

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ, ТРАНСПОРТУ ТА АРХІТЕКТУРИ
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

магістра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): 132 «Матеріалознавство,
Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: **«Дослідження та розробка режимів
термодифузійного зміцнення для підвищення
експлуатаційних властивостей деталей автомобіля»**

Шифр МРТАМ 24.23597.000 ПЗ

Виконав: студент 2-го курсу,
група МТВАм-23-1


Підпис

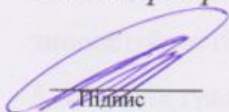
О. В. Бурбан
Ініціали, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.


Підпис

О.С. Дробот
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТАМ д.т.н., проф.


Підпис

О. В. Духа
Ініціали, прізвище

18 12 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра Трибології автомобілів та матеріалознавства

Освітньо-кваліфікаційний рівень магістр

Напрямок підготовки (спеціальність) _____

132 «Матеріалознавство»

Освітньо-професійна програма _____

Відновлення та технічний сервіс автомобілів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ

проф. д.т.н. Диха О.В.

7 жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Бурбану Олексію Віталійовичу

Прізвище, ім., я по батькові

1. Тема проекту (роботи) «Дослідження та розробка режимів

термодифузійного зміцнення для підвищення експлуатаційних властивостей деталей автомобіля»

керівник проекту (роботи) Дробот Ольга Савівна, к.т.н., доцент

Прізвище, ім., я по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом університету від 28 серпня 2024 р. № 60 (Д28)

2. Строк подання студентом проекту на кафедру 2 грудня 2024 року

3. Вихідні матеріали до проекту (роботи) Матеріали практики; робочі креслення досліджуваних деталей; нормативно-технологічна документація по розбиранню, дефектації, складанню і регулюванню вузла тертя; вимоги охорони праці і безпеки роботи при виконанні ремонтних робіт; техніко-економічні показники роботи підприємства.

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

1. Аналіз конструкції поршневих кілець та умови їх експлуатації. Опис матеріалів та методів зміцнення поршневих кілець. Розробка технології зміцнення ущільнювальних кілець. Опис методики експериментальних досліджень. Мікроструктура поршневих кілець після проведених режимів відновлювальних технологій. Розробка технології підвищення зносостійкості ущільнювальних кілець ЦПГ.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень) -----

Графічна частина роботи представлена у вигляді презентації на слайдах.

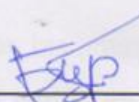
6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

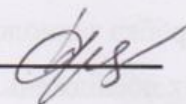
№ п/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	<i>Літературний огляд</i>	30.09. 2024	
2	<i>Технологчний розділ</i>	25.10. 2024	
3	<i>Дослідницький розділ</i>	15.11. 2024	
4	<i>Оформлення розрахунково-пояснювальної записки</i>	22.11. 2024	
5	<i>Оформлення презентації магістерської роботи</i>	1.12. 2024	
6	<i>Нормоконтроль магістерської роботи</i>	5.12. 2024	
7	<i>Підписання розділів. Затвердження дати захисту</i>	5.12. 2024	

Студент



О.В. Бурбан
Ініціали, прізвище

Керівник проекту (роботи)



О.С. Дробот
Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ.




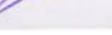
1.1 Умови роботи деталей кривошипно - шатунного механізму автомобіля	8
1.2. Основні види пошкоджень поршневих та ущільнювальних кілець автомобіля	12
1.3. Мета і задачі досліджень.	14
1.3.1. Вимоги до роботи поршневих та ущільнювальних кілець ДВЗ	18
1.3.2. Характер зносу поршневих і ущільнювальних кілець	22
1.3.3. Особливості зносу торцевих поверхонь компресійних поршневих кілець і поршневих канавок	26

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

2.1. Аналіз способів підвищення довговічності поршневих і ущільнювальних кілець.	28
2.2. Матеріали для кілець.	
2.3. Удосконалення технології виготовлення кілець	28
2.3.1 . Термічна обробка	33
2.3.2. Механічна обробка	34
2.3.3. Спеціальні покриття деталей ЦПГ.	35
2.3.4. Хіміко-термічні методи зміцнення.	40
2.3.4. Хіміко-термічні методи зміцнення.	42

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика проведення досліджень. Обладнання та прилади.	48
3.1.1. Вимірювання геометричних та фізико - механічних параметрів кілець.	48
3.1.2. Розробка складу насичуючої суміші.	49
3.1.3. Металографічні дослідження	50
3.1.4. Дослідження корозійної стійкості	51

МРТАМ 24.23597.000 ПЗ					
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата	
Виконав	Бурбан	Бурбан			Дослідження та розробка режимів термодифузійного зміцнення для підвищення експлуатаційних властивостей деталей автомобіля
Перевір.	Дробот	Дробот			
Н.контр.	Бабак	Бабак			Літера Аркуш Аркушів 4 ХНУ МТВАм-23-1
Затвер.	Диха	Диха			

3.1.5. Випробування на зносостійкість

3.1.6. Методика визначення температурної стабільності пружності і мікротвердості кілець.

3.1.7. Методика стендових випробувань

3.1.8. Контрольні заходи

3.2. Теоретичний аналіз умов роботи і зносу поршневих і ущільнювальних кілець.

3.2.1. Теоретичний аналіз умов роботи і зносу поршневих і ущільнювальних кілець.

3.2.2. Механізм руйнування матеріалів поршневих та ущільнювальних кілець.

3.2.3. Особливості термодифузійного насичення

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Вплив параметрів дифузійного насичення на глибину та властивості зміцненого шару.

4.2. Вплив термодифузійного зміцнення на геометричні і фізико – механічні властивості кілець.

4.3. Дослідження корозійної стійкості зміцнених кілець.

4.4 . Вплив термодифузійного зміцнення на зносостійкість матеріалів циліндро – поршневої групи двигунів.

4.5. Вплив термоциклічної обробки на якість зміцненого шару, продуктивність процесу насичення, механічні і геометричні характеристики кілець.

4.6. Вплив термодифузійного зміцнення з термоциклюванням на зносостійкість ущільнювальних кілець та спряжених з ними деталей.

ВИСНОВКИ

Література

Додатки

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Надійність та довговічність автомобіля залежить від надійної роботи кожного вузла та окремих деталей. Так як деталі мають різну довговічність, то вихід з ладу окремих деталей потребує ремонту автомобіля та заміни чи відновлення зношених вузлів.

Підвищити строк експлуатації автомобіля можна створенням безпечних умов експлуатації авто, своєчасним та якісним обслуговуванням та ремонтом, що не викликає передчасного зношування деталей та вузлів.

Погані дорожні умови, некваліфіковане керування, а також неякісне та несвоєчасне обслуговування є додатковими факторами, які скорочують строки експлуатації автомобіля.

Передчасний вихід з ладу окремої деталі чи вузла може бути результатом порушення конструкторських чи технологічних параметрів: невірно вибраного матеріалу, незадовільних режимів термічної та механічної обробки. Однак практика показує, що знос деталей прискорюється низькоякісним технічним обслуговуванням та іноді не своєчасним його проведенням.

Порушення правил технічної експлуатації автомобіля можуть стати причиною аварій, внаслідок яких виникають задирки, згин деталей, скручування, що вимагає відновлення пошкоджених деталей або їх заміни.

Несправності в автомобілі виникають внаслідок зносу деталей під дією сил тертя, втоми поверхневих шарів, чи навантажень, що перевищують розрахункові.

Внаслідок зносу змінюються початкові розміри спряжених поверхонь деталей, їх геометрична форма спотворюється, якщо знос нерівномірний. На

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спряжених поверхнях деталей з'являються ризики, виразки метала і поверхневі тріщини. Деталі, які працюють за високих температур крім зношування піддаються дії газової корозії та жолобленню. Переважна більшість несправностей з'являється внаслідок природного зношування.

Під час аварійних пошкоджень виникають тріщини, відколи, обломи, глибокі борони, задирки, погнутість і скрученість, тобто дефекти, які є наслідком порушень правил технічної експлуатації автомобілів, та за нормальних умов експлуатації не повинні з'являтися.

Деталі, які працюють при статичних навантаженнях, мають меншу довговічність внаслідок зносу їх робочих поверхонь.

Деталі, які працюють при динамічних навантаженнях виходять з ладу внаслідок зносу та втоми.

Централізований ремонт деталей машин став ефективним шляхом задоволення потреби в запасних частинах. Деталь, яку треба відремонтувати - ідеальна заготовка: вона не вимагає нових матеріальних і трудових витрат; форма і розміри її в максимально наближені до остаточних, тому відновлення пов'язане з мінімальним об'ємом механічної обробки, кількість пошкоджених поверхонь, як правило, невелика. Застосування ефективних методів зміцнення при ремонті дозволяє підвищувати ресурси деталей порівняно з новими. Все це визначає високу ефективність правильно організованого відновлюваного ремонту. При величезному парку машин він забезпечує велику економію матеріалів, енергії і затрат праці.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ.

1.1 Умови роботи деталей кривошипно - шатунного механізму автомобіля

До рухомих деталей кривошипно-шатунного механізму належать поршень з поршневими кільцями, поршневий палець, шатун, колінчастий вал і маховик.

Поршень (рис.1.1) - відповідальна деталь двигуна, оскільки за його допомогою здійснюються всі процеси: всмоктування й стиск свіжого повітря або пальної суміші, сприймання тиску газів під час спалаху і згоряння пальної суміші та передача сили через поршневий палець і шатун на колінчастий вал [1].



Рисунок 1.1 - Поршень

Поршень складається з чотирьох основних частин – днища, головки, юбки і бобишки. Камера згоряння розміщується у днищі поршня. Головка поршня виконує роль ущільнення. В ній виконані канавки під поршневі кільця. Юбка – направляюча частина поршня, в ній виконують канавки під маслоснімне кільце. У бобишках поршня передбачені отвори під поршневий палець. Поршні комплектують за масою, зовнішнім діаметром юбки і

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

діаметром отвору під поршневий палець. Позначення розмірної і масової групи наносять на днище поршня.

Поршневі кільця забезпечують щільне рухоме з'єднання між поршнем та гільзою циліндра, а також відводить частину теплоти від днища поршня до дзеркала гільзи циліндра.

За призначенням кільця поділяють на *компресійні* (ущільнювальні), їх встановлюють по 3 – 4, і *маслознімні* – їх встановлюють по 1-2.

Компресійні кільця не допускають надходження газів із камери згоряння в картер.

Компресійні кільця запобігають надходженню газів із камери згоряння в картер, їх виготовляють із спеціальних легованих чавунів з хорошою пружністю та високою стійкістю проти спрацювання, шляхом індивідуальної відливки і з наступною механічною обробкою. Після відливки кільця розрізають, а торцеву поверхню шліфують. Розріз в кільці називають замком. Замки мають різну форму: пряму, косу або ступінчасту.

Компресійні кільця встановлюють в канавках поршня. Оскільки діаметр кільця більший за діаметр поршня, то частина кільця, що виступає із канавки, перекидає зазор між циліндром і гільзою, а наявність в кільці замка дозволяє йому пружинити. Замок стискає кільце перед встановленням поршня в гільзу циліндра. Щоб зменшити проривання газів через замки (величина яких на встановлених в гільзу кільцях 0,2...0,8 мм), кільця встановлюють так, щоб замки не перебували в одній площині, а залежно від числа кілець — під кутом 90... 120° (рис.1.2).

Компресійне кільце працює надійно, якщо воно щільно прилягає до дзеркала циліндра. Для забезпечення щільного прилягання кільця виготовляють з різною формою поперечного перерізу [1, 2].

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПОРШЕНЬ ТА РОЗПОДІЛЕННЯ ТИСКУ ГАЗІВ НА ПОРШНЕВІ КІЛЬЦЯ

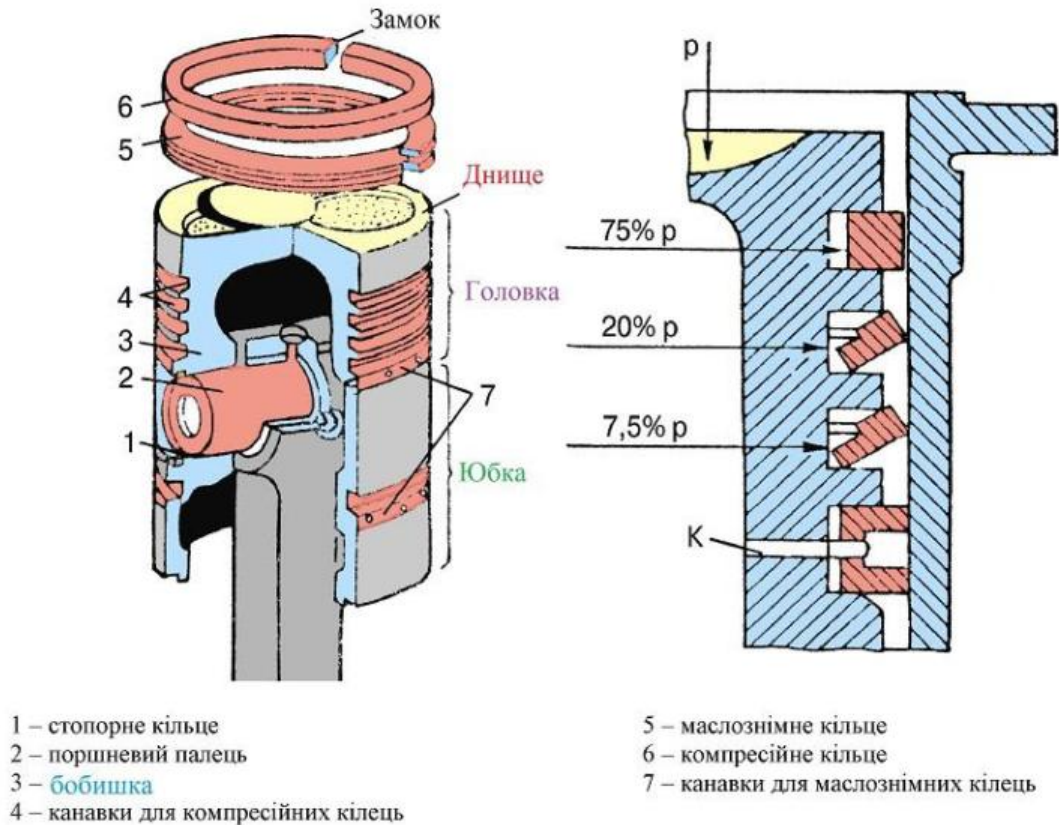


Рисунок 1.2 – Компресійні кільця

Маслознімні кільця встановлюють у канавках напрямної частини поршня. Вони знімають з дзеркала циліндра зайве масло і відводять його в картер, а масло, яке залишається, рівномірно розподіляють по дзеркалу.

При переміщенні поршня вниз основна частина масла знімається робочою поверхнею кільця з дзеркала гільзи і по масловідвідному каналу поршня надходить в картер. Масло, яке знімається з дзеркала компресійним кільцем, з додатковою силою притискує його до поверхні гільзи. При переміщенні поршня вверх частина масла (з канавок компресійного кільця) надходить до камери згоряння, забезпечуючи мащення компресійних кілець, а частина — відводиться в картер. Масло, яке у вигляді масляного туману потрапляє в зазор між гільзою і поршнем, також відводиться в картер.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Маслознімні кільця скребкового типу встановлюються по два в одній канавці виточками до юбки поршня, їхня робоча поверхня вкривається шаром хрому. Кільця діють незалежно одне від одного, тому добре припрацьовуються до профілю стінки гільзи і забезпечують роботу двигуна з незначною витратою масла. Основна їх перевага—технологічність виготовлення.

Збірні маслознімні кільця краще знімають масло зі стінок циліндра. Вони складаються з двох сталевих дискових кілець 8, між якими встановлюють розширювачі — осьовий 9 і радіальний 10. Радіальний розширювач виготовлений із сталюї пластини, яка завдяки своїй пружності збільшує тиск кілець на дзеркало (рис.1.3) [1,8].

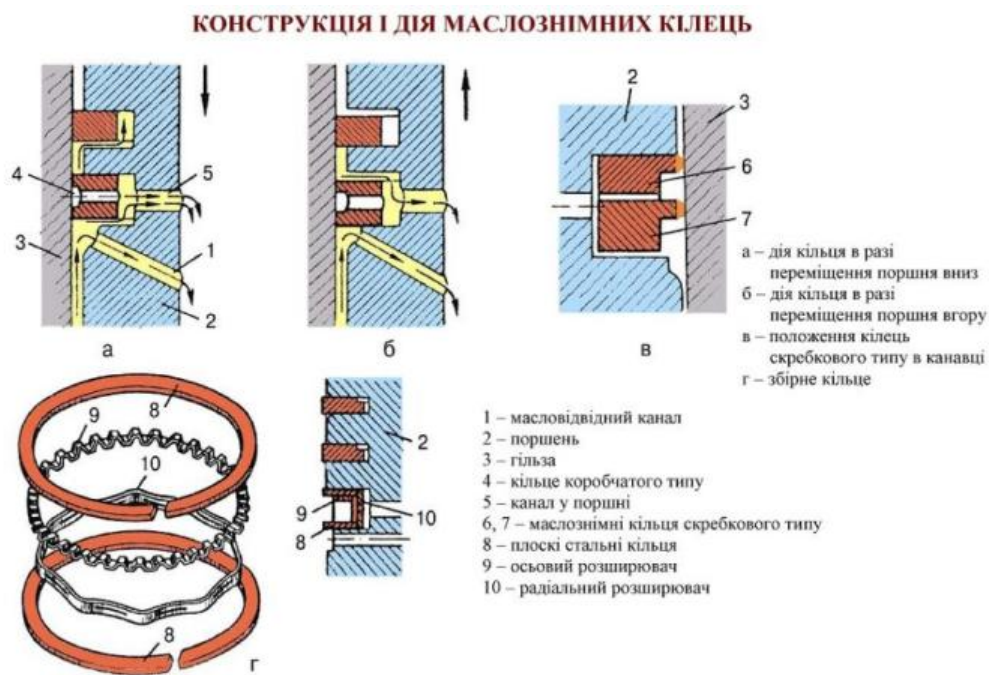


Рисунок 1.3 – Конструкція маслознімних кілець

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк. 11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. 2. Основні види пошкоджень поршневих та ущільнювальних кілець автомобіля

Поршневі кільця (рис. 1.4) запобігають прориву газів крізь зазор між юбкою поршня та стінкою циліндра, а також слугують для видаляння зайвої оливи зі стінок циліндра, щоб не допустити потрапляння її в камеру згоряння. Зазор у замку компресійних кілець становить $(0,4 \pm 0,1)$ мм. Всі кільця виготовляють з чавуну, за винятком оливознімних, які виконуються складеними — з двох плоских сталевих кілець і двох розширників (осьового та радіального). Верхні компресійні кільця покривають пористим хромом.

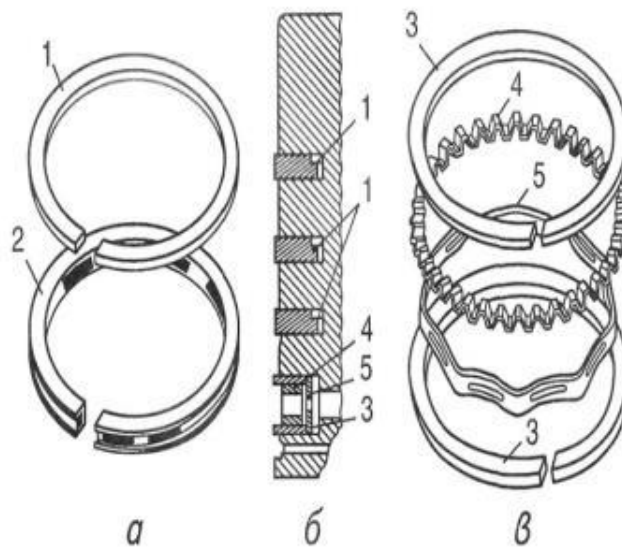


Рисунок 1.4 - Поршневі кільця:

а) – зовнішній вигляд; б) – розташування кілець на поршні двигуна автомобіля; в) – складене масло знімне кільце; 1,2 – відповідно компресійне і масло знімне кільця; 3 – плоскі сталеві диски; 4 – осьовий розширювач; 5 – радіальний розширювач

Компресійні кільця встановлюють на поршні так, щоб виточки на їхній внутрішній поверхні були повернуті вгору. Кільця, що не підлягають

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

хромуванню, покривають по зовнішній поверхні тонким шаром олова для кращого припрацювання. Встановлюючи кільця на поршень, їхні стики (замки) слід розташовувати під кутом 90° один до одного.

Основна функція поршневих кілець – ущільнення камери згоряння й забезпечення герметичності з'єднання деталей поршень – циліндр – канавки. Крім того, при згорянні робочої суміші значна кількість тепла поглинається поршнем і відділяється від нього поршневими кільцями.

Конструктивно поршневе кільце (рис.1.5) являє собою пласку розрізну пружину із зазором, який називається замком. Замок може бути прямим, косим або східчастим. Одержали поширення кільця із прямим замком як найбільш прості у виготовленні. Замок дозволяє встановлювати кільця на поршень і забезпечує вільне розширення їх при нагріванні в процесі роботи двигуна.

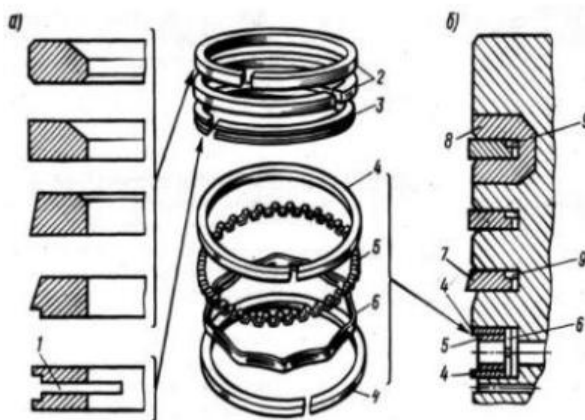


Рисунок 1.5 – Типи поршневих кілець

а – типи поршневих кілець; б – розташування кілець на поршні

Поршневі кільця є одним з важливих елементів справної роботи двигуна. Кільця поршневі бувають компресійними, які служать для запобігання поривів газу з камери згоряння в картер, і маслознімними - це кільця поршневі, які перешкоджають проникненню масла з картера в камеру

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

згоряння, знімаючи надлишки масла зі стінки циліндра. Маслознімні кільця встановлюють трохи нижче компресійних кілець. Відрізняються від компресійних кілець наскрізними прорізами.

Поршневі кільця виготовляють з ковкого чавуну, що дозволяє добре утримувати масло, зменшуючи при цьому знос. Кільця поршневі також роблять з нержавіючої сталі, які є удосконаленням хромованих чавунних кілець. Нержавіюча сталь має здатність протистояти високій температурі, більше ніж хромований чавун. Поршневі кільця з молібдену мають більш тривалі терміни експлуатації, ніж звичайні кільця.

Поршневі компресійні кільця призначені для прискорення роботи поверхонь поршневих кілець і стінок циліндрів, допомагати ущільненню кільця у верхній і нижній частинах канавки

Головне завдання другого компресійного кільця забезпечення додаткового ущільнення після верхнього масло знімного кільця. Друге кільце знаходиться під дією газів, які проходять повз верхнє кільце, а тиск і температура відрізняються від значень для верхнього компресійного кільця. Друге компресійне кільце допомагає маслознімному кільцю діючи, як скребок, запобігати потраплянню зайвого масла в камеру згоряння і виникнення детонації.

Маслознімні кільця дуже важливі для функціонування двигунів при використанні низькооктанового палива. Моторне масло, яке залишається в камері згоряння буде зменшувати октанове число палива, що може призвести до детонації. Воно також може забруднювати камери згоряння і головки поршнів, що обов'язково викличе зниження потужності двигуна.

Поршневі кільця виконують ряд функцій : 1- Ущільнення камери згоряння. Компресійні кільця підтримують компресію . 2 - Збільшення тепловіддачі від поршня через стінку циліндра, не допускаючи перегріву і задирки поршня. 3 - Регулювання товщини плівки моторного масла на циліндрі.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Руйнування та знос кілець

Поршневі кільця зазнають зношування, коли вони рухаються разом з поршнем у циліндрі. Зношування відбувається як наслідок взаємодії з механічними деталями (стінками циліндра і поршневими кільцями), так і внаслідок впливу на них гарячих відпрацьованих газів. Спостерігається також хімічне зношування, так як у пальному (особливо у дизельному) міститься сірка. Для мінімізації зносу їх виготовляють із зносостійких матеріалів, таких як чавун, і вони мають спеціальне покриття, що підвищує зносостійкість. Зазвичай верхнє кільце і кільце, що регулює подачу мащення, покриваються хромом або оловом чи нітридами, зокрема, з використанням плазмового напилення або мають керамічне покриття, створене вакуумним напиленням [1, 3].

Для покращення параметрів тертя та збільшення зносостійкості сучасні дизельні двигуни мають верхнє поршневе кільце, покрите модифікованим пористим хромом що має включення мікрочастинок алмазів або оксиду алюмінію.

Крім зносу зустрічається також руйнування кільця на декілька частин, залягання (закоксовування) через те, що у канавках поршня накопичився нагар. Серед найбільш поширених несправностей відзначається знос, руйнування і втрата рухливості поршневих кілець. До прискореного зносу і руйнування часто призводить детонація і перегрів двигуна.

Способи одержання поршневих кілець.

Екструзія

Сировина для ущільнювальних кілець проходить через кільцеподібну матрицю. Іноді екструзія включає бункер, де матеріал нагрівається. Після цього матеріал пропускають через фільтру. Різні форми екструзії включають екструзію тертям, холодну екструзію та мікроекструзію.

Лиття під тиском

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Лиття під тиском подібне до екструзії тим, що воно включає сировину та прес-форму. Можна використовувати метал, але зазвичай це пластикові полімери у вигляді гранул. Термопластичний еластомер зазвичай використовується для лиття під тиском для виготовлення ущільнювальних кілець і ущільнень. Гранули нагрівають, а потім зріджений матеріал вводять у форму, де він охолоджується та твердіє.

Формування під тиском

Формування під тиском також відоме як пресування. Цей виробничий процес використовує тепло та тиск для створення кільцевих ущільнень.

Трансферне формування

Трансферне формування схоже на формування під тиском. Обидва включають попередньо нагріті матеріали та порожнину форми. У той час як компресійне формування вимагає відкритої порожнини форми, трансферне формування використовує закриту порожнину форми. Коли порожнина закрита, підвищується тиск. Результатом є більш товсті та стабільні ущільнювальні кільця [12].

Термічна обробка кілець

Термічна обробка покращує механічні властивості металу, такі як твердість, в'язкість і міцність на розтяг. Це може підвищити довговічність і зносостійкість ущільнювальних кілець, що має вирішальне значення при роботі з високим тиском або високою температурою [8].

Внутрішні напруження

Виробничий процес може викликати внутрішні напруження в металі. Якщо їх не зменшити, ці напруження можуть призвести до деформації або поломки ущільнювального кільця під час експлуатації. Термічна обробка сприяє усуненню залишкових напружень та стабілізації структури металу.

Стійкість до корозії

Певні процеси термічної обробки можуть підвищити стійкість металу до

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

корозії. Це може бути корисним у випадках, коли ущільнювальне кільце піддається впливу корозійних речовин.

Стабільність розмірів

Термічна обробка також сприяє стабілізації розмірів та збереженню форми кілець за різних температурних умов.

1.3. Мета і задачі досліджень.

Надійність автомобільної та сільськогосподарської техніки постійно підвищується. Автомобілі мають відповідати сучасним вимогам надійності та зносостійкості, які залежать від високих показників конструктивної міцності окремих деталей та вузлів.

В роботі поставлені і вирішувались наступні задачі: розробка термодифузійних методів зміцнення поршневих і ущільнювальних кілець з метою підвищення зносостійкості і довговічності кілець та спряжених з ними деталей.

На ремонт та обслуговування автомобільної техніки витрачається у 3 - 4 рази більше виробничих потужностей ніж на виробництво нових. Обслуговуванням та ремонтом автомобільної техніки зайняті мільйони людей. 90 % сучасних машин потребують ремонту внаслідок виходу з ладу окремих деталей та пар тертя. Найбільша кількість відмов припадає на двигун автомобіля. Недостатню зносостійкість мають деталі циліндро-поршневої групи – поршневі кільця, поршень, гільза циліндра, а також спряження «вал вторинний – кільце ущільнювальне - втулка».

Підвищення зносостійкості цих деталей та їх спряжень і сьогодні продовжує бути нагальною задачею виробничників та працівників ремонтної та обслуговуючої служби.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.1. Вимоги до роботи поршневих та ущільнювальних кілець ДВЗ

Від компресійних та ущільнювальних кілець вимагають безвідмовної роботи протягом визначеного гарантійного строку експлуатації. Вимоги можна виконати, якщо кільця мають достатню зносостійкість, утомну міцність, корозійну стійкість по робочим поверхням та за умови, що вони не підвищують знос гільзи циліндра, втулки, кільцевих посадкових канавок та є стійкими до температурних впливів [4]. Недостатня стійкість до підвищених температур викликає зменшення пружності кільця внаслідок чого воно перестає виконувати свої функції належним чином.

Знос торців кільця і кільцевої канавки в поршні і у вала збільшує зазор між цими поверхнями. Радіальний знос кільця і гільзи циліндра чи втулки сприяє збільшенню зазору в замку кільця.

Від компресійних та ущільнювальних кілець вимагають безвідмовної роботи протягом визначеного гарантійного строку експлуатації.

В особливих умовах знаходиться верхнє компресійне кільце. Воно відіграє важливу роль в забезпеченні нормальної роботи двигуна. Працює кільце в таких умовах. Верхнє компресійне кільце сприймає основну частину тиску газів, який виникає в камері згоряння під час вибуху робочої суміші. Тиск може сягати 5 -10 МПа. Верхнє поршневе кільце працює у важких теплових навантаженнях. Температура залежить від багатьох факторів: повноти згоряння палива і жорсткості роботи двигуна; матеріалу поршня і циліндра, інтенсивності охолодження; якості та кількості мастила, яке надходить в зону тертя кільця (особливо у районі мертвої точки); потужності двигуна, конструкції поршня; форми і розмірів поршневих кілець, ступеня їх рухомості та розміщення їх замків; величини зазору між торцями кільця та канавки поршня; величини тиску і температури повітря, що подається та інших факторів.

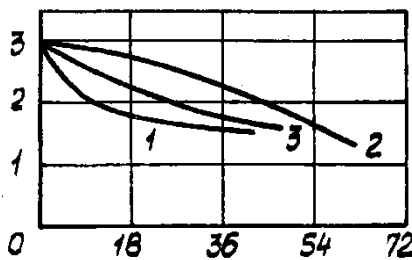
					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В зоні верхнього поршневого кільця дизельного двигуна СМД – 14 температура сягає 200 - 225°C. Температура алюмінієвих поршнів дизельних двигунів може сягати 375 - 400°C, а чавунних – до 425 - 450°C.

Нагрівання, а особливо перегрівання поршневих кілець в робочому стані сприяє втраті ними пружності, що погіршує ущільнюючу здатність в спряженні «кільце - гільза циліндра». Втрата пружності і прорив газів сприяють вібрації кілець, і як наслідки – підвищеному зносу, заклинюванню і руйнуванню.

Тепловий режим двигуна має важливе значення для умов мащення деталей ЦПГ. Незначне перевищення теплового режиму в зоні компресійних кілець викликає термічний розклад масла та його коксування. У верхній канавці відкладаються нагари – продукти згоряння палива і розкладання масла, що в свою чергу веде до подальшого порушення теплового режиму кілець. Наслідком цих процесів є повна втрата рухомості кільцем та ущільнюючої здатності, заклинювання і його руйнування.

Пружність, кгс



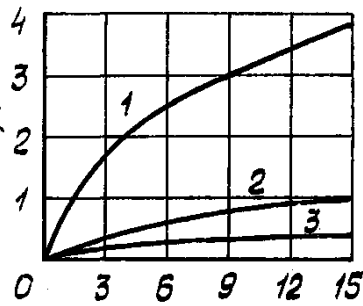
Шлях пробігу, 10³ км

Рисунок 1.1 – Вплив пробігу автомобіля на зміну пружності

поршневих кілець двигуна: 1 – першого компресійного; 2 – другого компресійного; 3 – масло знімного

Знос, г

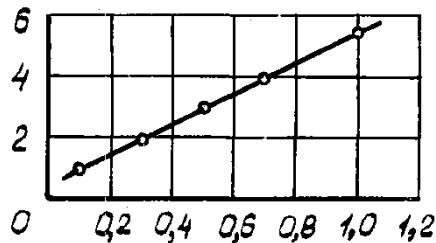
					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19



Час випробувань, год.

Рисунок 1.2 – Знос поршневих кілець в залежності від тривалості випробувань – 1, 2, 3 – номери кілець [3]

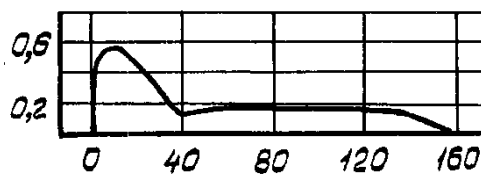
Відносний знос



Вміст сірки, %

Рисунок 1.3 – Вплив вмісту сірки в паливі на знос поршневих кілець

Знос, мкм



Відстань від ВМТ, мм

Рисунок 1.4 – Радіальний знос гільзи циліндра уздовж її твірної

Верхнє компресійне кільце працює в агресивному середовищі продуктів згоряння палива тому піддається інтенсивній корозії. Двигуни сільськогосподарських машин працюють в умовах забрудненої атмосфери,

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

абразивні часточки з якої попадають у двигун, насамперед у камеру згоряння і систему мащення. Тому поршневі кільця, а насамперед верхнє компресійне, перебувають в зоні абразивного зносу.

У верхній мертвій точці та поблизу неї внаслідок невеликих швидкостей переміщення поршня відбувається видавлювання плівки масла із спряження «кільце – гільза циліндра». Тому верхнє компресійне кільце працює в умовах напівсухого і навіть сухого тертя. Все це зумовлює значний знос верхнього компресійного кільця, який у 3 - 4 рази перевищує знос другого кільця та у 6 - 8 разів знос 3 –го поршневого кільця. (рис.1.2).

Очевидним є факт, що верхнє поршневе кільце працює у найбільш жорстких динамічних і температурних умовах, в присутності хімічно агресивного середовища, абразивних часточок, в умовах напівсухого і навіть сухого тертя. Такі умови роботи накладають високі вимоги до матеріалів верхніх компресійних кілець.

Ущільнювальні кільця є контактними ущільненнями. Використовують їх в тих випадках коли потрібна висока герметичність спряження деталей, одна з яких обертається під час роботи (вал і втулка). Кільцеві ущільнення повинні забезпечити мінімальний знос контактуючих поверхонь протягом усього строку експлуатації і витратити мінімальну потужність на тертя.

Ступінь герметичності ущільненого контакту залежить від перепаду тиску робочої рідини, щільності контакту ущільнених поверхонь, властивостей і температури робочої рідини, матеріалу ущільнень та деталі, яка обертається, форми і чистоти поверхні ущільнювальних кілець та спряжених деталей.

Ущільнювальні кільця використовують для ущільнення робочої порожнини гідродинамічних коробок передач. Конструкція кільцевого ущільнення деталей, що обертаються подібна будові компресійних кілець поршнів двигунів і компресорів. Однак у роботі ущільнювальних кілець є

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

принципові відмінності: кільце в канавці вала, що обертається, під дією пружних сил притискається до поверхні втулки, а під дією робочого тиску масла 0,95 -1,1 МПа - до бокової поверхні канавки вала. Між боковими площинами канавки і кільця є зазор, величина якого визначається конструкцією ущільнення та обробкою деталей.

Для ефективної роботи кільцевого ущільнення потрібно забезпечити:

плавне прилягання кільця до поверхні втулки з мінімальним зазором між боковими поверхнями кільця та канавки (найкраще – 10 -15 мкм) і мінімальним значенням коефіцієнту тертя; герметичність замка ущільнювального кільця; не допускати заїдання кільця в канавці за будь – яких режимів роботи гідротрансформатора. Виконати перелічені вимоги можливо при суворому дотриманні технології виготовлення ущільнювальних кілець. Над удосконаленням конструкції кілець та технології їх виготовлення працюють науковці та інженери.

1.3.2. Характер зносу поршневих і ущільнювальних кілець

Аналіз умов роботи поршневих кілець показав, що максимальному зносу піддається верхнє поршневе кільце двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Розрізняють такі види зносу поршневих кілець і спряжених з ними деталей циліндро-поршневої групи (ЦПГ): абразивний; корозійно - механічний; адгезійний (схоплювання) та ерозійний.

Абразивний знос

Найчастіше цей вид зносу зустрічається у вигляді мікронадрізів, подряпин, які виникають на робочих поверхнях спряжених деталей, внаслідок дії твердих часточок зовнішнього середовища (двоокису кремнію, корунду, продуктів зносу самих деталей). Особливо шкідливим для деталей ЦПГ є пил з розмірами часточок 0,2 – 5,0 мкм. Часточки більшого розміру швидше осідають в маслі на дно картера чи затримуються масляними

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фільтрами. Такі часточки попадають в камеру згорання разом з повітрям і вилітають в атмосферу з вихлопними газами. Часточки розміром меншим за 0,2 мкм чинять слабкий абразивний вплив на деталі ЦПГ. Під час роботи двигуна верхнє компресійне кільце, ковзаючи по стінці циліндра, перетирає часточки, які попали в спряження, зменшує їх абразивну активність. Виходячи з цього доцільним є підвищення твердості як кільця так і дзеркала циліндра.

Корозійно - механічний знос.

Під час горіння палива в камері згорання двигуна утворюється водяна пара, вуглекислота, чадний газ, сірчаний ангідрид, деякі органічні кислоти та сполуки. В газоподібному стані ці сполуки можуть сприяти корозійному впливу на деталі ЦПГ. Корозійна активність продуктів згорання зростає у декілька разів після взаємодії їх з водою, що утворюється внаслідок конденсації водяної пари на деталях ЦПГ. Внаслідок хімічних перетворень в циліндрах двигуна утворюється вугільна, сірчаниста, сірчана та азотна кислоти, які інтенсивно руйнують металеві поверхні внаслідок електромеханічного механізму.

Найбільш шкідливою є сірчана кислота, яка практично завжди присутня в продуктах згорання сірчаних палив. Внаслідок дії агресивного середовища на поверхні деталей накопичуються продукти корозії, переважно окислених деталей [1,9].

Під дією відносних переміщень спряжених деталей відбувається відшаровування продуктів корозії, викрихчування робочої поверхні, що викликає знос деталей. Величина корозійного зносу деталей ЦПГ залежить від якості палива, головним чином від вмісту в ньому сірки; повноти згорання палива, температури охолоджуючої рідини, температури дзеркала циліндра, поршнів і кільця, способу і якості змащування деталей ЦПГ і найголовніше – від матеріалу.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Адгезійний знос (схоплювання).

Цей вид зносу виникає внаслідок контакту двох фізично чистих (ювенільних) поверхонь. При наближенні таких поверхонь на відстані, де діють міжатомні зв'язки, в окремих мікрооб'ємах виникає схоплювання. Під дією взаємного переміщення відбувається вирив металу з однієї з поверхонь (в мікро – та макрооб'ємах) та його перенесення на іншу. Явище схоплювання переважно відбувається в зоні верхнього компресійного кільця, що зумовлено особливостями його роботи та змащування. Схоплювання кільця найбільш інтенсивно відбувається під час проходження ним верхньої мертвої точки, коли тиск в камері згорання максимальний, а умови змащування найгірші. В поєднанні з іншими видами зносу (абразивним та корозійно-механічним) це викликає максимальний знос гільзи в місцях зупинки верхнього компресійного кільця. Кільце також піддається максимальному зносу.

Ерозійний знос

Ерозійний знос виникає під дією на деталі газових чи рідинних струменів. При великих швидкостях струменів з поверхні деталі зриваються мікрооб'єми матеріалу. Процес пришвидшується при наявності в струмені рідини чи газу твердих механічних часточок, якими можуть бути тверді продукти згорання чи часточки пилу в камері стискання. Внаслідок ерозійних процесів прискорюється знос верхнього поршневого кільця та інших деталей ЦПГ.

Складні процеси, які відбуваються під час роботи деталей ЦПГ не дають можливості визначити домінуючий вид зносу.

Для двигунів тракторів та інших машин, які працюють в умовах високої забрудненості пилом – основним видом зносу є абразивний. В роботі [11] відзначають, що для двигуна Д - 54 абразивний знос сягає 60 -80% сумарного зносу гільз і поршневих кілець.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо недостатнє змащування, то переважно виникає схоплювання спряжених поверхонь. Такі умови виникають кожного разу під час запуску двигуна, особливо холодного, коли спряжені поверхні кільце – гільза та кільце – поршень знаходяться в режимі граничного і навіть сухого тертя.

Автори [x] показали, що інтенсивність зносу гільзи циліндра дизельного двигуна в момент перших спалахів під час його запуску у 17 - 28 разів вища ніж під час наступного прогрівання двигуна на холостому ходу. В роботі [1, 12] відомо, що один запуск двигуна – при температурі повітря +15... +20 прирівнюється за величиною зносу при роботі двигуна на холостому ходу протягом 2 - 4 годин. Інтенсивність зносу деталей ЦПГ під час запуску холодного двигуна пропорційно залежить від тривалості попередньої зупинки.

Експлуатація двигуна в низькотемпературному режимі сприяє інтенсивному утворенню водних розчинів кислот та обводненню мастила, що також збільшує знос циліндрів двигуна та погіршує захисні та змащувальні властивості мастила. Все це сприяє корозійно – механічному та адгезійному зносу. Автори [3] визначили, що зниження температури охолоджувальної рідини дизеля з 80 до 30°C збільшує інтенсивність зношування деталей ЦПГ у 2 -3 рази. Перевищення теплового режиму також сприяє збільшенню зносу, однак в 1,1 – 1,5 рази меншого.

Експлуатація карбюраторного двигуна при низьких температурах і малих навантаженнях з частими зупинками також супроводжується підвищеним зносом деталей ЦПГ, інтенсивним утворенням на них відкладень, які забивають масляні канали, що виводить двигун з ладу.

Знос деталей ЦПГ - складний процес. Мікроконтактне схоплювання супроводжується абразивним зносом за рахунок вирваних часточок метала, а окислення в деяких випадках локалізує процес мікроконтактного

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.3. Особливості зносу торцевих поверхонь компресійних поршневих кілець і поршневих канавок

Стан і зносостійкість торцевих поверхонь компресійних кілець і поршневих канавок має важливе значення для працездатності і довговічності двигуна. Спряження «кілець – канавка поршня» є найменш довговічним із усіх спряжень деталі ЦПГ. Це зумовлено не тільки жорсткими умовами роботи поршневих кілець, але й деякими особливостями роботи спряження. Розглянуті деталі здійснюють три види взаємних переміщень:

- в радіальному напрямку внаслідок нерівномірності зносу гільзи циліндра і перемінного прилягання поршня то до правого (відносно поздовжньої осі двигуна), то до лівого боку гільзи;
- обертний рух кільця відносно поршня;
- перемінне притискання кільця до верхньої, чи до нижньої торцевих поверхонь канавки під дією тиску газів, сил тертя кільця по циліндру та сил інерції.

Внаслідок таких рухів відбувається інтенсивне зношування торцевих поверхонь кільця і канавки за рахунок сил тертя. Частота коливань поршня в циліндрі сягає 1400 – 1800 на хв. тому зміна положення кільця в канавці (верх - низ) подібна удару, що викликає знос і деформацію кільця та канавки.

Більше деформуються і зношуються нижні торці кільця і канавки, т. як під дією тиску газів в камері згорання кільце сильніше притискається до нижнього торця канавки і протягом X часу залишається притиснутим до цього торця.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Під дією прикладених сил кільце піддається знакозмінному перекосу в канавці в осьовому напрямку. Його переріз набуває Т – подібної форми з заокругленою головкою, а канавка поршня максимально зношується у зовнішньої кромки та у свого дна. Перекіс кільця і інтенсивність зносу торців кільця і канавки зростають при збільшені зносу цього спряження, тобто процес набуває катастрофічного характеру. Тому саме спряження «верхнє компресійне кільце – канавка поршня» обмежують довговічність ЦПГ та двигуна в цілому. В таблиці 1.1 наведені дані по зносостійкості визначеного спряження для деяких деталей. В таблиці також наведені дані зносостійкості гільз циліндрів двигунів.

Таблиця 1.1 Зносостійкість спряження «верхнє компресійне кільце – канавка поршня» та гільз циліндрів для деяких двигунів.

Марка двигуна	Довговічність, мото.год.		Відносна довговічність	Джерела
	Спряжене 1 –е компр. Кільце - канавка	Гільза циліндра		
Д -54	3850	5000	0,77	13
Д 48	5000	7000	0,71	21
Д 37	5600	10 000	0,56	47
СМД -14	6000	10 000	0,60	77
СМД-60/60	6000	10 000	0,60	77

Аналіз даних таблиці свідчить, що довговічність спряження «компресійне кільце – канавка поршня» завжди була і залишається менш довговічною, ніж гільза циліндра.

РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

В науковій літературі недостатньо робіт, присвячених зміцненню торців поршневих кілець. Автори [7] пропонують гальванічне хромування торців автомобільних поршневих кілець, який зменшує знос канавки в 1,6 – 2, 2 рази, а знос спряження «поршневе кільце – канавка поршня» - у 5,0 -5,5 разів. В роботі пропонують [12, 14] термодифузійне хромування торців поршневих кілець, яке зменшує знос кілець по висоті у 7 -10 разів, а знос крайок поршневих канавок у 2 – 3 рази. В роботі [1] показано, що електромеханічне зміцнення торців верхнього компресійного кільця зменшує його знос по висоті у 5 разів, торців поршневої канавки у 1,5 рази. Однак, ці технологічні методи не впроваджені у виробництво.

2.1. Аналіз способів підвищення довговічності поршневих і ущільнювальних кілець.

Роботи, які присвячені підвищенню довговічності поршневих і ущільнювальних кілець поділяють за такими напрямками:

- удосконалення конструкції кілець;
- вибір матеріалу кілець і спряжених з ним деталей;
- удосконалення технології виготовлення кілець.

Удосконалення конструкції кілець.

Конструктивними параметрами товщина кільця ϵ – висота - h , радіальна товщина - t , профіль поперечного перерізу, діаметр - D) в

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

робочому стані, форма замка і величина зазору у вільному та робочому станах.

Висота кільця впливає на відвід тепла від поршня до гільзи, інтенсивність змащування циліндра і самого кільця, знос кільця і гільзи, втрати потужності на тертя тощо. Пружність кільця залежить також від висоти кільця, модуля пружності матеріалу, різниці зазорів в замку у вільному і робочому станах. Більш *високе кільце* краще відводить тепло і має менший радіальний знос, однак утруднює надходження мастила до кільця і спряженим деталям, викликає підвищену силу тертя по стінці циліндра і відповідно втрату потужності двигуна, зростаючі сили інерції сприяють підвищеному зносу торців кільця і поршневої канавки. *Низькі кільця* схильні до жолоблення і пригорання в канавках, потребують більш ретельної обробки торців (особливо ущільнювальні) і канавок. Низькі кільця дозволяють конструювати більш міцні міжкільцеві перемички поршня.

Радіальна товщина кільця чим більша, тим жорсткішим кільце, вища його пружність. Тиск кільця на стінку гільзи підвищується при збільшенні його радіальної товщини. Занадто висока жорсткість кільця знижує його припрацювання до можливих змін форми циліндра.

Профіль кільця.

Верхнє компресійне кільце виготовляють практично з двох профілів - прямокутного і конічного (рис.2.1), а ущільнювальні кільця – тільки з прямокутного. Плaskі кільця відрізняються простотою виготовлення, забезпечують потрібну міцність, добру компресію і надійне утримання мастила на робочих поверхнях.

Трапецевидні кільця мають понижену схильність до нагароутворення, що пояснюється ефектом самоочищення, завдяки радіально – осьовому їх руху в канавці поршнів. Профіль бокової поверхні верхнього компресійного

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кільця в значній мірі визначає його працездатність і впливає на схоплювання, перекіс кільця в канавці, його вібрацію, заїдання та руйнування.

Під час припрацювання ця поверхня набуває бочкоподібної форми, що в значній мірі зменшує небезпеку описаних явищ. Саме бочкоподібний боковий профіль верхніх компресійних кілець рекомендовано для впровадження. Технологія виготовлення таких кілець розроблена в Україні [6, 9] .

Замок поршневого кільця. Форма замка і величина його зазору визначає міцність кільця і його рухомість в канавці, інтенсивність витіканні газів і тепловий режим деталей ЦПГ. Тип и замків верхніх поршневих кілець показані на рис 2.1 - 2.3.

Прямий замок – має просту конструкцію і технологію виготовлення, висока точність і правильність форми. Такі замки застосовують для автотракторних двигунів. Косий та ступінчастий замки більш складні у виготовлення, тому їх застосовують рідше.

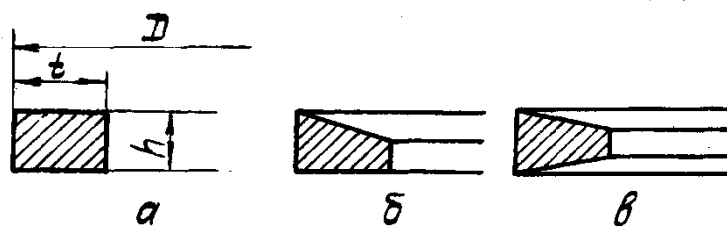


Рисунок 2.1 - Профілі верхнього компресійного кільця:
- а – пласкі (прямокутні); б і в - конічні (трапецієвидні)

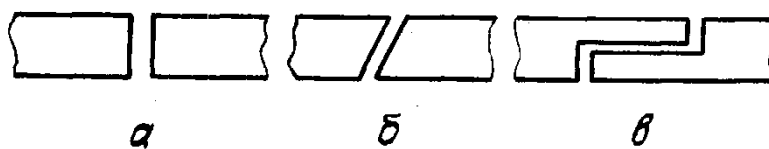


Рисунок 2.2 – Типи замків поршневих кілець:
а) – прямий ; б) – косий; в) – ступінчастий

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ущільнювальні кільця гідравлічних муфт мають прямокутний переріз і подвійний Г – подібний (рис. 2.3).

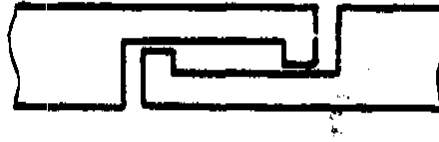


Рисунок 2.3 - Замок ущільнювального кільця.

Кільце з таким замком має відносно просту технологію виготовлення. У поєднанні з високою точністю виготовлення воно забезпечує достатню герметичність і практично виключає перетікання робочої рідини через пасок ущільнення. Однак, низька зносостійкість кільця і спряжених з ним вала і втулки сприяють порушенню герметичності ущільнення, підвищеним витратам робочої рідини, нечіткої роботи гідромуфти, що сприяє інтенсивному зносу шестірінь як ведучих так і ведених. Очевидно, що низька зносостійкість деталей ущільнювального паска «вал - втулка» обмежує довговічність гідромуфти і гідропідсилювача.

2.2. Матеріали для кілець.

Матеріал поршневих і ущільнювальних кілець має задовольняти низці вимог: мати високу межу текучості і низьку залишкову деформацію, достатню твердість, високу пружність, високі антифрикційні властивості, високу зносостійкість, добре припрацьовуватись, бути стійким до пошкоджень поверхні, неминучий знос має відбуватись у вигляді дрібних часточок, без заусенців та боріздок, корозійно-стійким, мати невелику питому вагу і добре оброблятися. Матеріал має бути дешевим і простим в одержанні.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості матеріалу для поршневих кілець переважно використовують *сірий чавун* (марок СЧ20, СЧ40) [17, 18] . Перлітна матриця такого чавуну з пластинчатим графітом забезпечує йому досить високу зносостійкість. Графітні включення та фосфідна евтектика є досить гарним мастилом при сухому терті, зменшують небезпеку схоплювання. На поверхні тертя сірого чавуну завжди зберігається сприятливий мастило утримуючий мікрорельєф. Графіт одночасно послаблює металеву основу чавуну і погіршує його механічні властивості. Покращують властивості перлітного чавуну легуванням молібденом, ніобієм, ванадієм та іншими дефіцитними металами. Легування чавуну підвищує його собівартість, на жаль не забезпечує адекватного підвищення властивостей [6,17].

Останнім часом для виготовлення верхніх компресійних кілець вибирають високоміцний чавун з кулястим графітом (марки ВЧ500-2, ВЧ600-2) та ковкий (КЧ45-7) з пластівчастим графітом. Ковкий чавун має підвищені показники утомної стійкості, кращі антифрикційні властивості і значно дешевший за високоміцний. Загальним недоліком сірих чавунів є їх невисока твердість.

Підвищення твердості сірих чавунів досягають легуванням карбідоутворюючими елементами, внаслідок чого в структурі утворюються структурно вільні карбіди. Зносостійкість зростає при цьому на 40 – 60 % у порівнянні із звичайним сірим чавуном. Тому використання у верхній поршневій канавці чавунних кілець без спеціального зносостійкого покриття не є доцільним.

Сталеві кільця мають більш високу твердість, теплостійкість і теплопровідність, а також підвищену пружність. Недоліком цих кілець є незадовільне припрацювання та схильність до заїдання (схоплювання). Тому сталь рідко використовують для виготовлення верхніх компресійних кілець. Маслоснімні кільця виготовляють із сталей.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Металокерамічні кільця.

Методами порошкової металургії можна отримувати матеріали з наперед заданими фізико- механічними властивостями та деталі з них. Однак у верхній канавці такі кільця швидше зношуються ніж серійні [4, 5]. Спечені кільця мають високу усадку та жолоблення під час експлуатації, їм притаманна нестабільність фізико - механічних властивостей тощо. Тому використання металокерамічних кілець обмежується малопотужними двигунами, компресорами та гідроциліндрами. Внаслідок високих вимог до точності виготовлення і стабільності форми ущільнювальних кілець металокераміка ще не може бути рекомендована для їх виготовлення.

2.3. Удосконалення технології виготовлення кілець

2.3.1 . Термічна обробка

Технологія виготовлення є важливим чинником, що впливає на підвищення якості і довговічності окремих деталей так і вузлів та машин в цілому. Заготовками поршневих кілець є виливки, які мають низькі механічні властивості, низьку корозійну стійкість та зносостійкість. Для підвищення цих властивостей проводять гартування від температур 800 – 900°C і відпуск при температурі 100°C, яка є вищою за максимальну робочу температуру кільця [8, 12].

Для отримання кілець з стабільними пружними властивостями проводять гомогенізуючий відпал при температурі 900 – 950°C з витримкою до 24 годин.

Термічна обробка суттєво ускладнює технологію виготовлення кілець, підвищує їх собівартість, а також знижує їх корозійну стійкість, викликає деформацію і жолоблення.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Точність та якість механічної обробки суттєво впливають на експлуатаційні властивості деталей та їх спряжень. Одночасна обточка і розточка кільця по копіру підвищила точність його виготовлення, усунула розбіжності по радіальній товщині кільця, стабілізувало епюру тисків на стінки циліндра, підвищила надійність та довговічність спряження «кільце – гільза циліндра».

2.3.2. Механічна обробка

Механічна обробка при великих швидкостях і подачах являє собою термомеханічну обробку поверхневого шару, що дозволяє впливати на фізико – механічні і експлуатаційні властивості деталі.

Доводка циліндрів двигунів шариковими розкатними головками підвищує зносостійкість не тільки оброблених деталей, але й поршневих кілець: верхнього, компресійного - на 17,8%, маслознімного – на 38,2%.

За допомогою електрокорундового, боразонного, алмазного шліфування і спеціальної обробки на поверхні деталі можна отримати білий шар, який має високу твердість, корозійну стійкість та утомну міцність.

Вібророзкотування гільз циліндрів підвищує їх зносостійкість у 1,5 – 1,7 рази у порівнянні з хонінгуванням, внаслідок створення на робочій поверхні оптимального мікрорельєфу, який сприяє прискореному припрацюванню та підвищенню масло ємкості спряження [9] .

Недоліком механічної обробки як способу зміцнення деталей є одиничний характер обробки, що не дозволяє рекомендувати її для масових малорозмірних деталей, таких як поршневі та ущільнювальні кільця.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.3. Спеціальні покриття деталей ЦПГ.

Спеціальні покриття у вигляді тонкого шару металу чи сплаву наносять на робочу поверхню деталі з метою покращення обробки тиском, підвищення антифрикційних і теплозахисних властивостей, корозійної та протизносної стійкості тощо. Покриття наносять різними способами [10].

Електролітичне хромування.

Нанесення на поршневі кільця щільного чи пористого електролітичного хрому дозволяє підвищити твердість поверхні до HV 900 – 1000. Такі покриття забезпечують стійкість проти абразивного зносу, мають високу адгезійну міцність, досить низький коефіцієнт тертя, задовільні припрацьовуваність та масловсмоктуваність, високу теплопровідність. Електролітичне хромування підвищує довговічність не тільки зміцненої деталі, але й спряженої з нею деталі. Хромування торців верхнього поршневого кільця підвищує його зносостійкість у 5 разів. Одночасно зменшується у 2 рази знос канавки поршня.

Знос, мм

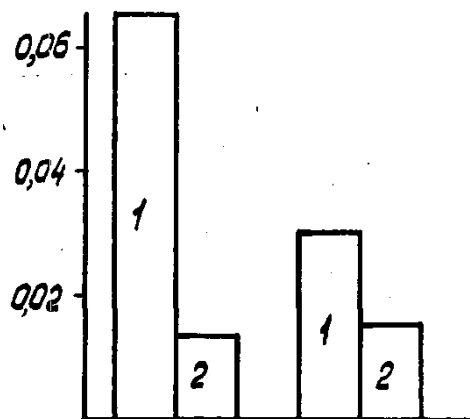


Рисунок 2.4 – Знос хромованого по торцям (2) і контрольного (1) верхнього компресійного кільця відповідні поршневі канавки [4].

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мікротвердість

HV

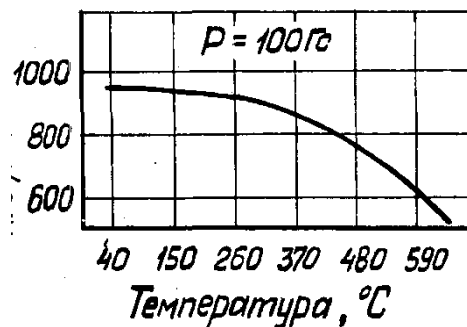


Рисунок 2.5 – Залежність мікротвердості електролітичного хрому від температури відпуску. Витримка 1 год.

Однак хромові покриття мають і недоліки:

1. Високий коефіцієнт тертя, що знижує зносостійкість спряжених поверхонь
2. Недостатнє зчеплення покриття з поверхнею деталі, що є причиною появи сколів, викрихчування покриття та пошкодження дзеркала циліндрів. Під шар попадають агресивні розчини і викликають корозію.
3. Суттєве зниження твердості, підвищення пластичності, стирання при підвищених температурах.
4. Напруження розтягу, які формуються внаслідок різниці коефіцієнтів теплового розширення хрому в покритті та чавуну. Наслідком цього є зниження (до 80 %) утомної міцності виробів з хромовими покриттями.
5. Хромові покриття мають високу корозійну стійкість проти окислення на повітрі (до 450°C) і корозійну стійкість до дії багатьох кислот крім соляної та сірчаної. Цей недолік хромових покриттів не дозволяє використовувати їх для дизельних двигунів, тому що сірчана кислота є основним компонентом

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

продуктів, які утворюються при згорання сірчаних палив в циліндрах дизельного двигуна.

6. Складність технологічного процесу електролітичного хромування, який складається з десятків операцій (до 39) та досить тривалий час (більше 10 годин) [3,12].

7. Впровадити електролітичні способи хромування у промислових масштабах поки не вдається.

Мікротвердість, ГПа

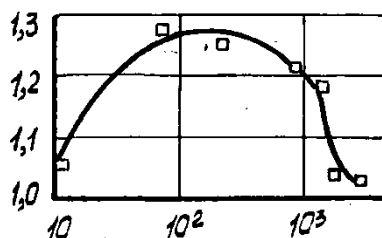


Рисунок 2.6 – Вплив напрацювання на мікротвердість електролітичного хромового покриття, P= 5 Н (50гс)

Глибина шару, мм

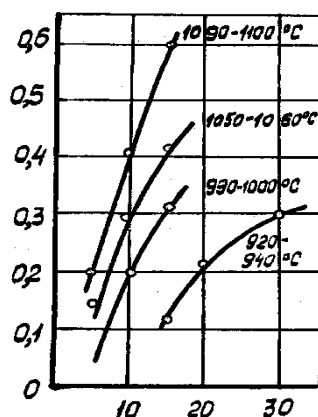


Рисунок 2. 7 – Вплив температури і тривалості хромування на глибину зміцненого шару

Плазмові покриття

Плазмові покриття наносять на поверхню деталі з допомогою високотемпературного плазмового струменю шляхом уведення в неї порошку чи дроту відповідного металу чи сплаву. Під час напилення метал взаємодіє з робочим газом і повітрям, тому в напиленому покритті присутні оксиди, карбіди, інтерметаліди тощо. При одночасному розпиленні декількох металів плазмовий шар являє собою псевдосплав - механічну суміш компонентів і продуктів їх взаємодії в плазмовому струмені і в самому покритті. Напиляють такі псевдо сплави незалежно із декількох різнорідних матеріалів, наприклад, молібдену, нікелю, хрому, бору, кремнію та інш. Плазмові покриття можуть містити оксиди, карбіди, бориди тугоплавких металів. Такі комбіновані покриття мають більш високу твердість і зносостійкість. Розроблені способи отримання багат шарових покриттів, які містять до 9 компонентів.

Плазмові хромові і молібденові покриття мають пористість по всій товщині, що забезпечує задовільний коефіцієнт тертя і більш високі задирко стійкість, припрацювання та зносостійкість.

Молібденові покриття краще захищають кільця ДВЗ від пригара і в атмосфері без пилу забезпечують їм знос у 1, 5 рази менший, ніж хромування.

Зносостійкість комбінованого покриття із сталі Х12М у 4 рази вища, ніж електролітичного хрому. Нажаль плазмові покриття мають у декілька разів меншу адгезійну міцність ніж електролітичні та у два рази меншу мікротвердість.

Молібденові покриття мають низьку жаростійкість при температурах вищих за 325°C, недостатню теплопровідність і корозійну стійкість.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Низька адгезія плазмових покриттів пояснюється різними коефіцієнтами теплового розширення напиленого покриття і деталі, а також слабким дифузійним взаємопроникненням атомів. Плазмові покриття мають невисоку стійкість проти абразивного зносу [19].

Випробування кілець тракторного двигуна з різним покриттям представлено в таблиці 1.5 [11].

Деталь	Тип покриття	Склад покриття	Результат. Зменшення зносу
Ущільнювальні кілець	Електролітичний хром	Хромовий електроліт	Серійні зразки (1)
		Молібден	Збільшення зносу у 5 разів
	Плазмове покриття	70% Al ₂ O ₃ + 30% Ni	Не виявлено
		45% Al ₂ O ₃ + 45% Mo + 10 % Ti	Не виявлено
		40 % Al ₂ O ₃ + 30% Ni + 30% Cr	Зменшення зносу на 20%

Загальним недоліком плазмових покриттів є: потреба у складному обладнанні (плазмотрони, газополуменеві пальники, електродугові металізатори); необхідність кваліфікованого персоналу; висока вартість і дефіцитність вихідних матеріалів; значні втрати вихідних матеріалів; низький рівень автоматизації та складність зміцнення торцевих поверхонь кілець в умовах масового виробництва.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

2.3.4. Хіміко-термічні методи зміцнення.

Ці методи базуються на поверхневому насиченні деталей вуглецем, азотом, хромом, кремнієм тощо, або їх композиціями шляхом дифузії із насичуючого середовища при високій температурі.

Суть хіміко-термічної обробки полягає в нагріванні деталі в середовищі дифузанта (порошкового, газового, рідкого), який виділяє насичуючий елемент в атомарному стані. Під час витримки атоми насичуючого елемента накопичуються на поверхні деталі і дифундують в глиб. Тривалість витримки в печі залежить від потрібної товщини насиченого шару. Хіміко-термічна обробка дозволяє в широких межах змінювати структуру та властивості поверхневих шарів.

Дифузія легуючих атомів відбувається під дією високої температури шляхом укорінення їх у кристалічну решітку (цементация, азотування, борування), або заміщенням атомів (хромування, алітування, титанування).

Найбільш сприятливий є вакансійний механізм дифузії, коли використовують порожні місця у вузлах решітки метала. Такому процесу сприяють дислокації, вакансії, границі блоків та зерен.

Швидкість проникнення легуючих елементів в решітку метала деталі визначається коефіцієнтом дифузії, який залежить від температури, величини атомів – дифузантів та їх енергії активації, частоти коливань атомів в решітці.

Сульфоціанування.

Процес комбінований, одночасне насичення поверхні метала сіркою, вуглецем і азотом при температурі 560- 680 °С протягом 2 – 3 годин у ванні, наповненій ціаністими та сірковмісними солями. На сталевій поверхні деталі утворюються складні структури, що містять нітриди різних типів, цементит і сульфіди заліза.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чавун піддається сульфоціануванню важче, ніж сталь: глибина карбонітридної зони не перевищує 13 мкм, а на сталі вона сягає 45 мкм.

Сульфоціанування суттєво покращує протизадирні властивості і припрацювання чавуну. Корозійний знос зменшується у 3 рази.

Стійкість сульфоціанованих кілець до абразивного зносу у 2 рази нижча, ніж з хромованими покриттями.

Сульфоціанування – дуже шкідливий процес, його не рекомендовано для впровадження [5,8].

Термодифузійне хромування.

Розрізняють газове, рідинне та тверде хромування. Найбільш простим і зручним для виробництва є твердий контактний спосіб. Його здійснюють таким чином. Деталі, що призначені для обробки завантажують в контейнери - реторти, де знаходиться насичуюча суміш, яка складається з носія хрому (ферохрому, окису хрому, хромової руди). Для запобігання спікання та налипання суміші на оброблювану поверхню, додають окис алюмінію, каолін, окис магнію, пісок та солі, що генерують під час розкладання і взаємодії з хромовмісними компонентами активне газове середовище (хлористий, бромистий, чи йодистий амоній, хлористий натрій, двохлористий барій).

Атоми хрому надходять до оброблюваної поверхні в складі газоподібного двохлористого хрому. Деталі нагрівають до температури 1000 – 1100°C з витримкою, потрібною для формування шару заданої товщини. Такий спосіб хромування забезпечує високу якість хромування і є технологічно нескладним та економним.

При хромуванні низьковуглецевих сталей зміцнений поверхневий шар має структуру твердого розчину хрому в залізі, має високі показники твердості (500-700НВ) та корозійної стійкості.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При хромуванні високовуглецевих сталей та чавунів на поверхні утворюється шар карбідів, які мають дуже високу твердість (12000 -17000 МПа), корозійну стійкість, зносостійкість, жаростійкість та кислотостійкість.

На рис.2.8 показано вплив температури і тривалості хромування чавунних кілець парогазовим та твердим контактним методом в суміші порошоків ферохрому, вогнетривкої глини і хлористого амонію на глибину зміцненого шару. З рисунку видно, що термохромування підвищує зносостійкість поршневих кілець по торцям у 7 - 10 разів. Одночасно у 2 – 3 рази зменшується знос кромки поршневих канавок, покращується стабільність пружних властивостей кілець. Фахівці рекомендують оптимальною температурою для термохромування кілець вибрати 920 - 940°C, тривалість насичення 25 -30 годин [3]. Недоліками методу є складність підготовки робочої суміші; досить тривалий час насичення, необхідність проведення заключної термічної обробки – гартування та відпуску.

Силіціювання.

Поверхня насичується кремнієм в середовищі феросиліцію, карбиду кремнію чи сілікокальцію. Інертним розчинником і активатором є ті ж компоненти, що і при хромуванні. Температура процесу 1000 – 1200°C. Витримка 5 -7 годин. Глибина насиченого шару до 1 мм.

Силіційований шар, збагачений кремнієм, має структуру твердого розчину кремнію в залізі та силіциди заліза. Така структура шару забезпечує високу твердість і антикорозійну стійкість обробленої поверхні. Пористість поверхневого шару покращує ефект самозмащування оброблених деталей.

Азотування

Процес полягає в насиченні азотом поверхневого шару деталей під час їх витримки в атмосфері аміаку при температурі 500 - 650°C протягом 10 - 80 годин. Азотований шар сталевих деталей складається з азотистого фериту та

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нітридів. Азотування підвищує твердість деталей, зносостійкість, межу утоми і підвищує корозійну стійкість.

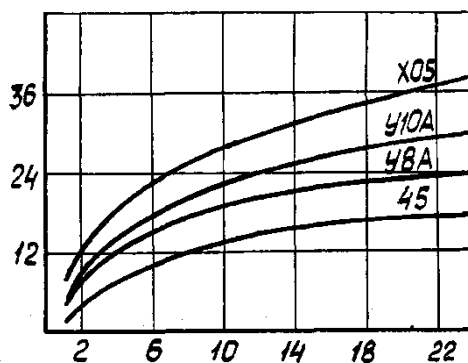
Азотуванню піддають чавунні гільзи циліндрів з метою підвищення їх зносостійкості. Одночасно зменшується знос поршневих кілець.

В окремих випадках поршневі кільця піддають нітроцементациї (одночасним насиченням насичення поверхні деталі вуглецем і азотом). Однак тривалість процесу досить велика і крихкість отриманого шару не сприяють поширенню цього методу.

Комплексне термодифузійне легування.

Одночасно відбувається дифузійне насичення поверхні сталі хромом, вуглецем, кремнієм. Насичуючим середовищем вибирають суміш порошку (сплаву сормайт - 69%, 29% - шамоту, 2% хлористого амонію). Деталі завантажують у контейнер як для способів твердого контактного легування. Температура процесу 900 – 1100°C.

Товщина шару, мкм



Тривалість витримки, год.

Рисунок 2.8– Вплив вмісту вуглецю в сталях і тривалості комплексного дифузійного легування на глибину шару

В низьковуглецевих сталях (до 0,3% C), зміцнений шар має структуру твердого розчину хрому в залізі, легованого кремнієм, нікелем, марганцем.

Високовуглецеві сталі мають після насичення в поверхневому шарі карбід хрому і заліза, леговані нікелем, кремнієм, марганцем.

На рис 2.8. показані криві, впливу тривалості витримки і вмісту вуглецю в деталях на глибину зміцненого шару. Оброблена поверхня має високу якість – насичений шар однорідний за товщиною та структурою, має достатню пластичність і високу корозійну стійкість.

Недоліком способу є значна тривалість процесу: так, на сталі У8 при 1000°C за 8 годин формується шар товщиною всього 20 мкм. Метод не доцільно застосовувати для чавунів. Покриття незадовільно працює в умовах недостатнього змащування.

Низька швидкість дифузійних процесів є головним недоліком термодифузійних процесів зміцнення. Для прискорення процесу насичення при термодифузійному легуванні використовують термоциклічну обробку, коли температура насичення змінюється ступінчасто з переходом через критичну точку A_{c3} . Впроваджений спосіб цементації, який базується на циклічній зміні температури процесу в інтервалі A_{c3} (50 -70°C). Для поршневих кілець та інших деталей, що працюють в умовах динамічних навантажень, насичення з циклічною зміною температури є доцільним, так як вона сприяє покращенню структури серцевини деталі [3,14].

Циклічні зміни температури в інтервалі фазових перетворень сприяють таким процесам як фазовий наклеп, рекристалізація, прискорена дифузія атомів, розчинених елементів, що веде до структурних і фазових перетворень, які сприяють подрібненню зерна, перерозподілу структурних складових та підвищенню механічних та технологічних властивостей деталей – міцності, пластичності, ударної в'язкості, утомної міцності та штампуємості і оброблюваності різанням.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки по розділу.

Огляд літературних джерел щодо роботи поршневих та ущільнювальних кілець, причин їх зносу та способів підвищення довговічності показав, що:

1. Найменш надійним спряженням двигунів внутрішнього згорання, що визначає їх ресурс, є спряження «верхнє компресійне кільце – канавка поршня», ресурс якого не перевищує 6 тис. мото годин, а для гідро розподільника – спряження «вал вторинний - кільце ущільнювальне - втулка», ресурс якого не перевищує 3 - 4 тис. мото годин.
2. Причиною низької надійності кілець є дія на них різних впливів, що викликають одночасний знос, утому та корозію металу як на поверхнях тертя, так і в його об'ємі.
3. Найбільш універсальним способом значного підвищення зносостійкості деталей і пар тертя є використання сучасних конструкційних матеріалів і способів зміцнення деталей.

Мета і задачі досліджень ущільнювальних кілець.

Метою роботи є дослідження та розробка нового способу поверхневого зміцнення кілець із сірого чавуну термодифузійним легуванням з термоциклюванням.

Досягнення мети передбачає вирішення таких основних задач:

- виконати теоретичний аналіз умов роботи поршневих і ущільнювальних кілець;
- розробити технологію способу поверхневого зміцнення кілець;
- розробити ефективну робочу суміш для комплексного дифузійного насичення сірих чавунів;

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- розробити температурний режим термодифузійного насичення з термоциклюванням;
- дослідити вплив розробленого способу на основні експлуатаційні властивості кілець та оцінити їх технологічність та надійність;
- надати практичні рекомендації для впровадження розробленого способу дифузійного зміцнення з термоциклічною обробкою на виробництві.

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Методика проведення досліджень. Обладнання та прилади.

Дослідження впливу термодифузійного зміцнення (ТДЗ) на корозійну стійкість кілець, їх геометричні і фізико-механічні властивості вивчались на кільцях, які зміцнені у заводських умовах. Вибрані кільця А27.00.023 та Д24.127А. (табл. 3.1)

Для вимірювання геометричних параметрів кілець використані такі прилади та інструменти:

Стендові випробування ущільнювальних кілець проведені в заводських умовах.

Для досліджень вибрані серійні поршневі і ущільнювальні кільця, виготовлені на державному заводі поршневих кілець. Назва деталей та їх основні параметри представлені в табл. 3.1.

Зміцнюючій обробці та подальшим дослідженням піддавали другі компресійні кільця, які не мали електrolітичного хромового покриття на зовнішній поверхні. Матеріал кілець – сірий чавун. Хімічний склад чавуну показано в таблиці 3.2.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 . Основні параметри деталей

№ деталі за каталогом	Призначення	Діаметр в робочому стані	Радіальна товщина, мм	Висота кільця, мм
A27.00.023	Друге компресійне кільце двигуна СМД - 14	120	4,8	3
Д24.127А 4752113113	Друге компресійне кільце пуск.двиг. ПД - 10	72	3,2	2,5
150.37.333А	Ущільнювальне кільце гідро - розподільника КПП тр-ра Т-150К	50	2,2	2,4

Таблиця 3.2. Хімічний склад чавуну

Хімічні елементи, %					
C	Si	Mn	P	S	Cr
3,6-3,9	2,3 -2,9	0,5-0,8	0,3 -0,6	До 0,1	0,17 – 0,35
Ni	Mo	Cu	Ti	V	Fe
0,1 -0,25	0,25-0,50	До 0,35	До 0,2	До 0,2	решта

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Для лабораторних досліджень складу та структури із кілець вирізали спеціальні зразки – свідки.

Насичуюча суміш містила такі порошкові матеріали:

1. Сормайт наплавочний (склад в табл. 3.3)
2. Феросиліцій з розміром часточок до 0,5 мм
3. Хлористий амоній, розмір часточок до 0,2 мм
4. Шамот подрібнений до часточок до 0,5 мм

Таблиця 3.3. Хімічний склад наплавочного сормайту

Cr	Ni	C	Si	Mn	P	S	Fe
25 -31	3 -5	2,5 – 3,5	2,8 – 4,2	До 1,3	До 0,08	До 0,08	решта

Дисперсність гранул 0,2 – 0,4 мм.

3.1.2. Розробка насичуючої суміші.

Основа суміші – склад, що використовується для термодифузійного легування сталевих деталей, який складається з порошку сормайту (69-70 %), активатора процесу – хлористого амонію (1-2 %) та інертної добавки – порошку шамоту (29 %). Для інтенсифікації процесу до суміші додавали порошок феросиліцій марки ФС-45.

Для дослідження впливу феросиліцію на процес дифузійного легування розроблено 5 композицій, склад яких показано в таблиці 3.4.

Деталі, що підлягали ХТО завантажували в спеціальні контейнери та засипали активною порошковою сумішшю. – (рис.3.1).

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			48

Таблиця 3.4. Хімічний склад порошкових сумішей для досліджень.

Умовне позначення суміші	Вміст компонентів по масі, %			
	Сормайт	Шамот	Феросиліцій	Хлористий амоній
А	69 -70	29	0	2 -1
Б	64 -65	32	2	2 -1
С	59 -60	34	5	2 -1
Д	40 - 39	44	15	2 -1
Е	49 -50	39	10	2 -1

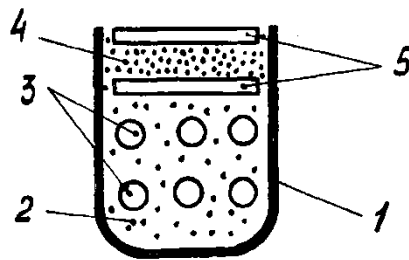


Рисунок 3.1 – Схема пакування деталей для насичення: 1 – контейнер;

2 – активна суміш; 3 – деталі; 4 – відпрацьована суміш; 5 - кришка

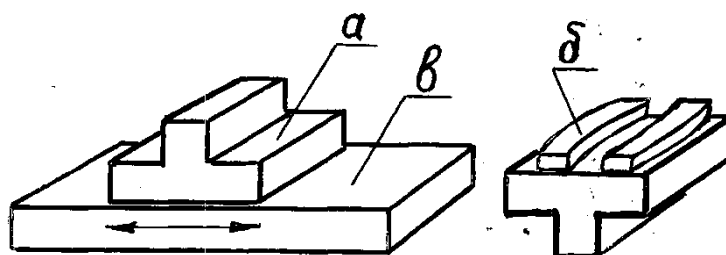


Рисунок 3.2 – Зразки і схема випробувань на зносостійкість: а – колодочка із

гільзового чавуна; б - зразки поршневих кілець; в - контртіло

Газотермічне насичення проводили при температурах 800, 900, 950, 1000°C в чотирьох активних сумішах протягом 2, 4, 8 та 16 годин.

На досліджених зразках визначали пористість отриманого насиченого шару, мікротвердість, корозійну стійкість з метою розробки оптимального технологічного режиму зміцнення поршневих і ущільнювальних кілець.

Насичення з термоциклюванням дозволяє створити умови для інтенсифікації дифузії в сталі, так як виникає значна кількість вакансій, дислокацій та інших дефектів структури, що є шляхами прискореної дифузії. При циклічній зміні температури в межах температури насичення в сталі відбувається багаторазово перекристалізація, постійно будуть створюватись умови, які сприяють прискореній дифузії [11].

3.1.3. Металографічні дослідження

Проводились на поперечних мікрошліфах, підготовлених за традиційною методикою з використання шліфувального паперу та алмазних паст. В якості травника вибрано 4 % розчин азотної кислоти в спирті. Мікрошліфи досліджувались на мікроскопі МИМ-8, який оснащений цифровою камерою.

Мікротвердість поверхневого шару та по глибині визначали на приладі ПМТ – 3 згідно ДСТУ при навантаженні на індентор 50 та 100 г (0,49 і 0,98 Н).

Хімічний аналіз дифузійного поверхневого шару виконано з допомогою локального рентгеноспектрального аналізу на приладі MAP - 3, локальність 1 мкм. Точки зондування визначені на приладі ПМТ -3. Досліджували розподіл атомів хрому, кремнію та вуглецю по глибині дифузійного шару. Точність визначення вмісту хрому та кремнію - 0,1% за масою.

Ретгенівський фазовий аналіз дифузійного шару проводили по

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дебаєвським рентгенограмам, які отримані на установці УРС -55 у випромінюванні K_{α} -хрому.

3.1.4. Дослідження корозійної стійкості

Корозійні випробування серійних і зміцнених кілець проводили у сірчаній кислоті, витримка зразків тривала 2, 4, 6, 8, 12 годин. Втрати металу внаслідок корозії визначали на вагах марки ВЛА - 200 з точністю 0,001г.

Концентрація розчину сірчаної кислоти була різною: 100; 60; 45; 30; 20; 13; 7,5 %.

В таблиці 3.5 наведені результати швидкості травлення в розчинах сірчаної кислоти.

Таблиця 3.5.

Обробка кілець	Швидкість питомного травлення 10^{-2} кг/м ² в різних розчинах						
	100	60	45	30	20	13	7,5
Термодифузійна обробка (суміш С)	0,90	1,30	2,28	3,12	1,60	0,80	0,50
Термодифузійне легування (суміш А)	1,60	1,90	6,90	8,42	1,60	0,70	0,50
Обробка кілець							
Серійні Д24.127А	7,70	7,90	58,0	283	180	19,2	11,2

3.1.5. Випробування на зносостійкість

Випробування на зносостійкість проведені за схемою обернено - поступальному русі на зразках з чавуну та алюмінієвого сплаву АЛ25 в присутності абразивного порошку. Зміцнююча обробка кілець проведена у порошковій суміші складу С з витримкою зразків при температурі 950°C протягом 16 годин. Вплив хіміко-термічної обробки поршневих кілець на зносостійкість гільзового чавуну вивчали по величині зносу зразків – пластин чавуну, які працювали в парі з чавунними колодочками, які піддавались термодифузійному зміцненню. Пластини перед випробуваннями піддавали гартуванню струмом високої частоти для отримання твердості HRC 43 - 45. Зміцнений шар мав товщину 50 – 70 мкм.

Під час випробувань пластина – контртіло здійснювала обернено – поступальні рухи з частотою 60 циклів на хвилину відносно притиснутого до неї нерухомого зразка (3.2 рис.2.2). Хід пластини за один цикл – 120 мм. В зону тертя додавали індустриальне мастило М-20 по 25 крапель через кожну хвилину. Для прискорення процесу зношування до масла додавали абразивний порошок електрокорунду білого, в кількості 0,5 г на 100 мл мастила.

Величину зносу визначали методом відбитків, які наносили на зміцнені зразки з допомогою приладу для вимірювання твердості за Віккерсом, при навантаженні 5 кгс (49Н) [19].

На зразки і контрпластини, які не зміцнені, відбитки наносили з допомогою приладу ТК-2, алмазним конусом при навантаженні 150 кгс (1470 Н).

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.6. Методика визначення температурної стабільності пружності і мікротвердості кілець.

Температурні випробування. Кільця СМД 9-0309Б зміцнені і серійні (контрольні) піддавали відпуску з періодичним вимірюванням температури та пружності. Кільця піддавали відпуску у стиснутому стані до номінального діаметру. Пружність вимірювали після 6, 20, 40, 60 та 80 годин, ізотермічною витримкою при температурах 200, 250, 300 і 350°C. Кількість кілець в кожній партії 25 шт.

За результатами вимірювань розраховували відносну пружність кілець Q / Q_0 , де Q_0 – початкова пружність кілець; Q – пружність кільця після витримки при відповідній температурі.

Температурна стабільність мікротвердості кілець вивчалась на зразках, що вирізані з того ж самого поршневого кільця, один з яких був контрольним, а другий піддавали дифузійному хромуванню.

Перед температурними випробуваннями зразки полірували алмазною пастою. Мікротвердість зразків вимірювали на мікротвердомірі ПМТ-3 після 2, 4, 8, 16 і 28 годин витримки при температурі 250°C.

Для виявлення перлітної матриці чавуну не зміцнених кілець зразки піддавали травленню 4 - % розчином азотної кислоти в етиловому спирті.

3.1.7. Методика стендових випробувань

Стендовим випробуванням піддавали ущільнювальні кільця гідро розподільвача КПП трактора Т-150К, які зміцнені розробленим термодифузійним способом в розробленій активній суміші [20].

Для порівняння випробувались і серійні кільця. Випробування проводили на

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стенді для прискорених випробувань. Стенд дозволяв імітувати умови близькі до експлуатаційних.

В якості робочої рідини використовували трансмісійне масло. Для прискорених випробувань в масло додавали абразивний порошок – кварцевий пил. Концентрація абразивного пилю – 5 г на 1 л масла (табл.3.6)

Таблиця 3.6. Гранулометричний склад кварцового пилю

Розмір гранул, мкм	0 -10	10 -20	20 -30	30 -40	40 і більше
Процентний вміст	30	16	14	12	28

Температура масла під час випробувань – 65°C. Тривалість випробувань – 200 тис. циклів

Знос кілець і спряжених з ними деталей визначали по замірам відповідних геометричних розмірів деталей до - та після випробувань.

3.1.8. Контрольні заходи

Точність вимірювань і математична обробка експериментальних даних. Під час досліджень проводили вимірювання параметрів кілець (висоти, торцевого жолоблення, зазору у замку тощо) та модуля пружності зміцненого шару, корозійної стійкості, термостабільності тощо. Результати у (табл.3.7).

Враховували випадкові похибки проведенням багаторазового вимірювання цієї величини і підрахунку середньоквадратичної помилки за формулою [3].

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

3.2. ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ УМОВ РОБОТИ ПОРШНЕВИХ І УЩІЛЬНЮВАЛЬНИХ КІЛЕЦЬ

Ущільнювальні кільця працюють за умов високих швидкостей спряжених деталей, в присутності абразивних часточок в робочій рідині гідропідсилювача, високого гідростатичного тиску і перепадів його між ущільнювальними об'ємами.

Верхнє поршневе кільце працює ще при високих температурах, контактних тисках, недостатньому змащуванні та агресивних зпалювальних газів, вторинних хімічних продуктів, що утворюються в камері згорання в присутності атмосферної вологи. Кільця знаходяться під дією комплексу складних зовнішніх впливів. Це зумовлює і відповідний складний характер тертя та зносу кілець.

3.2.1. Механізм руйнування матеріалів поршневих та ущільнювальних кілець.

Ущільнювальні кільця знаходяться під дією механічних сил, які викликають абразивне та мікроконтактне зношування зовнішньої поверхні та торців. Абразивний знос переважає над мікросхоплюванням. Ущільнювальні кільця працюють в робочому середовищі, яке слугує одночасно мастилом. Отже мікросхоплювання може відбуватись тільки в період припрацювання. Роль абразивного зносу зростає, внаслідок того, що ущільнювальні кільця виготовляють з сірого чавуну без будь – якої поверхневої обробки внаслідок чого абразивні часточки легко укорінюються в графітні гнізда, що сприяє інтенсивному зносу кілець та спряжених з ними поверхонь.

Механізм руйнування поршневих кілець досить складний: зовнішня поверхня верхнього поршневого кільця захищена електrolітичним хромом, тому активно відбувається знос кільця по його торцям. Знос цього спряження відбувається внаслідок шаржування. До абразивних часточок, які через

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повтряноочистну систему та з картерним маслом проникають в камеру згорання, додаються часточки оксиду алюмінію, які відколюються з спряжених з кільцем поверхонь поршня, який виготовлений з алюмінієвого сплаву АЛ-25.

Верхнє поршневе кільце зазнає впливу хімічних реагентів, дія яких підсилюється утворенням під час роботи двигуна водними розчинами кислот (переважно сірчаної). Верхнє поршневе кільце зазнає значного теплового впливу з боку горючих газів, що є основною причиною втрати кільцями їх пружності (практично виходу їх з ладу). Отже, верхнє поршневе кільце - це деталь, яка під час роботи знаходиться під дією сил усіх трьох полів: механічного, фізичного та хімічного.

3.2.2. Особливості термодифузійного насичення

Термодифузійне насичення як спосіб зміцнення поршневих і ущільнювальних кілець має особливості, які вирізняють його від інших методів зміцнення.

1. Дифузійна технологія дозволяє одночасно насичувати всі відкриті поверхні деталі, що дозволяє здійснювати насичення кільця як по зовнішній так і по торцевим поверхням.
2. Технологія дифузійного насичення доволі проста, тому її можливо впроваджувати в технологічному процесі масового виробництва, можливість автоматизації процесу при використанні спеціальних конвеєрних печей чи багатопозиційних.
3. Висока температура процесу сприяє відпалу серцевини поршневих кілець, що стабілізує їх механічні властивості, в першу чергу – пружність.

Очікуваний вплив зміцненого шару на поверхні кілець на їх експлуатаційні властивості: зміцнений шар, сформований на поверхні

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чавунних деталей термодифузійним легуванням, містить карбіди хрому і заліза, які мають високу мікротвердість, кислотостійкість і призначені сприяти підвищенню таких характеристик кілець як абразивна зносостійкість; корозійна зносостійкість; пружність; температурна стабільність механічних властивостей.

РОЗДІЛ 4. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1. Вплив параметрів дифузійного насичення на глибину та властивості зміцненого шару.

Глибина зміцненого шару визначає продуктивність процесу, а також номенклатуру деталей, які доцільно зміцнювати цим способом.

Пористість поверхневого шару деталі впливає на його маслоємність і змащувальні властивості, отже визначає довговічність поверхні тертя в умовах недостатнього змащування.

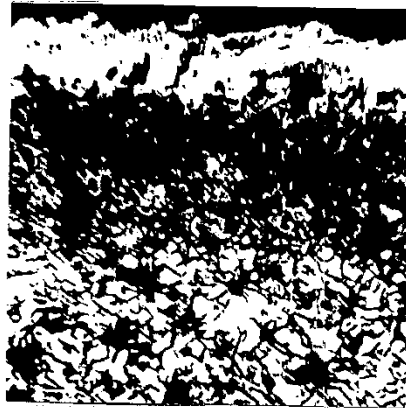
					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



а



б



в



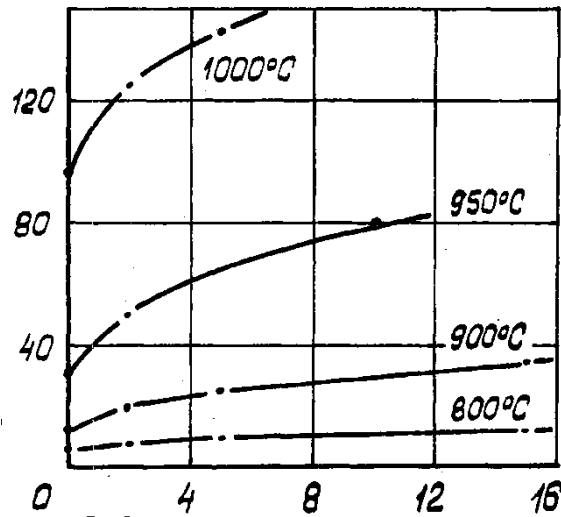
г

Рисунок 4.1 – Вплив складу насичуючої суміші на глибину дифузійного шару (x200):

а – термодифузійне легування; б - 2; в – 5; г – 10% ФС- 45. Температура 950°C, витримка 16 год.

Глибина шару, мкм

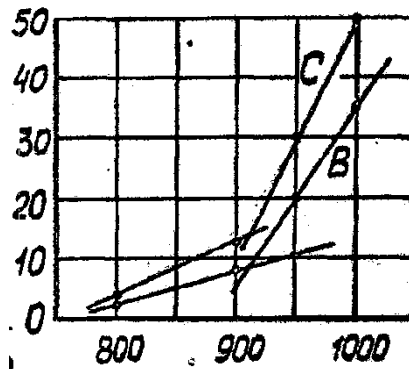
					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58



Вміст феросиліцію, %

Рисунок 4.2 – Залежність глибини шару від вмісту феросиліцію в шихті при різних температурах насичення. Тривалість насичення 16 год.

Збільшення глибини, мкм

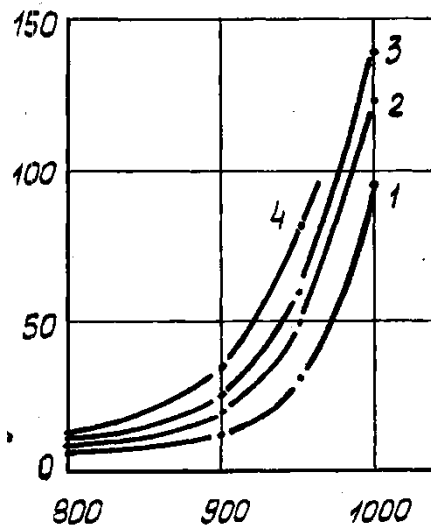


Температура насичення, °C

Рисунок 4.3 – Вплив температури насичення на прискорюючу дію добавок феросиліцію: В -2% ФС - 45; С-5% ФС - 45

Глибина шару, мкм

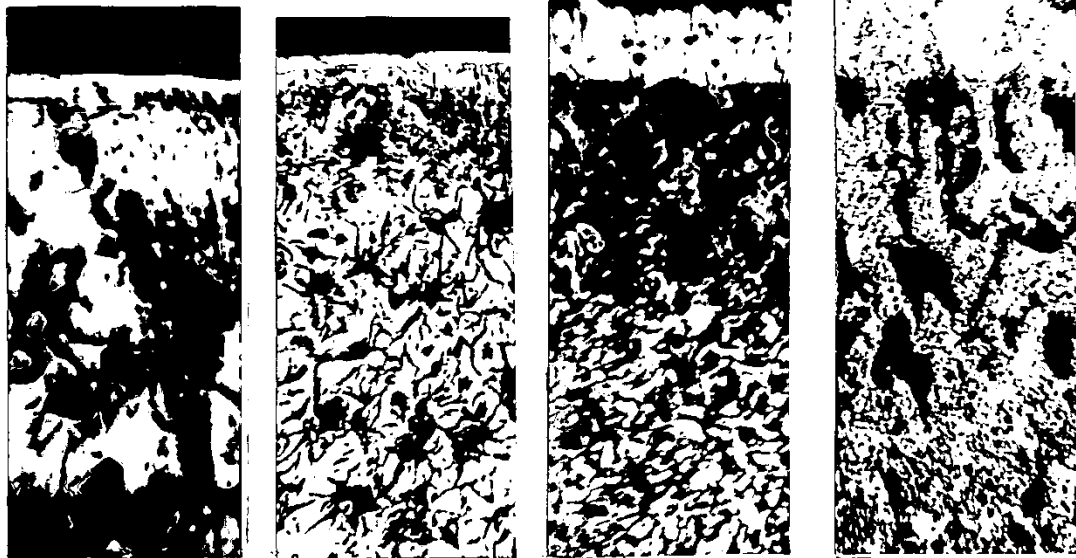
					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Температура насичення, °С

Рисунок 4.4 – Залежність глибини шару від температури насичення:

1 – ТДЛ; 2, 3, 4 – 2,5 ФС – відповідно



800

900

950

1000°C

а)

б)

в)

г)

Рисунок 4.5 – Вплив температури насичення на глибину дифузійного шару.

Тривалість насичення 16 год. Суміш С (5% ФС-45): а – х 800; б, в, г - х 200

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

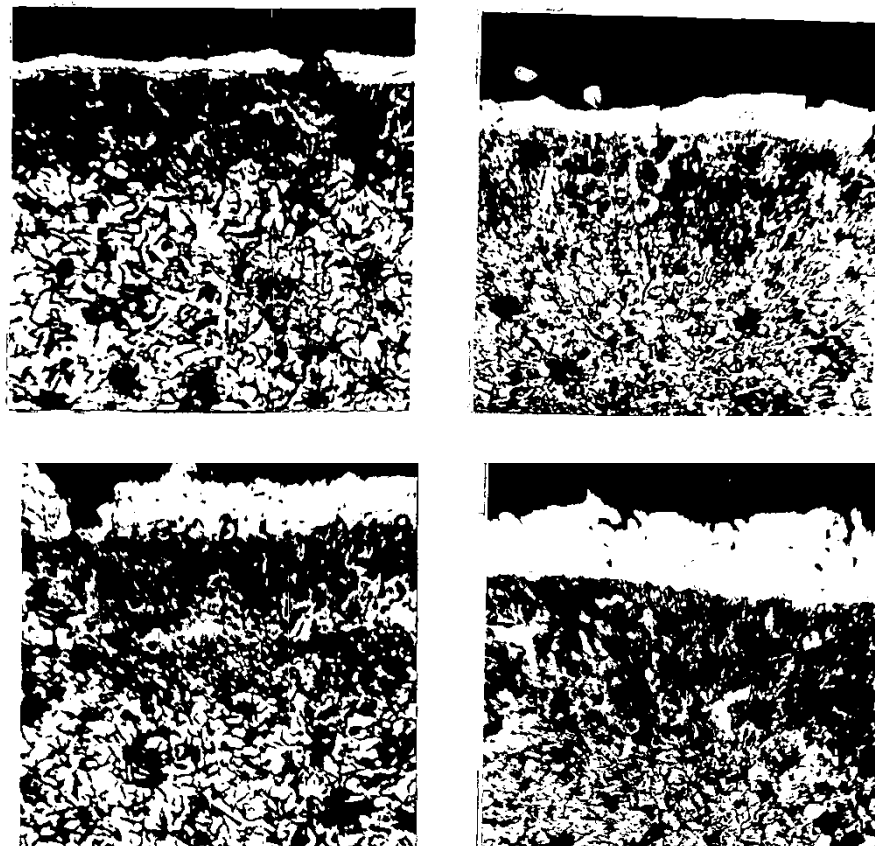
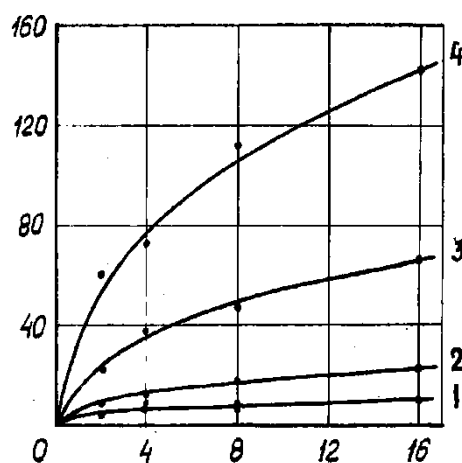


Рисунок 4.6 – Вплив тривалості насичення на товщину зміцненого шару: а, б, в, г – відповідно 2, 4, 8, 16 годин. Температура 950°C. Суміш С (5%ФС-45)

Глибина шару, мкм



Тривалість насичення, год.

Рисунок 4. 7 – Залежність глибини зміцненого шару від тривалості насичення при температурі : 1 - 800 °С; 2 – 900°С; 3 – 950°С; 4 – 1000°С, суміш складу С

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

З рисунка 4.7 видно, що додавання до суміші феросиліцію значно підвищує глибину зміцненого шару. Глибина дифузійного насиченого шару в суміші без феросиліцію сягає 30 мкм. Додавання 2-5 % феросиліцію майже у 2 рази збільшує глибину зміцненого шару (табл.4.1). Додаток 10% феросиліцію збільшує глибину у 3 рази.

Таблиця 4.1. Глибина насиченого шару

Насичуюча суміш	Вміст ФС45 –в шихті, %	Глибина шару, мкм / Пористість , %			
		800	900	950	1000
А	0	6	12 /0 - 1	30 /2 -6	90 /30 - 40
В	2	8	20 / 2 -3	50 /7 -15	125/50
С	5	10	25 / 5-10	60 /20 -30	140 /60-75
Е	10	12	30 /15-20	30 /40 -50	-
Д	15	12	35 /30 -40	-	-

При термодифузійному легуванні (суміш А) зміцнений шар щільно покриває оброблювану поверхню деталі. Збільшення вмісту феросиліцію в шихті сприяє підвищенню пористості зміцненого шару (табл. 4.1). При 10% феросиліцію у складі насичуючої суміші утворюються макропустоти на поверхні. При температурах 800, 900°C вплив феросиліцію в активній суміші не значний, проте при 950 і 1000 °C суттєво зростає (табл.4.2).

Аналіз отриманих результатів показав, що прискорюючий вплив феросиліцію є наслідком поліморфних перетворень в залізі під час насичення його поверхні легуючими елементами.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оптимальними параметрами зміцнюючого насичення деталей із сірого чавуну є такі: склад насичуючої суміші – 5% ФС - 45 (суміш С); температура процесу 950°C.

Таблиця 4.2. Вплив феросиліцію на якість насиченого шару.

Насичуюча суміш	Збільшення глибини зміцненого шару (мкм) при різних температурах, °С			
	800	900	950	1000
В	2	8	20	35
С	4	13	30	50

Такі параметри забезпечують достатню інтенсивність дифузії і оптимальну пористість зміцненого шару.

Підвищення температури до 1000°C сприяє інтенсивному утворенню пор, коагуляції пор в мікро – та макропустоти, спіканню насичуючого порошку з поверхнею деталі, порушенню щільності і однорідності зміцненого шару.

Залежність глибини зміцненого шару від тривалості насичення має характер наближений до параболічного.

Мікротвердість поверхневого шару одночасно з пористістю визначають зносостійкість деталі. Результати вимірювання твердості наведені в таблиці 4.3. В знаменнику показана максимальна мікротвердість на глибині 0,03 – 0,05 мм.

Дані таблиці 4.3 показують, що склад суміші мало впливає на мікротвердість зміцненого шару. Причиною цього є майже однакова мікротвердість карбідів хрому та силіцидів хрому. Збільшення вмісту феросиліцію в складі суміші сприяє збільшенню пористості шару, що знижує його мікротвердість. При підвищенні температури насичення зменшується мікротвердість поверхневого

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

шару. Значно знижується мікротвердість зразків при підвищенні температури насичення до 1000°C внаслідок утворення пористого рихлого шару.

Таблиця 4.3 Мікротвердість одержаного покриття.

Насичуюча суміш	Температура насичення °C			
	800	900	950	1000
А	1290	1860	1420	1070 /1230
В	1130	1670	1150/1320	1070 /1320
С	1270	1540	1260 /1660	1150 /1320
Д	520	730	-	-
Е	-		1540	-

Вимірювання мікротвердості по глибині шару показало, що високі значення мікротвердості визначені в межах білого зміцненого шару.

Для зразків, зміцнених при 950°C в суміші С, мікротвердість зміцненого шару сягала значень 1660 кгс/мм. Під поверхневим зміцненим шаром з високою мікротвердістю розміщено другий шар з нижчою мікротвердістю; третій шар знову має підвищену мікротвердість. Цей шар є перехідним до незміцненої серцевини.

Різкий перепад мікротвердості між шарами є небажаним, так як це може бути причиною концентрації напружень між шарами, зниження утомної міцності.

За даними рентгенівського фазового аналізу структура верхнього зміцненого шару є механічною сумішшю карбідів хрому – Cr_3C_2 , Cr_7C_3 , Cr_{23}C_6 в підшарку утворились ці ж фази, тільки більш дисперсні. По всій глибині дифузійного шару силіцидів хрому та заліза не виявлено.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Карбідний характер зміцненого шару зумовлює його високі фізико - механічні та хімічні властивості.

Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки. Додавання феросиліцію ФС – 45 до насичуючої суміші підвищує швидкість процесу та покращує якісні показники шару: збільшує пористість, а отже покращує антифрикційні властивості.

4.2. Вплив термодифузійного зміцнення на геометричні і фізико – механічні властивості кілець.

Під час хіміко - термічної обробки відбувається дифузія атомів легуючих елементів (хрому, заліза, кремнію) в чавун поршневих кілець. Це сприяє утворенню на поверхні деталі складних карбідів відповідних металів. Внаслідок цього збільшуються геометричні розміри кілець, а також виникають пружні напруження в їх поверхневих шарах.

Внутрішні напруження змінюють величину зазору в замку кільця у вільному стані, довжину кола кільця і як наслідки – зазор в замку калібру та геометрію кільця (торцеве жолоблення).

В табл. 4.4. надані результати дослідження термодифузійного зміцнення на геометричні розміри і форму кілець. Вимірювання кілець Д. 24.127А проводили до та після термодифузійної обробки.

Таблиця 4.4. Вплив хіміко-термічної обробки на геометричні розміри та форму поршневих кілець.

$\Delta L/L_0$ %	Δt , мм	Δh , мм	L, мм	ϵ , мм
$0,25 \pm 0,05$	$0,07 \pm 0,02$	$0,07 \pm 0,02$	0,07	0,03

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Вимірювальні параметри:

$\Delta L/L_0$ - відносне видовження кільця (%);

Δt - збільшення радіальної товщини кільця;

Δh - збільшення висоти кільця;

L - торцевий зазор (жолоблення);

ϵ - радіальний зазор кільця;

Всі параметри мають середнє значення. ДСТУ ISO 6623:2019 висуває до цих розмірів жорсткі вимоги.

Найбільш важливим є висота кільця, торцеве жолоблення і радіальний зазор (прилягання в калібрі).

Радіальна товщина кілець та їх висота при вибраному режимі зміцнення збільшується стабільно на 0,07 – 0,02 мм. Збільшення радіальної товщини кільця мало впливає на експлуатаційні характеристики кільця.

Висота кільця – важливий параметр, який впливає на його рухомість в поршневій канавці, а отже, на працездатність, надійність та строк служби кільця.

Кратність використання порошку також впливає на якість покриття. Проведені дослідження показали, що у свіжому порошку тривалість процесу зміцнення можна скоротити у 1,5 – 2 рази.

Отримані дані свідчать, що при температурі 350°C початкове падіння пружності за перші 10 -15 годин досягає 22%. Швидкість зменшення пружності зміцнених кілець при сталому режимі для усіх вибраних температур однакова і сягає 0,08%/год. (табл.4.6). Зміна пружності зміцнених кілець у початковий період відпуску можна пояснити релаксацією напружень в серцевині кілець.

Мікротвердість серійних кілець через 8 годин випробувань сягала 80% від вихідних значень. Мікротвердість зміцнених кілець після подібних випробувань була на рівні 90% від вихідного значення. Подальша ізотермічна витримка не змінила мікротвердість серійних та зміцнених

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кілець, вона залишалась на рівні 3600 МПа – для серійних, та 13400МПа для зміцнених.

Таблиця 4.5 Швидкість зменшення відносної пружності поршневих (% / год.) кілець при сталому режимі (чисельник) і початкова втрата пружності у % (знаменник).

Кільця	Температура , °С			
	200	250	300	350
Серійні	0,037/10	0,050/10	0,190/15	0,080/60
Зміцнені	0,080/20	0,080/20	0,080/20	0,080/20

Термодифузійне зміцнення поршневих кілець стабілізує початкову втрату пружності в межах 20 – 22% і швидкість втрати пружності в межах 0,08% на годину. Ці показники при температурах 200 - 250°С у 1, 6 - 2,2 рази вищі, а при температурах 300 – 350°С – у 2,4 - 2,7 рази кращі ніж у серійних. Стабільність мікротвердості зміцнених кілець при 250°С у 2 рази вища, ніж у серійних. Це означає, що термодифузійне зміцнення суттєво підвищує температурну стабільність механічних властивостей кілець (табл.4.5).

4.3. Дослідження корозійної стійкості зміцнених кілець.

Проводили у 2 етапи. На першому етапі зразки чавуну, які були оброблені у різних насичуючих сумішах, піддавали травленню 30 % розчином сірчаної кислоти. В таблиці 4.6 подані режими обробки зразків чавуну для корозійних випробувань.

На другому етапі корозійним випробуванням піддавали поршневі кільця Д24.127А, які зміцнені за режимом 3А ти 3С і для порівняння серійні (не зміцнені). Одержані результати дозволили розрахувати швидкість втрати

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

маси одиницею поверхні зразків як тангенс кута нахилу їх до осі часу. За результатами експериментів визначено залежність швидкості питомого травлення зразків від температури насичення і вмісту феросиліцію в активному середовищі.

Таблиця 4.6. Режими насичення зразків для корозійних випробувань.

Суміш/ Т°С	А	В	С	Д	Е
800	1А	1В	1С	1Д	
900	2А	2В	2С	2Д	
950	3А	3В	3С		3Е

На рис. 4.8 показані графіки залежності втрати маси одиницею поверхні зразків від тривалості процесу корозії (кінетичні криві корозії).

По прямолінійним ділянкам кривих рис. 4.8 розрахована швидкість втрати маси одиницею поверхні зразків як тангенс кута нахилу їх до осі часу.

За результатами розрахунків побудовані графіки залежності швидкості питомого (на одиницю поверхні) травлення зразка від температури насичення (рис. 4.9) та вмісту феросиліцію у складі активної суміші (рис. 4.10).

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Питома втрата маси $\Delta m / s, \text{кгс}/\text{м}^2$

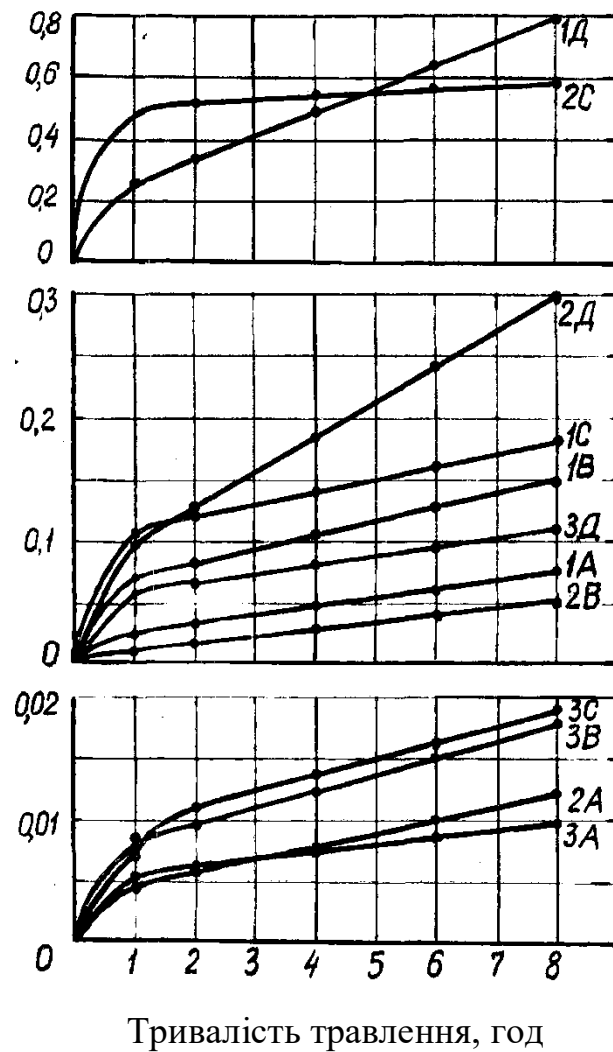
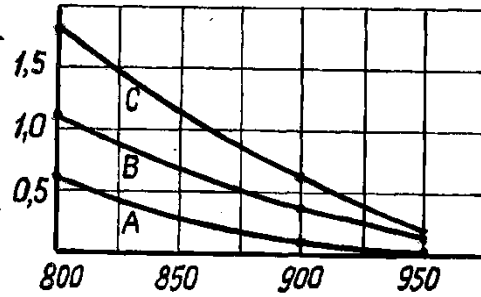


Рисунок 4.8 – Кінетичні криві корозії: 1А, 1В тощо – режими хіміко-термічної обробки зразків (див. табл. 2.4)

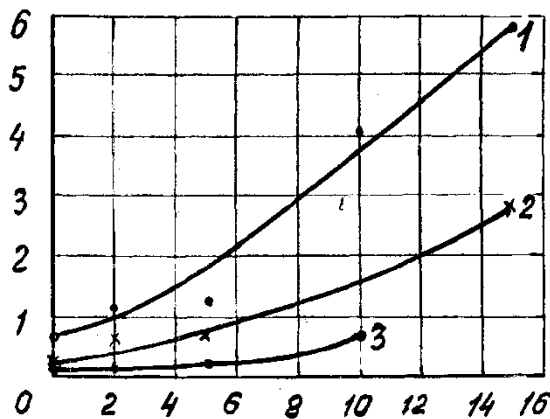
$\Delta m / s \Delta t, 10^{-2} \text{кг/м}^2 \text{ год,}$



Температура насичення, °C

Рисунок 4.9 - Вплив температури насичення на швидкість питомого травлення зразків чавуну, оброблених в сумішах А, В, С

Швидкість питомого травлення $10^{-2} \text{кг/м}^2 \text{ год}$



Вміст феросиліцію, %

Рисунок 4.10 – Вплив вмісту феросиліцію в активному середовищі на швидкість питомого травлення зразків, режим насичення:

1 - 800°C; 2 - 900°C; 3 - 950°C

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З'ясовано, що знижену швидкість травлення (найбільшу корозійну стійкість) мають зразки, що піддавались насиченню при температурах 900 та 950°C в сумішах А, В, С з малим та середнім вмістом феросиліцію. При більшому вмісті феросиліцію (суміші Е, Д) поверхневий дифузійний шар має підвищену пористість.

При понижених температурах (800°C) утворюється досить тонкий та не щільний зміцнений шар. При таких температурах дифузійні процеси відбуваються досить повільно. Корозійна стійкість зразків внаслідок цього не висока.

Корозійна стійкість поршневих кілець з електролітичним покриттям.

Випробуванням піддавали серійні компресійні кільця з захисним електролітичним хромовим покриттям та без нього. Покриття випробували в затиснутому стані до номінального зазору у замку.

Вплив хіміко-термічної обробки на корозійний знос поршневих кілець вивчали для двох партій кілець, одна з яких піддавалась термодифузійному насиченню в суміші А, а друга в суміші С (табл. 4.8)

Корозійну стійкість кілець та їх пружність визначали за зміною маси в процесі корозійних випробувань.

За отриманими даними побудовані криві залежності втрати маси одиницею поверхні кілець та їх відносної пружності від тривалості травлення (рис. 4.11-4, 13).

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Відносна пружність



Рисунок 4.12 – Вплив корозійного середовища на пружність поршневих кілець: 1 – 5 – номери партій кілець (див. табл. 4.8)

Відносна пружність



Рисунок 4.13 – Відносна втрата пружності поршневими кільцями: 1 – розрахунковий графік; 2 – експериментальні дані

Таблиця 4.8. Швидкість втрати питомої маси і відносної пружності

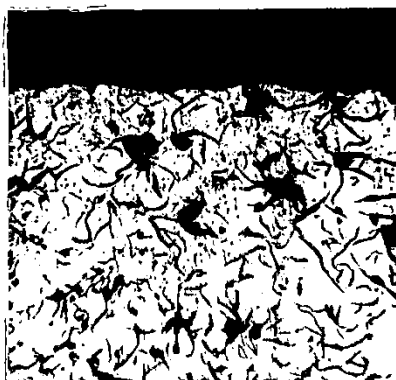
Обробка кілець/ параметри корозії	ТДЗ	ТДЛ	Серійні	Серійні в затиснутому стані
$\Delta m/S_{\Delta t} \cdot 10^{-2}$ кг/ м ² ·год	0,020	0,021	6,5	8,8
$\Delta Q/Q_0 \cdot \Delta t$ % /год.	0,8	0,6	2,4	2,7

Результати показали, що ХТО у 300 - 350 разів підвищує корозійну стійкість чавунних поршневих кілець. Кільця в затиснутому стані мають занижену корозійну стійкість (табл.4.8). Цей факт дозволяє припустити, що травлення чавуну відбувається не рівномірно по поверхні, а з проникненням корозійного середовища вглиб чавуну вздовж графітних включень, які відіграють роль каналів для травильного розчину. Це послаблює зв'язки між зернами металевої основи чавуну. Механічні напруження розтягу на зовнішній твірній стиснутого поршневого кільця сприяють цьому процесу, що і зумовлює підвищену втрату кільцями як маси так і пружності. Корозія має міжкристалічний характер.

Нерівномірний характер травлення поверхні чавуну незміцнених поршневих кілець доводить розбіжність між значеннями глибини стравленого шару, що отримані прямим мікрометрируванням і розрахованими за втратою маси кільцями (табл. 4.8).

Проникнення травильного розчину вглиб чавуну серійних поршневих кілець по графітним включенням добре видно під мікроскопом н поперечних шліфах вихідного поршневого кільця після 12 – хвилинного травлення (рис. 4.14). Це доводить, що процес травлення чавуну поршневих кілець має зерно граничний (міжкристалітний) характер.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74



а)

б)

Рисунок 4.14 – Мікроструктура поверхні поршневих кілець після травлення 30% - розчином сірчаної кислоти (x200): а – вихідна поверхня; б – після 12-хвилинного травлення

На кільцях, що піддавались ХТО, ці процеси блокуються поверхневим зміцненим шаром (табл.4.9).

Таблиця 4.9. Глибина стравленого шару, мм

Обробка кілець	ТДЗ	ТДЛ	Серійні	Серійні в затиснутому стані
Фактична глибина	0,01	0,01	0,08	0,095
Розрахункова глибина	-	-	0,11	0,12

Результати корозійних випробувань дозволяють зробити висновок: термодифузійне зміцнення зразків сірого чавуну і поршневих кілець, виготовлених із нього, значно (у сотні разів) підвищує їх корозійну стійкість.

У 3 – 4 рази підвищується стабільність пружності кілець при випробуваннях їх у водному розчині сірчаної кислоти в стиснутому та вільному станах.

4.4 . Вплив термодифузійного зміцнення на зносостійкість матеріалів циліндро – поршневої групи двигунів.

Результати випробувань на знос поршневих кілець, зміцнених термодифузійною обробкою та контр пластин, виготовлених з алюмінієвого сплаву поршнів АЛ-25 і гільзового чавуну наведені в таблицях 4 .10 ; 4.11.

Отримані результати дозволили визначити зносостійкість зразків та їх спряжень .

Аналіз результатів показує, що термодифузійне зміцнення зразків поршневих кілець значно зменшує швидкість зносу як самих кілець так і спряжених з ними деталей.

ТДЗ зразків поршневих кілець підвищує у 13 разів зносостійкість зразків. Зносостійкість контр пластин з алюмінієвого сплаву зросла у 2, 7 рази, хоча вона зміцнюючій обробці не піддавалась, а тільки працювала в парі із зміцненими зразками.

ТДЗ зразків чавуну СЧ20 підвищує у 8 – 17 разів зносостійкість самих зразків та контрпластин із гільзового чавуну у 16 разів, останні в обох випадках піддавались тільки гартуванню СВЧ.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.10.

№п/п	Зразок та його обробка	Контртіло	Зносостійкість цикли/мкм лінійний знос	Збільшення зносостійкості у (раз)
1	Поршневе кільце зміцнене	Сплав АЛ -25	4	13
2	Поршневе кільце контрольне	Сплав АЛ-25	0,3	
3	Поршневий сплав АЛ-25	Поршневе кільце зміцнене	1,1	2,7
4	Поршневий сплав АЛ-25	Поршневе кільце контрольне	0,4	
5	Чавун СЧ20 зміцнений	Гільзовий чавун, гартування СВЧ	20-40	8,7 – 17,4
6	Чавун СЧ20 контрольний	Гільзовий чавун, гартування СВЧ	2,3	
7	Гільзовий чавун, гартування СВЧ	СЧ20 - зміцнений	40	16
8	Гільзовий чавун, гартування СВЧ	СЧ20 - контрольний	2,5	

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Лінійний знос, мкм

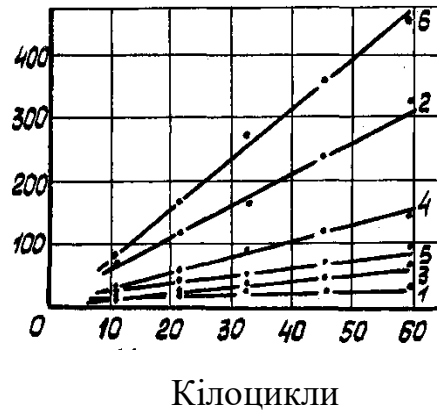


Рисунок 4.15 - Вплив хіміко - термічної обробки на знос: зміцнених (1) і контрольних (2) зразків поршневих кілець; контрпластин із сплаву АЛ-25 в парі із зміцненими (3) і не зміцненими (4) зразками; спряжень із зміцненими (5 і незміцненими (6) зразками кілець.

Лінійний знос , мкм

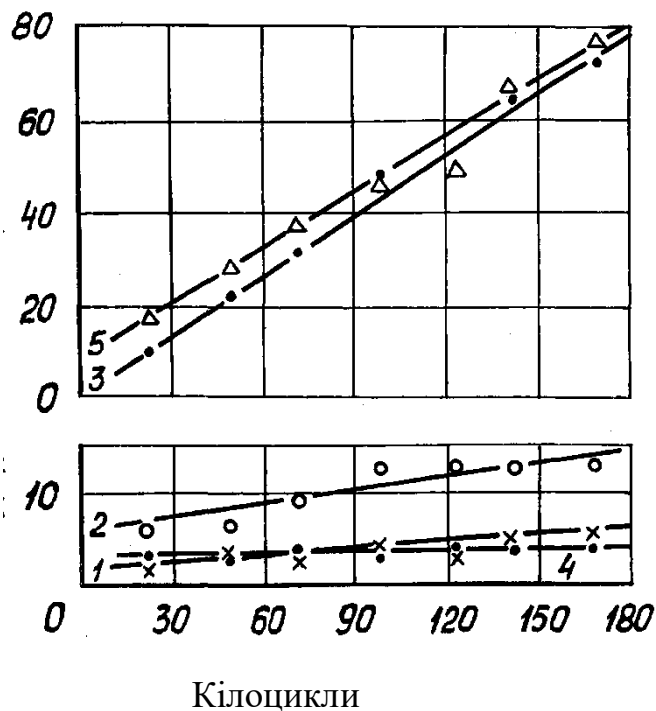


Рисунок 4.16 - Вплив хіміко-термічної обробки на знос: 1,2 – зміцнених (під тиском 4,41 – 2,80 Н відповідно) та контрольних (3) зразків чавуну СЧ20; контр пластин гільзового чавуну в парі із зміцненими і (4) і контрольними (5) зразками чавуну.

Таблиця 4.11. Зносостійкість спряжень.

№п/п	Спряження	Зносостійкість цикли/мкм лінійний знос		Збільшення зносостійкості у (раз)
		Зміцнені	Без зміцнення	
1	Кільце - поршень	0,86	0,17	5
2	Кільце - гільза	17	1,18	14

Отримані дані свідчать, що вплив питомого навантаження на знос незначний і виявлено для зміцнених зразків та зразків, що працюють з ними в парі. Збільшення навантаження у 6,4 рази (з 0,45 кгс/см² до 2,87 кгс/см²) сприяє зниженню зносостійкості зміцнених зразків чавуну на 52,5%.

Виявлено підвищений рівень і швидкість зносу спряження «кільце - поршень» (зразків поршневих кілець в парі з пластинами із сплаву АЛ-25). Це можна пояснити тим, що абразивні часточки і продукти зносу легко укорінюються в алюмінієвий сплав, що утруднює перетирання цих часточок в спряженні, підвищує їх абразивну. Отримані дані пояснюють причину малої довговічності в двигунах спряження «кільце - поршень», про що йшла мова в літературному огляді.

Високий протизносний ефект термодифузійного зміцнення зумовлений утворенням в поверхневому шарі деталі складних карбідів заліза, хрому, легованих кремнієм і марганцем, які володіють високою мікротвердістю і підвищеною абразивною та корозійною стійкістю.

Склад і глибина карбідної зони залежать від вмісту вуглецю в зміцненому сплаві. Високий вміст вуглецю в чавунах сприяє утворенню на їх поверхні

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

глибокої карбідної зони з високими протизносними властивостями. Отже, термодифузійне зміцнення зразків поршневих кілець із чавуна СЧ20 суттєво підвищує їх зносостійкість не тільки зміцнених, але й спряжених з ними деталей.

4.5. Вплив термоциклічної обробки на якість зміцненого шару, продуктивність процесу насичення, механічні і геометричні характеристики кілець.

Для даного дослідження підготовлені зразки, які вирізані із кілець СВД9-0309Б. Першу партію з яких насичували в сумішах А, В, С, Е при температурі 950 ± 5 °С протягом 4 годин. Другу партію зразків насичували в тих самих сумішах, протягом 4 годин, але в умовах термоциклічного режиму шляхом періодичного виймання контейнера з печі. За цей час в інтервалі температур 860 – 950°С було здійснено 11 термоциклів.



Рисунок 4.17- Графік режиму термоциклювання

Глибина зміцненого шару при термоциклюванні збільшується у 6 разів в суміші А і у 5 разів у суміші С. Така ж закономірність спостерігається і при насиченні в інших сумішах (табл. 4.12).

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

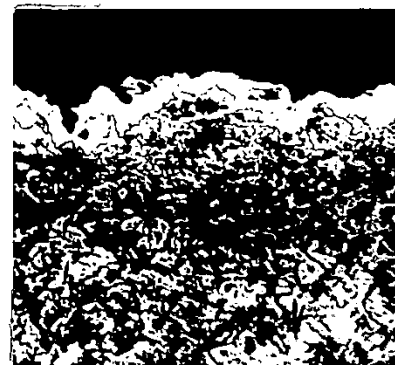
Таблиця 4.12. Прискорення насичення при термоциклюванні.

Режим насичення, $t = 4$ години	Глибина зміцненого шару, мкм в сумішах:			
	А	В	С	Е
Ізотермічний, 950°C	10	15	20	25
Термоциклічний 860 – 950°C	60	65	100	60

На рис.4.18 показана мікроструктура зразків, які насичувались в сумішах А і В, де проявляється вплив термоциклювання на процес комплексного дифузійного насичення сірого чавуну



а



б



в

Рисунок 4.18 – Вплив термоциклювання на глибину зміцненого шару (x200):

а, в – насичення в суміші А; б – в суміші С; а,б – насичення при $T=950^{\circ}\text{C}$;

в – з термоциклюванням в інтервалі 860 – 950 °С .

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Позитивний вплив термоциклічного режиму насичення на глибину зміцненого шару можна пояснити наступним: швидкість дифузії кремнію в залізі більша, ніж хрому та інших легуючих компонентів насичуючого середовища. Тому відбувається переважно дифузія атомів кремнію в металеву основу чавуну.

В умовах ізотермічного насичення вище точки $\alpha - \gamma$ (наприклад, при 950°C), кремній накопичується в поверхневому шарі, сприяє поліморфному перетворенню залізній матриці чавуну.

Це сприяє проникненню вуглецю вглиб зразка, так як розчинність його в α -залізі не перевищує 0,025%. Такі зміни структури поверхневого шару стимулюють прискорену дифузію хрому та інших насичуючих елементів, так як коефіцієнт дифузії атомів в $\alpha - \text{Fe}$ значно вищий, ніж в більш компактній $\gamma -$ фазі.

Максимальне значення коефіцієнту дифузії легуючих елементів визначено для двохфазної області ($\alpha \pm \gamma$), так як вона характеризується високою щільністю вакансій, дислокацій, границь блоків, зерен та інших дефектів кристалічної будови, які є каналами прискореної дифузії атомів в твердих тілах. Дифундуючи вглиб зразка чи деталі фронт $\gamma - \alpha$ перетворення сприяє насиченню поверхні легуючими елементами. Потрібний для утворення карбідів вуглець надходить з активної порошкової суміші та з графітних включень чавуну, який насичують.

При температурі нижче $\alpha - \gamma$ перетворення заліза матриця чавуну знаходиться у $\alpha -$ стані. Насичення чавуну за цих умов не супроводжується поліморфними перетвореннями і добавки феросиліцію в шихту не має значного прискорюючого впливу.

Двохфазний стан в поверхневому шарі чавуну можна відтворювати багаторазово, якщо під час насичення циклічно змінювати температуру в інтервалі між точками початку та кінця $\alpha - \gamma$ перетворення, чи одну з них.

Термоциклювання дозволяє підтримувати в поверхневому шарі деталі умови,

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

які забезпечують прискорену дифузію легуючих елементів з активної суміші в насичуючу поверхню. Під час термоциклічних умов швидкість дифузійних процесів збільшується у 15 - 35 разів.

Логарифм мікротвердості

Мікротвердість, кгс/мм²

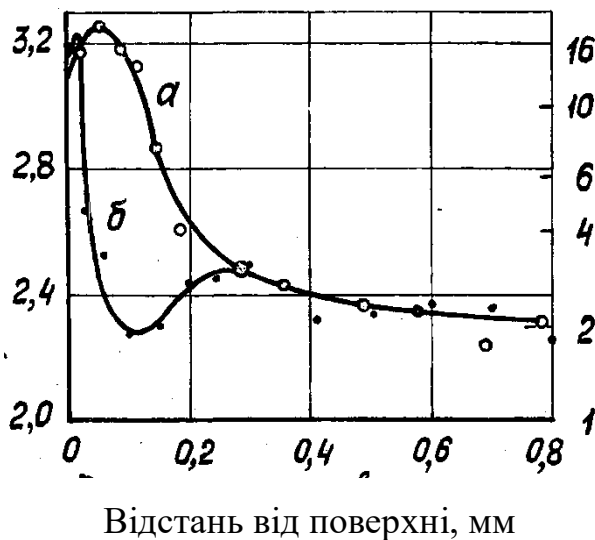


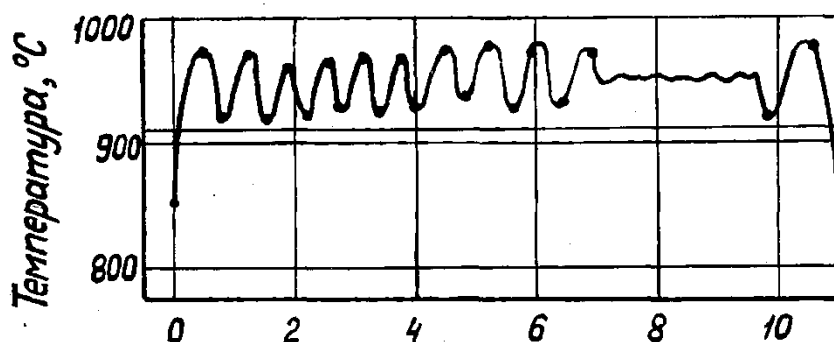
Рисунок 4.28 – Мікротвердість зміцнених шарів, які отримані при термоциклюванні (а) та в умовах ізоотермічної витримки (б)

Мікротвердість зміцненого шару на зразках, які отримані за режимом термоциклювання, монотонно знижується від максимуму на поверхні деталі до значення, характерного для незміцненої серцевини, а для зразків без термоциклювання під тонким зміцненим шаром утворюється широка знеміцнена зона із заниженими значеннями мікротвердості. Такий ефект термоциклювання можна пояснити багаторазовою перекристалізацією, яка сприяє більш повному розчиненню в дифузійній зоні легуючих елементів (і також вуглецю).

Локальний рентгеноспектральний аналіз показав розподіл кремнію, вуглецю та хрому по глибині дифузійного шару, отриманого при термоциклюванні та при ізоотермічному насиченні. Поліморфні перетворення

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в чавунній матриці позитивно впливають на дифузійні процеси під час термоциклювання. Зразки, які піддавались насиченню при більш високій температурі 920 – 950°C при ізотермічному процесі, мали товщину насиченого шару меншу (17,5 мкм), ніж зразки, що оброблені в режимі термоциклювання в інтервалі температур поліморфного перетворення. Зміцнені шари, які отримані термоциклюванням мають підвищену пористість. Ступінь пористості під дією термоциклювання зростає в напрямку від серцевини деталі до її поверхні, що має покращити умови змащування робочих поверхонь кільця та прискорити його припрацювання.



Тривалість насичення, год

а)



Рисунок 4.29 – Термоциклювання вище точки поліморфного перетворення:

а - графік температурного режиму;

б – зміцнений шар на поверхні деталі (x200)

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

В таблиці 4.14. показані механічні властивості кілець, які насичувались з термоциклюванням. Відпал проведено в чавунній стружці (7 циклів протягом 5 годин в інтервалі 860 - 955°C) та дифузійне насичення в суміші С (6 циклів протягом 6 годин при 860 - 955°C).

Таблиця 4.14. Вплив термоциклювання на механічні властивості кілець Д 24.127А.

Відносна залишкова деформація		Відносна пружність	Модуль пружності			
			Умовний		Зміцненого шару	
серійних	зміцнених	Q / Q ₀	вихідних	зміцнених	відносна	абсолютна
х	х		х кілець	х кілець	е	е
7,0	4,50	1,18	0,90	1,14	2,72	2,88

Отримані дані свідчать, що термоциклювання суттєво підвищує механічні властивості кілець. Наприклад, відносна залишкова деформація кілець сягає 4,5% , а у серійних 7%; у зміцнених в умовах ізотермічної витримки – 18,8%. Значна глибина зміцненого шару, отриманого за умов термоциклювання дозволила визначити найбільше абсолютне значення його модуля пружності. Насичення з термоциклюванням значно підвищує експлуатаційні якості кілець: зменшується їх торцеве жолоблення, підвищується ударна в'язкість серцевини кілець, зменшується крихкість (табл.4.15).

Випробування на крихкість здійснювали шляхом діаметрального стискання кілець до нульового зазору у замку.

Дані таблиці 4.15 свідчать, що зміцнення з термоциклюванням у порівнянні з ізотермічним процесом підвищують ударну в'язкість чавуну на 10 %, зменшують торцеве жолоблення кілець у 1,4 – 1,6 рази, це може бути позитивний вплив подрібнення зерна в металевій основі чавуну та більш повної релаксації напружень, що виникають під час насичення під дією багаторазової фазової перекристалізації.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.15. Вплив термоциклювання на торцеве жолоблення і крихкість ущільнювальних кілець.

Температурний режим	Торцеве жолоблення		Випробування на ударну в'язкість	Крихкість (тріщини кільця), штук
	макс.	середнє		
Термоциклювання	0,13	0,05	5,2	із 20 – 1
Ізотермічна витримка при 960 ±5°C	0,18	0,07	4,7	із 10 - 9

Явище підвищення крихкості чавунних кілець внаслідок ізотермічного дифузійного їх насичення пояснюється ростом зерна в металевій основі чавуну під впливом температури процесу (950 °C) та досить тривалого процесу (15 – 16 годин).

При термоциклюванні ріст зерна блокується багаторазовою фазовою перекристалізацією. Зниження середньої температури процесу до 925-930 °C та його тривалості до 4-6 годин також сприяє формуванню більш дрібнозернистої структури серцевини кілець, що забезпечує їм високі пружні властивості.

Проведені дослідження показали, що термоциклювання при термодифузійному насиченні чавунних поршневих і ущільнювальних кілець в декілька разів скорочує тривалість процесу, покращує якість зміцненого шару, підвищує механічні властивості серцевини деталей.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.6. Вплив термодифузійного зміцнення з термоцикуванням на зносостійкість ущільнювальних кілець та спряжених з ними деталей.

В таблиці 4.16 показані результати вимірювання зносу серійних і зміцнених ущільнювальних кілець і спряжених з ними деталей після стендових випробувань.

Таблиця 4.16. Результати стендових випробувань. Знос кілець (мм).

Кільця	Номера кілець									
	1 пара		2 пара		3 пара		4 пара		5 пара	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Серійні	0,04		0,30		125		0,18		0,02	
		0,14		1,30		1,00		0,40		0,03
Зміцнені	0,09		0,11		0,12		0,01		0,01	
		0,06		0,02		0,05		0,06		0,04

Таблиця 4.17. Результати стендових випробувань. Знос канавок (мм)

В парі з кільцями	Номера канавок									
	1 пара		2 пара		3 пара		4 пара		5 пара	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Серійними	0,10		0,29		0,35		0,37		0,06	
		0,12		0,22		0,39		0,33		0,07
Зміцненими	0,03		0,13		0,15		0,14		0,00	
		0,07		0,04		0,05		0,04		0,00

Таблиця 4.18. Знос втулки (мм)

В парі з кільцями	Номера доріжок									
	1 пара		2 пара		3 пара		4 пара		5 пара	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Серійними	0,08		0,12		0,22		0,12		0,00	
		0,04		0,14		0,20		0,16		0,00
Зміцненими	0,01		0,045		0,08		0,11		0,03	
		0,045		0,05		0,08		0,08		0,00

Таблиця 4.19 Середній знос та відносна зносостійкість зміцнених ущільнювальних кілець і спряжених з ними деталей

Знос	Кільця		Канавки валу в парі з кільцями		Доріжки втулки в парі з кільцями	
	зміцнені	серійні	зміцнені	серійні	зміцнені	серійні
Знос, мм	0,057	0,047	0,065	0,23	0,053	0,108
Відносна зносостійкість	8,25		3,5		2,0	
Знос по 2 і 3 парам в мм	0,0750	1,07	0,093	0,31	0,064	1,175
Відносна зносостійкість	14,3		3,3		2,7	

Аналіз результатів стендових випробувань дозволяє зробити висновки, що термодифузійна обробка ущільнювальних кілець з термоциклічним режимом суттєво, майже у 8, 25 – 14,3 рази підвищує зносостійкість в абразивному середовищі. Одночасно підвищується зносостійкість вторинного валу у 3,3 рази і втулки – у 2, 7 рази.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

Зміцнення за досліджуваною технологією верхніх поршневих кілець на 28 % зменшує витрати масла на вигар, у 2,5- 2,9 рази підвищує зносостійкість спряження «верхнє кільце – канавка поршня», на 3,1 % зменшує питомі витрати палива.

Після термодифузійного зміцнення в циліндрах покращились показники компресії робочих газів. Двигуни з досліджуваними кільцями під час експлуатації легше запускались і працювали з меншим виділенням диму.

Термодифузійне насичення з термоциклюванням має такі технологічні переваги перед іншими.

1. Тривалість процесу зміцнення можна скоротити до 3 – 4 годин.
2. Не потрібно проводити гартування кілець.
3. Зменшуються витрати електричної енергії і матеріалів.
4. З'являється можливість регулювання пористості зміцненого шару.
5. Суттєве скорочення тривалості обробки дозволяє автоматизувати процес і зробити його неперервним.
6. Висока продуктивність процесу, можливість формування зміцнених шарів досить значної товщини (0,2 – 0,4 мм).
7. Варіюванням температурного режиму термоциклювання, можна регулювати пористість та твердість зміцненого шару.
8. Спосіб відрізняється простотою підготовчих операцій та не вимагає складного обладнання. Обов'язковим є підтримання температури під час процесу насичення з точністю $\pm 5^\circ$ (для запобігання спіканню порошкової суміші).
9. Якість насиченого шару в значній мірі залежить від складу порошкової суміші, ферокремній позитивно впливає на товщину шару, однак підвищує ризик спікання активної суміші та налипання її на поверхню деталі. Перевищення оптимальних концентрацій феросиліцію в суміші не бажане.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки.

1. Термодифузійне зміцнення чавунних поршневих кілець підвищує його мікротвердість у 4 – 5 разів, корозійну стійкість в розчині сірчаної кислоти у 320 разів, абразивну зносостійкість в парі з поршневим сплавом – в 13 разів, з гільзовим чавуном – у 8 – 17 разів.

2. Одночасно підвищується зносостійкість контртіл: поршневого сплаву – АЛ25 - у 2,7 рази, гільзового чавуну – у 16 разів.

3. Термодифузійне зміцнення поршневих кілець підвищує їх пружність на 23 %, температурну стабільність пружності – у 2,4 – 2,7 рази; стабільність мікротвердості - у 2 рази, абразивну зносостійкість у 8, 25 – 14,3 рази. Зносостійкість спряженого з ними вала зростає у 3,3 рази, а зносостійкість втулки – у 2,7 рази.

4. Термодифузійне зміцнення з термоциклюванням з 8- 9 термоциклами в інтервалі температур 850 – 950°C, дозволяє скоротити технологічний процес цементації ущільнювальних кілець до 3-4 годин, що у 5 – 6 разів менше за традиційний.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЛІТЕРАТУРА

1. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів: Технологія: Підручник. –К.: Вища школа, 2007. –527с.
2. Бучинський М.Я., Горик О.В., Чернявський А.М., Яхін С.В. Основи творення машини / [За редакцією О.В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. – Харків : Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7
3. Відновлення деталей машин та конструкцій: Конспект лекцій. / Уклад. І.В. Смирнов. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 147 с.
4. Матеріали для виготовлення виробів транспортного призначення : навч. посіб. / Л .А. Тимофеева, С. С. Тимофеев, І. І. Федченко, Г. Л. Комарова, В. М. Остапчук. Харків : УкрДУЗТ, 2017. 173 с.
5. Нові матеріали та їх одержання : підручник / Е. С. Геворкян, Г. Д Семченко, Л. А Тимофеева, В. П. Нерубацький. Харків : Діса +, 2015. 344 с. ISBN 978-617- 7064. 91-5.
6. Від традиційних до нових матеріалів. Новітні матеріали і речовини ХХІ століття : навч. посіб. Ч. 5 / О.Т. Богорош, С.О. Воронов, В.М. Крамар, О.Г. Шайко-Шайковський. – Чернівці : ЧНУ, 2018. – 216 с. – ISBN 966-423-442-6
7. Технологія та обладнання для відновлення автомобільних деталей. Конспект лекцій / Укл. Авер'янов В.С.– Кам'янське: ДДТУ, 2018.–70 с.
8. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. — К.: Либідь, 2006. — 400 с. — ISBN 966-06-0416-5.
9. Чернета О.Г. Основи технологічного виробництва при виготовленні та ремонту автомобілів / О.Г. Чернета, О.М. Коробочка, О.О. Сасов // – Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 196 с.
10. Інтегровані технології обробки матеріалів : підручник / Е. С. Геворкян, Л. А. Тимофеева, В. П. Нерубацький та ін. Харків : УкрДУЗТ, 2016. 238 с.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						91
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та діляниць: Навчальний посібник. — Суми: Вид-во СумДУ, 2008. — 212 с. ISBN 978-966-657-185-7
12. Захарчук О.В. Основи технології виробництва та ремонту автомобілів: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Олег Вікторович Захарчук. – Луцьк РВВ Луцького НТУ. 2017.- 140 с.
13. Матеріалознавство. Навчальний посібник: навчально-методичний комплекс для студентів денної і заочної форм навчання / А.В. Галико, О.В. Кузик, В.М. Кропівний, А.В. Кропівна, Л.А. Молокост – Кіровоград: КОД, 2015. – 168 с.
14. Диха О, В., Свідерський В.П., Дробот О.С., Машовець Н.С. Технологічне забезпечення довговічності технічних трибо систем: монографія / О.В. Диха, В.П. Свідерський, О.С. Дробот, Н.С. Машовець. - Хмельницький : ХНУ, 2021. – 178 с.
15. ДСТУ ISO 6508 – 1 : 2013. Металеві матеріали. Визначення твердості за Роквеллом.
16. ДСТУ 3132–95 Чавун ливарний. Технічні умови
17. ДСТУ 8833: 2019. Виливки із сірого чавуну
18. ГОСТ 28426-90. Термодифузійне зміцнення і захист металевих виробів. Загальні вимоги до технологічного процесу.
19. ДСТУ ISO 6623:2019 Двигуни внутрішнього згорання. Кільця поршневі. Чавунні мастилознімні кільця (ISO 6623:2013, IDT)
20. ДСТУ EN 100-1: 2006. Випробування на ударний вигин за Шарпі.

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ

					МРТАМ 24.23597.000 ПЗ	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		