $\frac{\text{кГ}}{\text{см}^2}$		1200 - 1600
Ударна вязкість: $\alpha_H$ , $\text{кГ} \cdot \frac{\text{см}}{\text{см}^2}$		25 – 35

### 5.3 Визначення навантаження на пластини

В більшості випадків конструкцій насосів пластини прижимаються до статора, тиском рідини, підведеним під її торець, та відцентровою силою. Розрахункова схема зображена на рисунок 5.2 В результаті виникає підвищене тертя пластин по статору. Сила, з якою пластина, яка знаходиться в момент всмоктування, піджимається до статора за рахунок тиску рідини, буде рівна [5, стр. 284]

$$P_0 = pbs \quad (5.9)$$

де  $p$  - робочий тиск,  $s, b$  - відповідно товщина і ширина пластини.

Згідно вихідних даних для насосу типа БГ12 – 4А робочий тиск становить  $p = 100$  кг/см<sup>2</sup>. Геометричні розміри пластини складають: довжина  $l = 18$  мм, товщина  $b = 4$  мм, ширина  $s = 10$  мм.

Враховуючи вихідні дані, та формулу 5.9 проведемо чисельну реалізацію.

$$P_0 = 100 \cdot 0.4 \cdot 1 = 40 \text{ кгс.}$$

Пластини, що знаходяться в момент нагнітання, будуть повністю розвантажені від радіальних сил тиску рідини. Практично при розрахунках навантаження, від рідини, діючі на пластину в положенні її між моментами всмоктування та нагнітання, умовно відносять до площини, рівній  $\frac{1}{3}$  товщини пластини на її довжину

$$P_0^I = \frac{1}{3} pbs \quad (5.10)$$

Тобто,  $P_0^I = \frac{1}{3} P = 13.33$  кгс.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

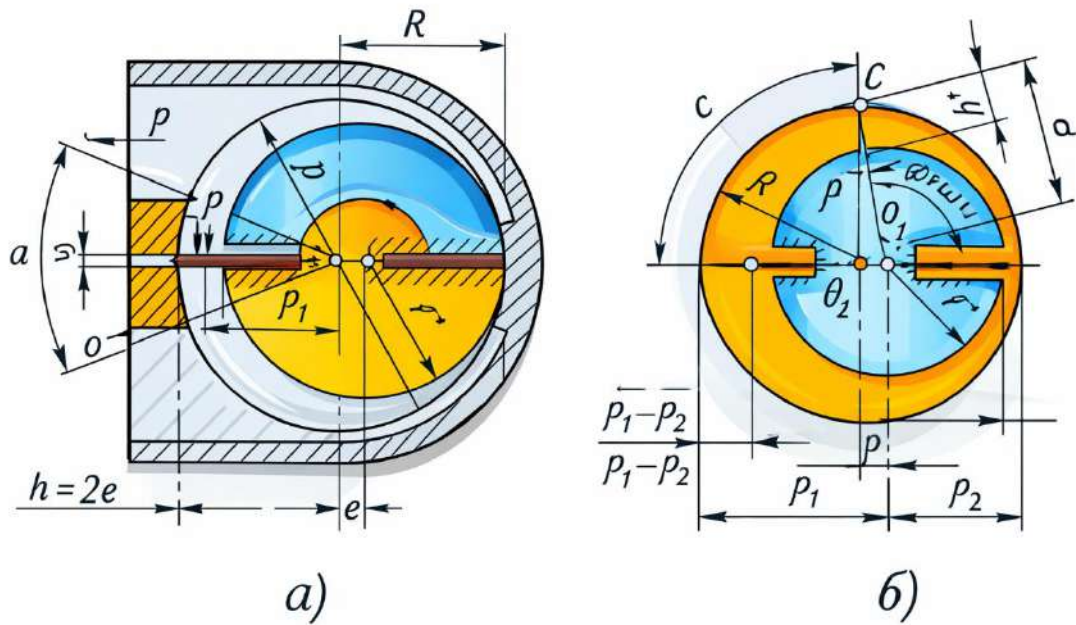


Рисунок 5.2 – Розрахункова схема пластинчастого насосу

Для підвищення герметичності пластини, вони часто обладнуються вільно посадженим в гніздо ущільненим циліндричним елементом, кривизна зовнішньої поверхні якого відповідає кривизні статорного кільця.

Друга складова сили в контактї, це відцентрова сила  $P_{ц}$ . Її можливо визначити за формулою

$$P_{ц} = \frac{m \cdot V^2}{r}, \quad (5.11)$$

де  $m$  - маса пластини;  $V$  - лінійна швидкість пластини,  $r$  - радіус від центра обертання. Враховуючи, що

$$V = \omega \cdot r, \text{ та } \omega = \frac{\pi \cdot n}{30}, \quad (5.12)$$

де  $\omega$  - кутова швидкість;  $n$  - кількість обертів ротора;

То силу можливо визначити за формулою

$$P_{ц} = \frac{m \cdot r \cdot \pi^2 \cdot n^2}{30^2} = 0.011m \cdot r \cdot n^2. \quad (5.13)$$

Маса пластини складає 13 гр, або 0,013 кг. Номінальна частота обертання вала насосу складає 1500 об/хв.. Максимальний радіус (відстань від центра обертання до крайньої точки поверхні статора) дорівнює 32 мм, або 0,032 м. Тоді відцентрова сила

$$P_{ц} = 0.011m \cdot r \cdot n^2 = 0,011 \cdot 0,013 \cdot 0,032 \cdot 1500^2 = 10,3 \text{ Н.}$$

Одже, сила, з якою пластина діє на статор,  $Q$  складатиметься з сумми відцентрової сили та сили від тиску рідини:

$$Q = P_0 + P_{ц} = 400 + 10,3 = 410,3 \text{ Н.} \quad (5.14)$$

Тобто сила в контактї складає 410,3 Н.

#### 5.4 Визначення середнього контактного тиску

Як було визначено вище, сила в контактї складає  $Q = 410,3 \text{ Н}$ . Визначивши площу контакту, на яку припадає дана сила, визначимо середній контактний тиск в контактї пластини зі статором. З вихідни даних нам відомі геометричні розміри пластин та статора, одже  $R_{ст}$ (радіус статора) = 32 мм;  $R_n$  (радіус пластини) = 31 мм.

Напівширину полоски контакту розрахуємо за наступною формулою

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = 1,128 \cdot \sqrt{\frac{Q}{1} \frac{R_n \cdot R_{cm}}{R_n - R_{cm}} \left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)} \quad (5.15)$$

де  $\mu_1, \mu_2$  - коефіцієнти Пуасона матеріалів (чавун, сталь)  $\mu_1 = 0,25$ ,  $\mu_2 = 0,26$ ;  $E_1, E_2$  - модуль пружності матеріалів (чавун, сталь)  $E_1 = 1.3 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $E_2 = 2 \cdot 10^5$  Н/мм<sup>2</sup>;  $Q$  - тиск пластини об статор в процесі роботи насосу  $Q = 410.3$ ;  $R_{cm}$ (радіус статора) = 32 мм;  $R_n$  (радіус пластини) = 31 мм.

Проведемо чисельну реалізацію (5.15).

$$A = 1,128 \sqrt{\frac{410.3}{10} \frac{32 \cdot 31}{32 - 31} \left( \frac{1 - 0.25^2}{1.3 \cdot 10^5} + \frac{1 - 0.26^2}{2 \cdot 10^5} \right)} = 0,784 \text{ мм.}$$

Для визначення контурного тиску скористаємося виразом

$$\sigma = 0.5642 \cdot \sqrt{\frac{Q}{1} \frac{\frac{R_{cm} - R_n}{R_n \cdot R_{cm}}}{\left( \frac{1 - \mu_1^2}{E_1} + \frac{1 - \mu_2^2}{E_2} \right)}} \quad (5.16)$$

Підставляючи конкретні значення, отримаємо

$$\sigma = 0.5642 \sqrt{\frac{410.3}{10} \frac{\frac{32 - 31}{32 \cdot 31}}{\left( \frac{1 - 0.25^2}{1.3 \cdot 10^5} + \frac{1 - 0.26^2}{2 \cdot 10^5} \right)}} = 33 \frac{H}{мм^2}$$

Одже, контурний контактний тиск між пластиною та статором складає 33 Мпа.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5.5 Лабораторні випробування пар тертя

### 1. Загальні положення та значення випробувань

Лабораторні випробування пар тертя є одним із ключових етапів дослідження трибологічних властивостей матеріалів і конструкцій. Вони дозволяють встановити закономірності зношування, визначити коефіцієнт тертя, оцінити вплив навантаження, швидкості ковзання, температури, мастильного середовища та інших факторів на роботу вузлів тертя.

На відміну від натурних випробувань, лабораторні дослідження забезпечують можливість відтворення контрольованих умов роботи та отримання відтворюваних результатів. Це дає змогу проводити порівняльну оцінку матеріалів, покриттів і технологій відновлення, а також встановлювати механізми зношування.

Основною метою лабораторних випробувань є:

- визначення інтенсивності зношування;
- оцінка коефіцієнта тертя;
- встановлення режимів роботи, при яких забезпечується мінімальне зношування;
- дослідження ефективності мастильних матеріалів;
- перевірка нових матеріалів і покриттів.

### 2. Класифікація лабораторних випробувань

Лабораторні випробування пар тертя можна класифікувати за кількома ознаками.

За характером руху:

- ковзання;
- кочення;
- комбіноване тертя (кочення з проковзуванням).

За умовами роботи:

- сухе тертя;
- граничне змащення;

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- гідродинамічне змащення;
- змішані режими.

За видом навантаження:

- постійне;
- змінне;
- ударне.

За схемою контакту:

- «площина–площина»;
- «кулька–площина»;
- «циліндр–площина»;
- «диск–диск»;
- «кільце–кільце».

Кожна з цих схем дозволяє моделювати певні умови роботи реальних вузлів машин і механізмів.

### 3. Основні параметри випробувань

У процесі лабораторних досліджень контролюються та вимірюються наступні параметри:

- навантаження на контакт;
- швидкість ковзання або кочення;
- коефіцієнт тертя;
- температура в зоні контакту;
- знос (лінійний, масовий, об'ємний);
- стан поверхонь після випробувань.

Коефіцієнт тертя визначається як відношення сили тертя до нормального навантаження. Його значення залежить від матеріалів, стану поверхні, мастильного середовища та режиму роботи.

Інтенсивність зношування оцінюється як відношення втрати матеріалу до пройденого шляху або часу роботи. Вона є одним із основних критеріїв довговічності пари тертя.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

#### 4. Випробувальне обладнання

Для проведення лабораторних досліджень застосовують спеціалізовані трибологічні установки (трибометри), які забезпечують задані умови контакту.

Найбільш поширені типи установок:

- машина тертя «кулька–диск»;
- установка «палець–диск»;
- машина «чотири кульки»;
- установка «кулька–циліндр»;
- стенди для випробування підшипників і зубчастих передач.

Типова установка складається з:

- приводу (електродвигуна);
- вузла навантаження;
- тримача зразків;
- системи вимірювання сили тертя;
- системи подачі мастила;
- датчиків температури.

Сучасні трибометри оснащені комп'ютерними системами збору та обробки даних, що дозволяє отримувати залежності коефіцієнта тертя від часу, навантаження та інших параметрів.

#### 5. Підготовка зразків до випробувань

Перед проведенням випробувань зразки повинні бути підготовлені відповідно до вимог методики.

Основні етапи підготовки:

- механічна обробка до заданих розмірів;
- шліфування і полірування;
- очищення від забруднень;
- знежирення;
- сушіння.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливим є забезпечення однакової шорсткості поверхні, оскільки вона суттєво впливає на результати випробувань. Нерівності поверхні визначають характер контакту та формування мастильної плівки.

У випадку дослідження покриттів особливу увагу приділяють їх товщині, рівномірності та адгезії до основи.

#### 6. Методика проведення випробувань

Методика випробувань визначається типом установки та метою дослідження. Загальна послідовність включає:

1. Встановлення зразків у робочу зону.
2. Налаштування навантаження.
3. Встановлення швидкості руху.
4. Подачу мастильного матеріалу (за необхідності).
5. Запуск установки.
6. Реєстрацію параметрів у процесі роботи.
7. Завершення випробувань і демонтаж зразків.

Під час випробувань важливо забезпечити стабільність умов, оскільки навіть незначні коливання навантаження або температури можуть впливати на результати.

#### 7. Методи оцінки зношування

Після завершення випробувань проводиться аналіз зношування поверхонь.

Основні методи оцінки:

- зважування зразків (масовий знос);
- вимірювання лінійних розмірів;
- профілометрія (визначення глибини зносу);
- оптична мікроскопія;
- електронна мікроскопія.

Також аналізується характер поверхні:

- наявність задирів;

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

- тріщини;
- сліди пластичної деформації;
- оксидні плівки.

#### 8. Механізми зношування

У процесі випробувань можуть проявлятися різні механізми зношування:

Адгезійне зношування

Виникає внаслідок захоплення мікронерівностей поверхонь.

Абразивне зношування

Обумовлене дією твердих частинок або виступів.

Втомне зношування

Пов'язане з циклічними навантаженнями та утворенням мікротріщин.

Корозійне зношування

Виникає під дією агресивного середовища.

У реальних умовах найчастіше спостерігається комбіноване зношування.

#### 9. Обробка результатів випробувань

Результати експериментів обробляються з використанням статистичних методів.

Будуються залежності:

- коефіцієнта тертя від часу;
- зносу від навантаження;
- температури від режиму роботи.

Виконується:

- усереднення результатів;
- оцінка похибок;
- побудова графіків.

Це дозволяє отримати достовірні висновки щодо поведінки матеріалів.

#### 10. Практичне значення випробувань

Результати лабораторних досліджень використовуються для:

- вибору матеріалів пар тертя;

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробки нових покриттів;
- оптимізації режимів роботи;
- підвищення ресурсу машин;
- зниження енергетичних втрат.

Особливо важливими є такі дослідження при відновленні деталей, де необхідно оцінити ефективність нанесених покриттів.

Лабораторні випробування пар тертя є ефективним інструментом дослідження трибологічних процесів. Вони дозволяють отримати об'єктивну інформацію про знос, коефіцієнт тертя та довговічність матеріалів. Правильна організація випробувань, підготовка зразків і обробка результатів забезпечують високу достовірність отриманих даних і дозволяють застосовувати їх для вдосконалення конструкцій і технологій.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

## ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз конструкції пластинчастого насоса показав, що найбільш навантаженою та схильною до інтенсивного зношування є пара тертя «пластина – статор». Основними механізмами руйнування в цьому вузлі є контактне-втомне та абразивне зношування, що призводить до зниження подачі насоса та погіршення його експлуатаційних характеристик.
2. Встановлено, що матеріал статора (сірий чавун СЧ20) забезпечує задовільні технологічні та експлуатаційні властивості, однак має обмежену зносостійкість у умовах підвищених контактних навантажень. Це обґрунтовує необхідність застосування методів відновлення та зміцнення його робочої поверхні.
3. На основі порівняльного аналізу методів відновлення визначено, що плазмове напилення є найбільш доцільним для даної деталі, оскільки дозволяє наносити локальні зносостійкі покриття з високою твердістю, забезпечує можливість обробки внутрішніх поверхонь складної форми та має кращі технологічні й екологічні характеристики порівняно з дуговою металізацією та електролітичним хромуванням.
4. Розроблено технологічний процес відновлення внутрішньої поверхні статора, який включає операції очищення, підготовчого шліфування, плазмового напилення та фінішної механічної обробки.
5. Очікується, що застосування розробленої технології дозволить підвищити зносостійкість робочої поверхні статора, збільшити ресурс вузла тертя та покращити експлуатаційні показники пластинчастого насоса. Отримані результати можуть бути використані при ремонті та відновленні гідравлічних агрегатів у виробничих умовах.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Література

- 1 Stachowiak, G. W., & Batchelor, A. W. (2014). *Engineering Tribology* (4th ed.). Butterworth-Heinemann.
- 2 Chan, D. J., & Stachowiak, G. W. (2004). Review of automotive brake friction materials. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D*, 218(6), 953–976. <https://doi.org/10.1243/0954407041856773>
- 3 Holm, R. (1967). *Electric Contacts: Theory and Application*. Springer.
- 4 Davis, J. R. (Ed.). (2004). *Handbook of Thermal Spray Technology*. ASM International.
- 5 Pawlowski, L. (2008). *The Science and Engineering of Thermal Spray Coatings* (2nd ed.). Wiley.
- 6 Bhushan, B. (2013). *Introduction to Tribology* (2nd ed.). Wiley.
- 7 Rabinowicz, E. (1995). *Friction and Wear of Materials* (2nd ed.). Wiley.
- 8 Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2020). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (11th ed.). McGraw-Hill.
- 9 Totten, G. E. (Ed.). (2017). *Handbook of Hydraulic Fluid Technology* (2nd ed.). CRC Press.
- 10 Blau, P. J. (2001). *The Significance and Use of the Friction Coefficient*. ASTM International.

					КРМТВА 26. 22097. 000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		