

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра загальнотехнічних дисциплін

Пояснювальна записка

до *дипломної роботи* на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
на тему: «Підвищення ресурсу відновлених гілз циліндрів за рахунок нанесення
антифрикційного покриття»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою Технології
і засоби механізації сільськогосподарського
виробництва

спеціальності 208 Агроінженерія
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3

Бойко Сергій Сергійович

Керівник: Антонець А. В.

Рецензент: Горбенко О. В.

Полтава – 2021 року

ВСТУП

Актуальність теми. Створення і впровадження нових систем і комплексів машин, подальша інтенсифікація АПК роблять найважливішою проблему підвищення надійності і довговічності техніки, ефективності її використання, рівня технічного обслуговування, ремонту і зберігання [1]. Ефективне використання техніки можливо тільки при чіткій організації робіт з її технічного обслуговування і ремонту.

На сучасному етапі розвитку ремонтної бази ремонтні-майстерні, ремонтно-механічні заводи, дилерські центри, підприємства технічного сервісу вирішують великі і відповідальні завдання по підтриманню машинно-тракторного парку країни в працездатному стані, періодичному відновленню ресурсу машин.

Одним з ключових технологічних питань, що підвищують довговічність і технічну готовність двигунів, є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, забезпечують підвищення якості відновлення і відповідно ресурсу відремонтованих машин.

У ремонтному виробництві часто важко забезпечити отримання потрібних розмірів відновлюваних деталей через недосконалість обладнання. Наприклад, при розточенні і наступному хонінгуванні гільз під ремонтний розмір. На багатьох ремонтних заводах розмір гільзи підганяють індивідуально під кожен поршень. Це не дозволяє використовувати високопродуктивне обладнання, а недотримання необхідних зазорів в з'єднанні призводить до збільшення тривалості процесу припрацювання або неможливості такої.

З цих позицій для підприємств технічного сервісу (ПТС) перспективною виглядає комплексна операція, що полягає в нанесенні антифрикційного покриття (мідь). Тим більше, що ця операція в силу своєї відносної простоти може бути використана як при ремонті ЦПГ в умовах ПТС, так і при виготовленні нових в умовах заводів виробників.

Пропонується об'єднати сучасні способи в єдину технологічний ланцюжок, створивши, таким чином, комплекс заходів для практичного здійснення

підвищення ресурсу відремонтованих двигунів. Серед технологічних процесів відновлення гільз циліндрів в умовах ремонтних підприємств заслуговує уваги, так званий, комбінований спосіб обробки. Стосовно гільз циліндрів перспективним слід вважати комбінований спосіб: розточування, нанесення антифрикційних покриттів (ФАБО).

Розточування поверхні тертя гільзи усуває сліди зносу і забезпечує необхідні розміри і точність для подальшої обробки.

Нанесення антифрикційного покриття здійснюється при фінішній антифрикційній безабразивній обробці (ФАБО). Сутність ФАБО полягає в нанесенні в процесі тертя на поверхню тонкого шару металу, що володіє високими антифрикційними властивостями. Зменшення зносу обмідненої поверхні можна пояснити двома факторами: перше - це зміцнення поверхневого шару, друге - це наявність більш пластичного мідного покриття, що зменшує не тільки коефіцієнт тертя, але і відіграє роль твердого мастила в процесі тертя. Поверхнєве зміцнення гільз циліндрів з одночасним нанесенням антифрикційного мідного покриття скорочує час припрацювання деталей двигуна і зменшує їх початковий знос.

Мета дослідження. Підвищення ресурсу відновлюваних гільз циліндрів за рахунок нанесення антифрикційного покриття.

Об'єкт дослідження. Технологія антифрикційної обробки гільз циліндрів двигунів ЗМЗ-511.10.

Предмет дослідження. Поверхні тертя гільз циліндрів автотракторних двигунів.

Методика досліджень включала проведення лабораторних, трибологічних досліджень зразків деталей і мастильно-охолоджуючих розчинів, експлуатаційні випробування.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні технологічних параметрів обробки гільз циліндрів.

Практична значимість. Досліджений технологічний процес ремонту гільз циліндрів двигунів ЗМЗ-511.10 із застосуванням нанесення антифрикційного покриття в порівнянні з типовим дозволяє:

- знизити знос гільз в 1,3 рази;
- одержати економічний ефект за рахунок скорочення двох операцій хонінгування.

1. СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Матеріали і умови роботи деталей триботехнічного sprzęження «гільза-поршневе кільце»

Деталі з сірого чавуну (СЧ) є поширеними в сільськогосподарській техніці. У машинобудуванні вони займають в середньому до 70% [2]. Аналіз показав, що немає жодної сільськогосподарської машини, яка не мала б чавунних деталей (3,5 ... 45%). Більшість з них визначають ресурс машини. Це пов'язано з тим, що чавун володіє високими ливарними властивостями, хорошими експлуатаційними властивостями і достатньою міцністю.

Гільзи автотракторних двигунів виготовляються з різних чавунів, механічні властивості, яких мають задовольняти вимогам умов експлуатації двигунів [3].

В табл. 1.1 наведені основні матеріали, з яких виготовляються гільзи циліндрів.

Таблиця 1.1 – Характеристика і розмір гільз циліндрів автотракторних двигунів

Марка двигуна	Матеріал гільзи	Діаметр, мм	Довжина, мм	Твердість робочої поверхні
ЗИЛ-130	СЧ18	100,0 ^{0,06}	188,5	НВ 170...241
ЗМЗ-510.11	СЧ24	92 ^{0,06}	155	НВ 170...197
ЯМЗ-236, ЯМЗ-238	Чавун спеціальний	130 ^{0,04}	285	HRC 42...46
КамАЗ-740	Чавун спеціальний	120 ^{0,02}	224	HRC 45...50

Поршневі кільця виготовляють з сірого чавуну і вуглецевих сталей. Нижні компресійні і маслознімні кільця виготовляють з сталеві стрічки марок У8А, 65Г, 50ХФА.

Сірий чавун має графітові включення з низькою міцністю $\sigma_e < 0,2$ МПа, що впливає на властивості міцності чавуну.

Присутність графіту має і ряд цінних механічних властивостей: високе внутрішнє тертя, що сприяє швидкому розсіюванню енергії при вібраціях; низька чутливість до зовнішніх навантажень; високий відносний опір втомним навантаженням [4, 2].

Технологічні властивості також пов'язані з наявністю графіту: хороші ливарні властивості; здатність до обробки різанням; погана зварюваність матеріалу.

Властивості міцності сірого чавуну залежать від характеру графіту і структури. Поведінка чавуну в процесі деформації дуже складна. Теорія надрізів вважається недостатньою для пояснення відмінності в поведінці чавуну при розтягу і стиску, наявності механічного гістерезису.

Механізм деформації чавуну вивчався в роботах [2]. Аналіз цих робіт показує, що при малих напруженнях головну роль відіграють пружні деформації, при великих - деформації порожнин графіту головним чином залишкові.

У дослідженнях [5] зазначалося, що пластичні зрушення в чавуні супроводжуються розпушуванням структури. Відомо, що відносна зміна обсягу чавуну нелінійно пов'язана з напруженнями [6].

Процеси термічної обробки і пластичне деформування забезпечують підвищення твердості чавуну, але і в той же час створюють досить високі залишкові напруження, які сприяють зниженню міцності матеріалу в цілому.

Особливу важливість представляють дослідження процесів, які протікають в металі при перших пружно-пластичних циклах навантаження, оскільки в цей час в матеріалі відбуваються зміни які впливають на подальший опір деформуванню [7].

Враховуючи особливості сірого чавуну про його властивості можна сказати наступне [8]:

1. Чинить слабкий опір пластичним деформаціям та при дуже малих напруженнях ($\sigma = 0,05 \dots 0,07$ МПа) вже спостерігаються залишкові деформації.

2. Пружні властивості, залежать від характеру і величини графітових включень.

3. При деформації не підпорядковується закону Гука.

4. Неоднаково чинить опір розтягуванню, і стисненню, пружні властивості при розтягу нижчі, ніж при стиску.

5. Коефіцієнт поперечних деформацій лінійно зменшується з зростанням напружень при розтягу; при стисненні величина коефіцієнта спочатку постійна, а при великих напруженнях-збільшується.

Аналіз літературних і патентних джерел показує, що 30-40% відмов; автотранспорту припадає на двигуни., Відремонтовані двигуни наробіток на відмову мають в 2 ... 4 рази менший в порівнянні з новими [9, 4]. Це відбувається в основному через недосконалість технології відновлення і зміцнення пар тертя деталей двигунів, зниження коефіцієнта корисної дії двигунів внутрішнього згорання за рахунок збільшення механічних втрат в парі тертя «поршневе кільце - гільза». Тому підготовка поверхонь тертя цих деталей з метою підвищення їх зносостійкості є актуальним завданням.

Результати експлуатації автомобілів [7] показують, що ресурс двигунів визначається зносостійкістю циліндропоршневої групи (ЦПГ) і кривошипно-шатунного механізму (КШМ). Ці рухливі з'єднання в більшості випадків лімітують ресурс всього двигуна в цілому, тому при капітальному ремонті операції відновлення працездатності даних з'єднань є обов'язковим.

Знос циліндропоршневої групи залежить від матеріалів деталей, величини зазорів, твердості тертьових поверхонь, якості змащення і палива, швидкості вібрацій; і т.д.

Для підвищення ресурсу двигунів необхідно знижувати втрати на тертя, підвищувати зносостійкість тертьових поверхонь, знижувати шорсткість поверхонь, покращувати змащення поверхонь і т.д.

Поршневі кільця призначені для зняття, надлишків змазки із внутрішньої поверхні гільзи циліндрів і ущільнення камери згорання. Ресурс поршневих кілець повинен становити не менше 70 % від ресурсу двигуна [10].

В перший період роботи ЦПГ після виготовлення чи ремонту поверхні деталей не здатні відразу сприймати експлуатаційні навантаження, вони ще не мають оптимальної шорсткості та не мають оптимальних фізико-механічних властивостей. В результаті спостерігається значний прорив газів. В цих умовах велика ймовірність захоплювання поверхонь в місцях фактичного контакту, що може привести до їх важких пошкоджень, які іноді призводять до неможливості подальшої роботи. При вивченні явищ захоплювання і задиру, що виникають у ЦПГ, встановлено, що неодмінною умовою захоплювання є металевий контакт ділянок поверхонь, позбавлених оксидних і інших адгезійних захисних плівок, а високі температури, пластичні деформації поверхневого шару деталей сприяють цьому. При захоплюванні сталевих і чавунних поверхонь тертя з'являються так звані білі шари, що володіють високою твердістю і крихкістю. Відносно легко викрашуючись і потрапляючи в зону тертя, вони викликають посилене абразивне зношування, яке, в свою чергу, створює умови для захоплювання і утворення нових білих шарів. Такий процес часто носить лавиноподібний характер і приводить до повного виходу з ладу вузлів тертя.

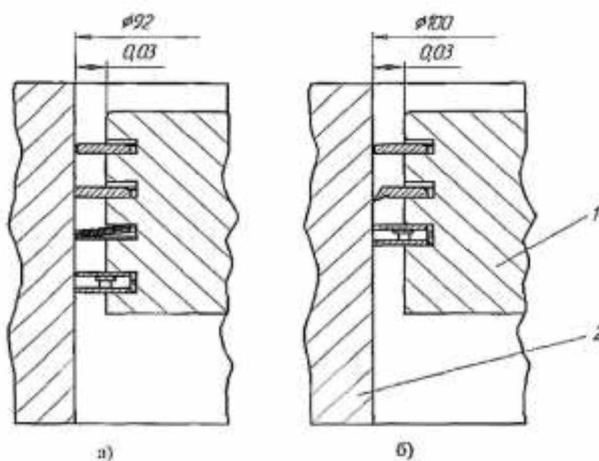
При зворотно-поступальному русі поршня особливо несприятливі умови роботи деталей ЦПГ створюються в момент реверсування, тобто при мінімальних швидкостях руху. Найбільшою мірою це проявляється у камери згоряння, де відбувається збільшення зносу деталей внаслідок високих температур і тиску. Товщина масляної плівки між кільцями і гільзою змінюється при русі поршня. Крім того на такті всмоктування відбувається розрідження масляної плівки паливом. У момент такту стиснення плівка мастила видувається з-під поршневих кілець і вигоряє під час займання. Це призводить практично до її знищення (або втрати мастильних властивостей).

Ударний характер взаємодії, вібрації поверхонь тертя поршня, пальця, кілець і стінки циліндра, зростаючий у міру зносу деталей, ускладнює умови роботи деталей ЦПГ двигуна. При положеннях поршня у верхній і нижній мертвих точках завжди спостерігається майже повне руйнування масляної плівки, і створюються умови тертя без мастила. У зоні максимальної швидкості ковзання

поршня (ближче до середньої частини гільзи) товщина масляної плівки збільшується і виникає тертя з еластогідродинамічним мастилом.

Система «гільза-кільце-поршень» здатна самонастроюватися, підтримуючи експлуатаційне протікання процесів тертя і зношування [11]. Система самонастроюється шляхом формування поверхонь тертя в початковий період роботи двигуна в результаті комплексного впливу на них змінних газових і інерційних сил, сил тертя, термічних впливів та ін.

Основні карбюраторні двигуни, які використовуються в с.-г. виробництві, це двигуни сімейства ЗМЗ та ЗИЛ, мають наступні схеми розташування поршневих кілець в гільзі (рис. 1.1).



а – сімейства ЗМЗ; б – сімейства ЗИЛ; 1 – поршень; 2 – гільза

Рисунок 1.1 – Схеми з'єднань «гільза-кільце-поршень» для двигунів

Триботехнічні характеристики пари тертя «поршневе кільце - гільза» можна поліпшити за рахунок створення умов, що не допускають так званого масляного голодування. Існують різні способи створення підвищеної зносостійкості деталей.

Згідно з даними [12] хромування гільз циліндрів значно (до 5 разів) збільшує їх зносостійкість. Однак через те, що поршневі кільця виготовляють хромованими, а триботехнічні характеристики пари тертя «хром - хром» мають низькі значення, то хромування гільз не застосовують. Для зниження зносу поверхню тертя гільз циліндрів і поршневих кілець піддають термообробці і

наносять зносостійкі покриття. Знос гільз циліндрів і поршневих кілець наведені в табл. 1.2. [13].

Таблиця 1.2 – Знос гільз циліндрів і поршневих кілець

Види зміцнення	Середнє значення зносу, 10^{-4} мкм/км	
	гільз циліндрів	поршневих кілець
Хромування гільз	3,1	17,4
Хромування поршневих кілець	7,8	14,8
Ізотермічне загартовування	8,6	37,5
Нормалізація кілець	15,4	44,0
Без зміцнення	16,8	48,5

Знос гільзи циліндра по висоті не однаковий. Автори [14] відзначають, що найбільший знос відбувається у верхній частині, в так званій зоні зміни напрямку руху компресійних кілець, де спостерігається брак мастила через наявність високих тисків і температур.

На поверхні тертя гільз циліндрів двигунів, навіть при максимальній швидкості ковзання поршня не спостерігається тертя з гідродинамічним мастилом [14]. З підвищенням тиску на компресійні кільця і температури поверхонь тертя зона тертя з граничною мастилом в гільзі циліндра збільшується.

В роботі [15] відзначається, що при переважанні корозійно-механічного зношування, максимальний знос спостерігається у верхній частини гільзи циліндрів, при абразивному зношуванні більше зношується середня частина гільзи.

Згідно [16] зазначається, що гільзи більше схильні до абразивного зношування через попадання твердих частинок в зону тертя. В роботі [17] автор вважає, що на збільшення інтенсивності зношування пари тертя «гільза - кільце» впливає різка зміна навантажувальних і швидкісних режимів роботи двигуна.

В літературі, незважаючи на численні дослідження по вивченню зносу гільз циліндрів [18], мало порівняльних даних про знос гільз циліндрів і поршневих

кілець нових і відремонтованих двигунів. Слід зазначити також, що ресурс ЦПГ в відремонтованих двигунах зменшується також через порушення технології складання двигуна, що призводить до овальності і конусності гільз циліндрів.

Підраховано, що втрати на тертя в парі «поршневі кільця - гільза циліндра» складають в середньому 12% потужності двигуна. Зниження втрат в цій парі з 12% до 9% дає значну економію палива, призводить до підвищення потужності і ККД двигуна [19].

1.2 Способи відновлення гільз циліндрів

При експлуатації у гільз циліндрів зустрічаються наступні дефекти: знос внутрішньої поверхні, знос поверхні нижнього опорного бурта і посадочних поясів, кавітаційні руйнування зовнішньої поверхні, відкладення накипу. Основний дефект гільз циліндрів – знос внутрішній поверхні.

Існуючі способи відновлення внутрішньої поверхні і зміцнення гільз циліндрів можна умовно розділити на дві групи: розточування під ремонтний розміру і відновлення до номінального розміру (рис. 1.2)

На рис. 1.3 показана порівняльна вартість різних методів обробки деталей і шорсткість, яка при цьому досягається [20]. При більш низькій шорсткості і зі збільшення точності вартість обробки різко збільшується. Найменша вартість відповідає обробці розточуванням і чистовим точінням. Разом з цим досягається висока шорсткість і продуктивність.

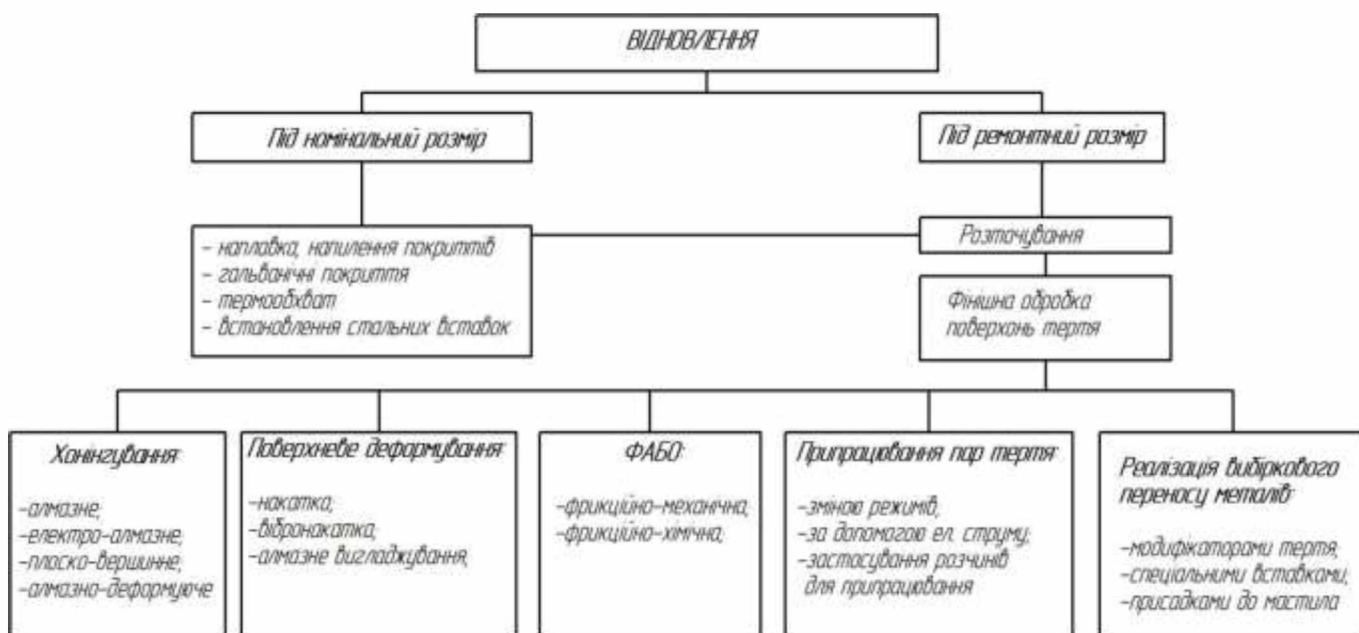


Рисунок 1.2 – Способи відновлення поверхонь тертя гільз циліндрів

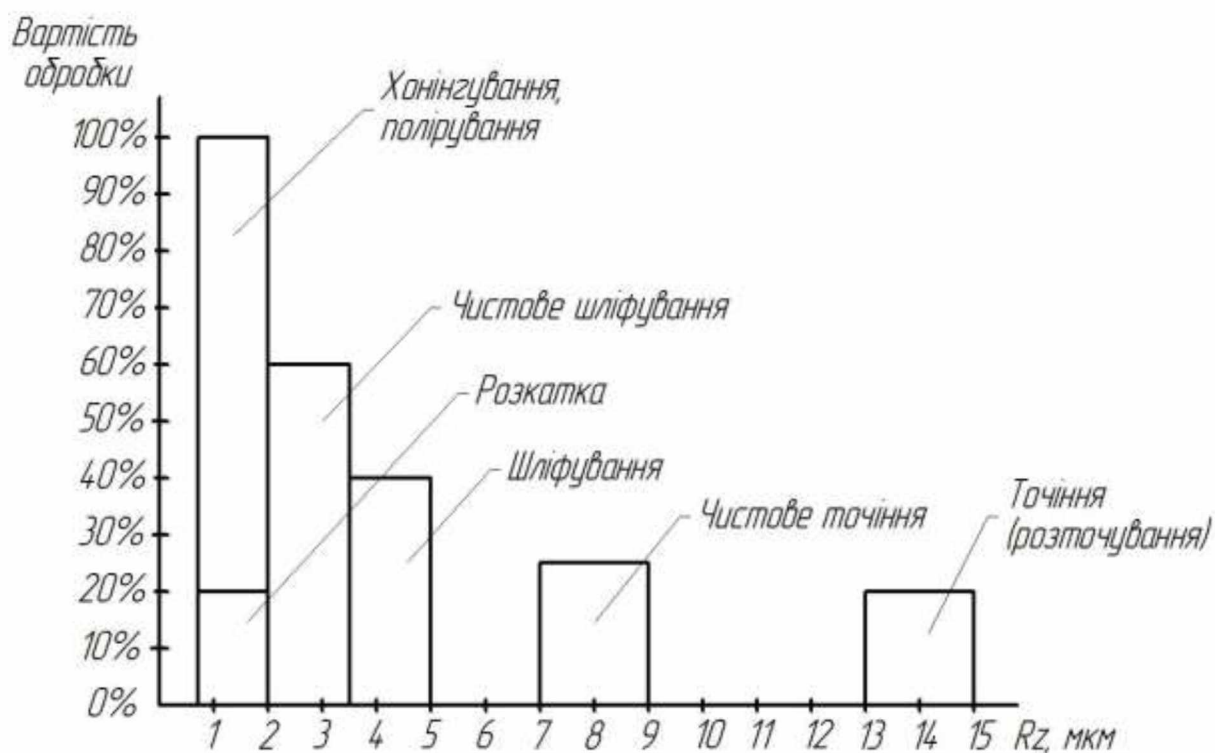


Рисунок 1.3 – Економічна оцінка способів обробки

Аналіз літературних джерел [21,22,27] дозволив класифікувати основні методи підготовки поверхонь тертя до експлуатації при відновленні гільз циліндрів і виділити недоліки і переваги (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Порівняльна оцінка способів відновлення гільз циліндрів

Спосіб	Переваги	недоліки
Розточування під ремонтний розмір	-простота технології ремонту; -низька собівартість; -не потребує спеціальних установок для нарощування металу;	-необхідність застосування поршнів і кілець ремонтних розмірів; -витрата матеріалу гільзи при розточуванні; -низький ресурс розточеної гільзи (60% від нової)
Наплавка, напилення покриттів	-висока зносостійкість; -збільшення строку ресурсу;	-низька надійність через недостатню міцність з'єднання покриття з основним металом
Хромування (хромування верхньої частини гільз, встановлення хромованих вставок)	-висока зносостійкість (200...250% від нових гільз); -висока корозійна стійкість;	-низька продуктивність; -недостатня змочуваність і приробляємість; -необхідність спеціального гальванічного обладнання
Залізнення	-висока продуктивність (порівняно зі способами хромування) -низька собівартість (в 2-3 рази нижче ніж у хромування)	-низька корозійна стійкість; -поверхня погано піддається обробці; -низька зносостійкість (60% від нової); -підвищений знос поршневих кілець
Застосування вставок	-можливість багаторазового відновлення гільз	-висока трудомісткість і собівартість; -підвищений знос поршневих кілець; -низька зносостійкість відновлених гільз (87% від нової)
Термообжим	-висока продуктивність; -не потребує застосування додаткових матеріалів;	-необхідність термобробки (відпуску) для зняття внутрішніх напружень; -зміна розмірів внутрішнього діаметру гільзи після обробки через неповного зняття внутрішніх напружень під час відпуску; -низька зносостійкість відновлених гільз (80% від нової)

Технологія відновлення під ремонтний розмір полягає в розточенні гільзи по внутрішньому діаметру під збільшений ремонтний розмір. Для цієї технології для ремонту застосовуються гільзи, що мають знос внутрішнього діаметра не

більше 0,35 мм на діаметр і овальність зовнішніх посадкових поясів не більше 0,14 мм.

Відповідно до технічних умов на виготовлення, твердість робочої поверхні гільз повинна бути не нижче HRC 40. Проведені дослідження [23] показали, що твердість коливається в межах HRC 33...36, що призводить до зниження моторесурсу відновлених гільз.

Відновлення запресовкою зносостійких сталевих стрічок полягає в запресовці зносостійких термооброблених стрічок товщиною 0,2 ... 0,7 мм по внутрішньому діаметру гільзи.

Спосіб відновлення гільз циліндрів металізацією полягає в нанесенні на підготовлену поверхню гільзи зносостійкого металевого шару електродуговою металізацією. Цей спосіб дає високу зносостійкість гільзам циліндрів.

Сутність гальванічного способу відновлення полягає в осадженні на зношену поверхню гільзи зносостійких металів з металовмісних електролітів. Існують наступні способи гальванічними покриттями: залізнення, хромування всієї внутрішньої поверхні гільзи, пористе хромування, хромування верхньої частини гільзи, запресовування хромованих втулок у верхню частину гільзи.

Спосіб відновлення наплавленням внутрішньої поверхні гільз зносостійкими порошковими матеріалами полягає в наступному. Гільза закріплюється в патроні механізму з горизонтальною віссю обертання, на внутрішню поверхню насипається порошковий матеріал, всередину гільзи вводиться індуктор і здійснюється нагрівання при обертанні гільзи. При досягненні заданої температури відбувається сплавлення порошку і матеріалу гільзи. Цей спосіб відрізняється високою зносостійкістю і надійністю в роботі [23].

Сутність способу відновлення гільз нагріванням (термопластичне деформування) полягає у зменшенні внутрішнього діаметра гільзи при швидкому нагріванні зовні і одночасному охолодженні з внутрішньої боку.

В роботі [24] пропонуються способи обробки гільз циліндрів, як фосфатування, лудіння і сульфідкування. Основні переваги фосфатного покриття як припрацьовочного шару - значна його товщина (до 50 мкм), достатня міцність і

невелика твердість. Для кращого припрацювання тертьових деталей ЦПГ широко застосовують лудіння і сульфідкування. Сульфідкування проводять у рідкому, твердому або газовому середовищах, що містять сірку. Воно може бути низько-, середньо-і високо-температурним. Відповідно температурні режими 150 ... 450 °С, 540: .. 580° С і 850...950°С. Переваги сульфідкування ті, що плівка має меншу міцність, ніж основний метал, відносно легко руйнується при терті і легко відділяється від основи, запобігаючи схоплювання поверхонь тертя.

Лудіння гільз циліндрів проводять в розплаві олова. Характерно, що покриття оловом чавуну забезпечує коефіцієнт тертя в 14 раз менше, ніж без покриття.

Азотування значно підвищує твердість і зносостійкість поверхневого шару дзеркала циліндра, збільшує його опірність корозії в багатьох активних середовищах. Азотування проводиться в атмосфері аміаку при температурі 520 ... 540 °С. Ступінь дисоціації аміаку становить 35-45%.

Електролітичне хромування забезпечує збільшення терміну служби в 2 ... 3 рази, хорошу зчіплюваність покриття з основним металом (до 600 МПа), високу твердість [25]. Однак хромуванню характерна погане припрацювання дзеркала циліндра і погана його змочуваність мастилом.

Метод електролітичного травлення в розчині хромового ангідриду дозволяє скоротити час припрацювання 3,5 рази і зменшує знос кілець і гільз на 20%. Застосування цього методу ускладнюється необхідністю використання складного обладнання та малою продуктивністю.

У літературі [21,26], присвяченій різним способам зміцнення (лазерне, ультразвукове, високовольтний розряд, електроіскрове, іонне та ін.) описані зміни, що відбуваються у вихідному матеріалі. Як правило, дослідження фіксують наявність зміненого підшару – велика щільність дислокацій і зростання мікротвердості безпосередньо під шаром, на який впливали тим чи іншим чином.

Відомий спосіб поверхневого зміцнення [27] шляхом електронатирання після попереднього формування поверхні методом накатки і нанесення припрацювочного покриття сульфиду «молібдену на внутрішню поверхню гільзи

циліндрів. Але його недолік – низька продуктивність і використання дорогого устаткування.

При всій різноманітності способів відновлення гільз циліндрів, найбільшого поширення в ремонтну виробництві, по отримав спосіб розточення під ремонтний розмір. Один з недоліків відновлення таким чином - зниження (на 30 - 40%) їх ресурсу через зменшення твердості поверхні.

Застосування окремих розробок і процесів, незважаючи на їх ефективність, не дозволяє значно підвищити зносостійкість деталей і ресурс двигунів. Сучасні досягнення трибології відкривають нові можливості для підвищення ресурсу відремонтованих двигунів.

1.3 Фінішна антифрикційна безабразивна обробка

Для зниження тертя і зносу проводять фінішну антифрикційну безабразивну обробку (ФАБО). Сутність ФАБО полягає в нанесенні в процесі тертя на поверхню тонкого (0,5 ... 5,5 мкм) шару металу, що володіє високими антифрикційними властивостями [28]. Утворені антифрикційні покриття застосовуються в, триботехніці для збільшення несучої здатності і підвищення ресурсу вузлів тертя. Для покриттів застосовують м'які метали, що володіють низькою міцністю на зріз (Pb, Cd, Si, Sn, Al тощо.) у вигляді тонких плівок на більш твердій поверхні.

В роботі [29] описується спосіб отримання антифрикційного покриття і поверхневого зміцнення шляхом оміднення дзеркала гільзи циліндрів методом вибіркового переносу при розкатуванні поверхні гільзи в металоплакуючому середовищі. Пластичне мідне покриття зменшує не тільки коефіцієнт тертя, але і служить твердою змазкою в процесі тертя. Це дозволяє скоротити час припрацювання двигуна в 2 ... 2,5 рази і зменшує первинний знос відновлених гільз.

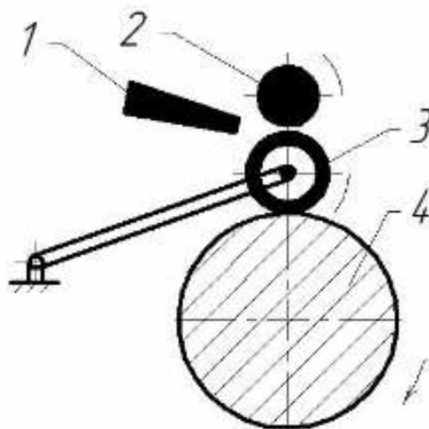
Антифрикційне - деформаційне хонінгування дозволяє отримати на поверхні тертя міцний антифрикційний шар дисульфиду молібдену, графіту, міді або олова.

При ФАБО зносостійкість дзеркала гільзи підвищується в 1,5 ... 2,0 рази, скорочується час припрацювання, усуваються задири, збільшується ресурс двигуна. Для фінішної антифрикційної безабразивної обробки може використовуватися прутковий матеріал (латунь) і спеціальне мастило, що забезпечує відновлення міді на поверхнях тертя. За 90...120 с можна отримати покриття 5...7 мкм, що цілком достатньо. Фінішна антифрикційна безабразивна обробка деталей може проводитися в металоплакуючих робочих середовищах, коли захисна антифрикційна металева плівка формується при механічній активації поверхонь тертя. При цьому необхідні питомі навантаження на два порядки менше, ніж при ФАБО прутковими матеріалами. ФАБО також можна проводити неметалічним інструментом з використанням розчинів поверхнево-активних речовин, що містять солі міді, олова та ін. [27].

У Німеччині, застосування технології ФАБО велося під керівництвом професора Польцера Г. Поширення отримала технологічна рідина FRT-1, що містить іони міді та гліцерин, яка використовується при фрикційному латунуванні деталей ДВЗ та поліграфічного устаткування [27].

Відомий метод ФАБО деталей в металоплакуючих середовищах дозволяє усунути ряд недоліків при обробці. В даному випадку покриття формується не тільки за рахунок перенесення матеріалу з натираючого штифта, пластини або ролика, а також в результаті осадження пластичних металів з робочого середовища в процесі фізико-хімічної взаємодії з оброблюваною поверхнею [30]. Механічна активація поверхні оброблюваної деталі може здійснюватися в цьому випадку і неметалічним інструментом (гумовим або повстяним) (рис. 1.5).

Необхідні навантаження при цьому менше, ніж при ФАБО прутковим інструментом, і складають 0,5 ... 1,0 МПа. В якості металакуючого середовища

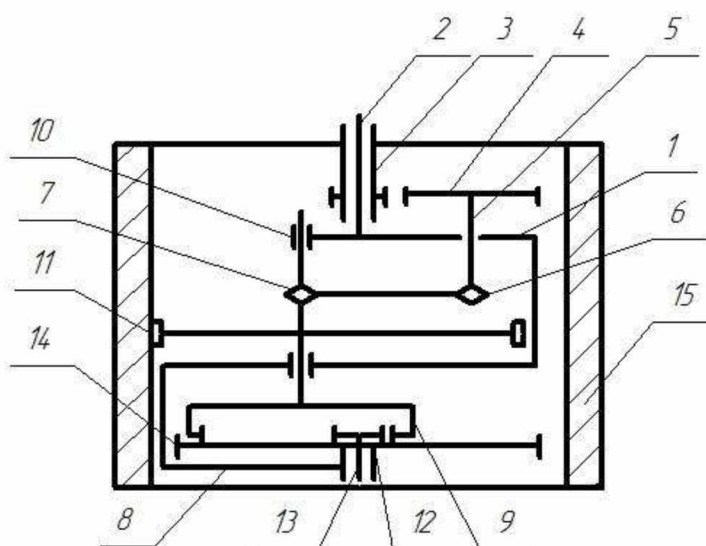


1 – сопло; 2 – гумове кільце; 3 – інструмент (ролик); 4 – деталь

Рисунок 1.5 – Схема проведення ФАБО неметалічним інструментом

використаний розчин [31], що складається з таких компонентів: хлорид міді 0,5...5,0%, глюкоза 0,5 ... 3,0 %, оксид кремнію 1 ... 4 %, гліцерин – решта.

На рис. 1.6 показано пристосування для нанесення покриттів на внутрішні поверхні деталей, яке може бути використане для ФАБО в металоплакуючих робочих середовищах. Недолік цього пристрою - складність конструкції, що стримує його використання на практиці [32].



1 – корпус; 2 – ведучий вал; 3 – сонячна шестерня; 4 – сателіт; 5, 10, 13 – вал; 6, 7 – зірочка; 8 – регулюючий корпус; 9 – коронна шестерня; 11, 14 – щітка; 12 – сателіт; 15 – деталь

Рисунок 1.6 – Кінематична схема пристрою для фрикційно-механічного нанесення покриттів в металоплакуючих середовищах

У МГАУ ім. В.П. Горячкіна Некрасовим С.С. та ін. розроблено новий технологічний процес ФАБО гільз циліндрів двигунів, що сполучає в собі ФАБО в металоплакуючих робочих середовищах і антифрикційне хонінгування [33]. Для нанесення антифрикційних мідних покриттів на хонінгувальних верстатах запропоновано використовувати наступний склад робочого розчину: хлорид міді, емульсол НГЛ- 205, гліцерин і воду. В якості брусків для хонголювки рекомендується використовувати антифрикційні бруски МА (М5-15), що дозволяють при обробці в мідьвмісному середовищі отримувати комбіноване покриття з міді та дисульфиду молібдену.

Процес дозволяє підвищити зносостійкість гільз циліндрів в 1,6 ... 2,3 рази, поршневих кілець в 1,35 ... 1,8 рази. Ресурс двигунів ЗМЗ 511.10 при обробці гільз за новою технологією ФАБО підвищується на 30% [34].

Автором [35] запропоновані наступні способи нанесення твердозмазуючих покриттів з дисульфиду молібдену і міді з урахуванням шляху і коефіцієнта тертя (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Способи нанесення твердозмазуючих покриттів

Умови нанесення покриття	Шлях тертя, S, км	Коефіцієнт тертя, f
Натирання робочої поверхні дисульфідом молібдену	2,4	0,234
Натирання робочої поверхні галієм, а потім дисульфідом молібдену	3,9	0,195
Отримання на роб. Поверхні шару міді хімічним шляхом, а потім натирання дисульфідом молібдену	4,3	0,188
Отримання на роб. Поверхні шару міді шляхом вибіркового переносу, а потім натирання дисульфідом молібдену	7,2	0,173
Отримання на роб. Поверхні шару міді шляхом вибіркового переносу, а потім натирання галієм і дисульфідом молібдену	8,4	0,170

Висновки. Мета і задачі дослідження

1. Аналіз літературних і патентних джерел показав, що ресурс відремонтованих двигунів визначається в основному зносостійкістю циліндропоршневої групи. Ресурс відремонтованих двигунів складає в сільськогосподарському виробництві 45 ... 50% від нових.

2. Існуючі сучасні методи підготовки поверхонь тертя деталей до експлуатації дозволяють підвищити їх ресурс.

3. Процес фінішної антифрикційної безабразивної обробки підвищує зносостійкість деталей в 1,5...2,5 разів, ефективну потужність двигуна на 5%, ресурс двигуна на 30%.

Мета роботи – підвищити ресурс гільз циліндрів триботехнічними методами, що включають нанесення антифрикційного покриття. Для виконання поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Дати оцінку сучасним способам підготовки поверхонь тертя до експлуатації.

2. Теоретично обґрунтувати застосування нанесення антифрикційного зносостійкого покриття.

3. Розробити методику проведення лабораторних і експлуатаційних випробувань.

4. Розробити технологічний процес антифрикційної обробки гільз циліндрів під ремонтний розмір.

5. Провести лабораторні та експлуатаційні дослідження деталей і двигунів з експериментальними гільзами.

6. Впровадити результати досліджень в ремонтне виробництво і дати економічну оцінку.

2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Структурна схема проведення досліджень. Вимоги до випробувань

В основу методики вивчення об'єктів досліджень покладено системний підхід, що полягає в комплексі теоретичних та експериментальних досліджень. При розгляді теоретичних питань двигун розглядали як складну трибомеханічну систему, що складається з підсистем, що взаємодіють один з одним. Комплексність підходу полягала в проведенні лабораторних і експлуатаційних випробувань. Для вирішення проблеми підготовки відремонтованих двигунів до експлуатації з підвищеним ресурсом шляхом вдосконалення процесу обробки деталей розглядали фізичні, хімічні, теплові та інші явища і процеси, що впливають на властивості поверхонь деталей, що труться.

В якості об'єктів досліджень прийняті відремонтовані карбюраторні двигуни ЗМЗ-511.10, які використовуються на автомобілях в сільськогосподарському виробництві. Роботу виконували в кілька етапів (рис. 2.1).

На першому етапі вивчали фактичний рівень довговічності відремонтованих двигунів, показали доцільність використання комплексу заходів щодо вдосконалення обробки деталей відремонтованих двигунів. В результаті цього були визначені завдання дослідження та намічено шляхи їх практичної реалізації.

На другому етапі на основі останніх досягнень трибології робили теоретичне обґрунтування методів розв'язання задач. Для цієї мети використовували методи трибологічних досліджень. При розрахунках і дослідженнях широко використовували програмування і моделювання процесів на ЕОМ. Теоретичні дослідження зумовлювали коло експериментальних робіт, розробку нових способів і технологій, що вирішують поставлене завдання.

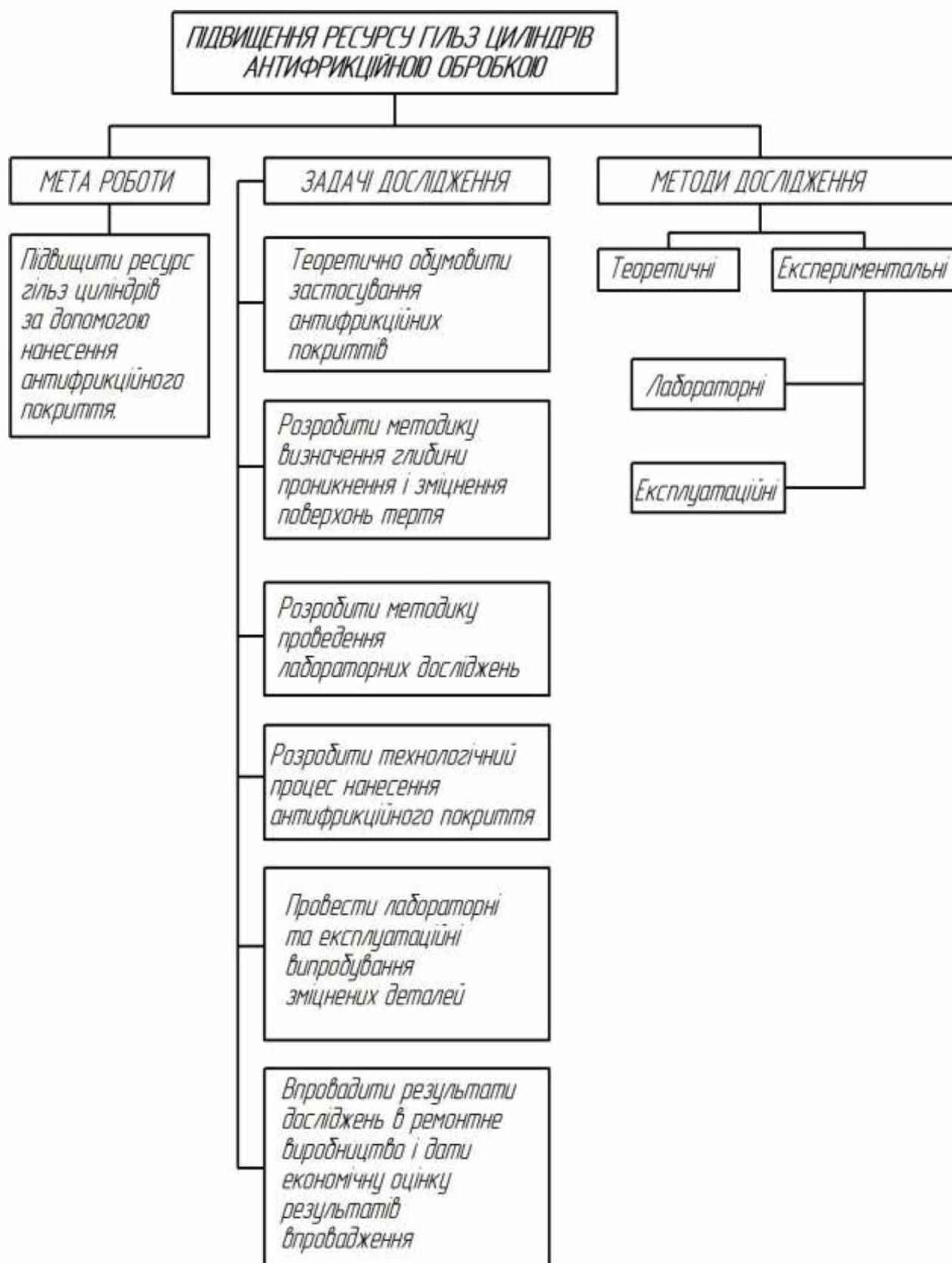


Рисунок 2.1 – Структурна схема досліджень

У комплекс експериментальних досліджень входили:

- лабораторні випробувань зразків деталей, що моделюють умови роботи поверхонь тертя деталей;
- дослідження фізико-механічних характеристик поверхонь тертя зразків та основних деталей;
- відпрацювання нової технології і випробування двигунів в ремонтних підприємствах;
- випробування відремонтованих двигунів.

На основі аналізу, узагальнення та систематизації експериментальних випробувань, а також результатів трибологічних випробувань розроблена класифікація вимог і умов, що висуваються до лабораторних і експлуатаційних випробувань.

При лабораторних випробуваннях зразків деталей двигунів необхідно: застосовувати відповідне нове моторне масло; зразки деталей повинні бути виготовлені з деталей, які піддаються дослідженням; шорсткість поверхонь тертя зразків забезпечувати відповідно до технічних умов на ремонт досліджуваної марки двигуна, точність виготовлення зразків забезпечувати вище точності модельованих деталей на один клас, навантаження і швидкість ковзання встановлювати рівні або кратні робочому двигуну; контролювати, температуру масла, знос зразків, шорсткість поверхонь тертя, зміну фізико-механічних властивостей поверхонь тертя зразків.

При експлуатаційних випробуваннях необхідно: проводити випробування двигуна в реальних умовах сільськогосподарського виробництва, визначати параметри, що характеризують технічний стан двигуна, визначати ресурс двигунів.

2.2 Оцінка якості обробки деталей при проведенні досліджень

Якість обробки деталей двигунів оцінюють різними параметрами. При цьому найчастіше судять по зміні механічних втрат на тертя і за початковим зносом, що недостатньо для об'єктивної оцінки якості обробки. Для отримання

об'єктивної оцінки обробки деталей відремонтованих двигунів необхідний комплекс параметрів, які всебічно характеризують одержуваний результат.

Оцінку якості обробки проводять на зразках деталей в лабораторних умовах і на реальних деталях. Це можуть бути методи безпосередні та непрямі. До безпосередніх методів слід віднести такі, які відображають стан поверхні деталі (мікрогеометрія та фізико-механічні властивості). До непрямих відносять методи, що відображають стан пар тертя, вузлів, двигунів (механічні втрати на тертя, питома витрата палива, величина компресії, тиск масла, ефективна потужність та ін.).

2.3 Установка для проведення трибологічних випробувань

Трибологічні випробування проводили на машині тертя МИ-1М (рис.2.2) . Машина тертя МИ-1М призначена для випробування матеріалів на зношування і визначення їх антифрикційних властивостей при терті ковзання і терті кочення. Випробування можна проводити при наявності мащення і без мащення.

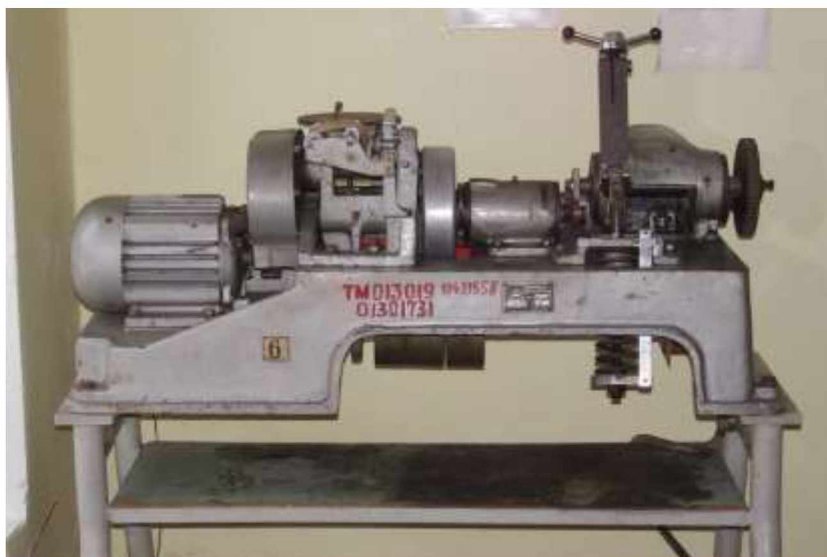


Рисунок 2.2 – Загальний вигляд машини тертя МИ-1М

Технічна характеристика машини тертя МИ-1М:

- діаметр випробуваних зразків 30 і 50 мм;
- ширина випробуваних зразків 10 мм;

- частота обертання зразків за хвилину:
- нижнього 425;
- верхнього 0; 385; 360; 340;
- похибка частоти обертання - 10%;
- найбільше навантаження на зразки 2500 Н;
- межі вимірювання моменту тертя 0...1500Н·м;
- число ступенів вимірювання моменту тертя 0-100;0-500;0-1000;0-1500 Н·м;
- маса машини 235кг.

На машині МІ-1М зразки випробовуються під навантаженням і працюють у парі наступним чином: при терті кочення один зразок обкочується по другому з певним проковзуванням; при терті ковзання ролик обертається, а колодка нерухома.

Засоби вимірювання зносу зразків у машині не передбачені. Визначення зносу зразків виконується вимірюванням зразків до і після випробуванням, зважуванням або методом вирізаних лунок.

Випробування зразків проводили при $n=300, 500, 1000, 1500 \text{ хв}^{-1}$, навантаження змінювали від 0 до 2500 Н.

Зразки пар тертя виготовляли із матеріалу двигуна ЗМЗ-511.10. Досліджувались з'єднання «гільза-поршневе кільце». Колодки виготовляли із матеріалу поршневих кілець. Ролики виготовляли із матеріалу гільз циліндрів двигуна ЗМЗ-511.10 (СЧ24): шорсткість робочої поверхні $Ra=0,32 \text{ мкм}$, пару зразків випробовували один раз, повторюваність дослідів трьохкратна.

Обробку поверхонь тертя гільз циліндрів проводили з використанням розточувального, хонінгувального і свердлильного верстатів. Розточку і хонінговку здійснювали відповідно до заводської технології ремонту гільз.

Провівши різну обробку гільз циліндрів, отримали кілька різних пар тертя деталей. Для порівняння використовували також гільзу, що була в експлуатації. Загальний вигляд експериментальних гільз показаний на рис.2.3.



1 – після розточування; 2 – після ППД; 3 – після ФАБО

Рисунок 2.3 – Загальний вигляд експериментальних гільз

2.4 Визначення шорсткості поверхонь тертя

Шорсткість є одним з найважливіших параметрів, за яким оцінюють якість обробки. Шорсткість поверхонь тертя, яка отримується в результаті роботи вузла тертя, не залежить від вихідної технологічної шорсткості деталей. Після припрацювання в процесі роботи встановлюється мікрорельєф, що залежить тільки від умов тертя, який називають рівноважним. Якщо вихідна шорсткість грубіше рівноважної, то на вершинах мікровиступів розвиваються великі напруги, що перевершують межу пружності, внаслідок чого відбувається швидке руйнування мікронерівностей, висота їх зменшується. У міру вигладжування поверхонь в плямах контакту пластичні деформації поступають місцем пружним. Інтенсивність зношування і тепловиділення від тертя зменшується, зменшується змочуваність поверхонь маслом. Водночас зниження висоти мікронерівностей веде до зменшення обсягу западин між ними, які служать резервуарами масла, а також до зниження випромінюючої здатності поверхні і погіршення тепловідведення від неї. Нарешті, може настати момент, коли вигладжування поверхонь призведе до появи в окремих плямах контакту мікрозадирів, що викличе деяке огрубіння поверхні, після чого відновляться нормальні умови тертя, а процес буде коливатися біля якогось рівноважного стану.

Візуальний огляд деталей після обробки також є важливою оцінкою її якості, незважаючи на деяку суб'єктивність оцінки. Візуальний огляд дозволяє встановити наявність задирів, подряпин і т.п. Вихідна шорсткість поверхонь тертя чинить великий вплив на значення подальшого зносу. Чим більше шорсткість, тим вище інтенсивність зношування.

Для визначення шорсткості використовували профілометр портативний моделі 253.

Прилад (рис. 2.4) складається з таких вузлів: датчик, привід, електронний блок, пристрій, що складається із стояка, призми із столиком. Датчик перетворює лінійні коливання голки, які відповідають нерівностям поверхні в електричні сигнали.



Рисунок 2.4 – Загальний вигляд обладнання для вимірювання шорсткості

Профілометр портативний моделі 253 є високочутливим вимірювальним приладом для вимірювання шорсткості металевих і неметалевих виробів (пластмаса, скло та ін.) без пошкодження їх поверхні.

Дія приладу ґрунтується на принципі обмацування алмазною голкою датчика досліджуваної поверхні і перетворення коливань голки в змінну напруги за допомогою механотронного перетворювача.

На передній панелі електронного блоку розміщено: прилад для показань, кнопка вимкнення мережі, сигнальне вічко, перемикач діапазонів вимірювань і

кнопка пуску. Стояк використовується для закріплення приводу з датчиком при вимірюванні високих деталей.

При вимірюванні шорсткості циліндричних деталей на плиту стояка встановлюється призма.

2.5 Визначення зносу зразків деталей

На початку експлуатації відбувається відносно швидка втрата маси деталей, зміна задирів у з'єднаннях. Інтенсивність зношування в міру припрацювання зменшується і стабілізується на деякому рівні. У добре підготовлених поверхнях деталей інтенсивність зношування залишається постійною і при зміні швидкісних і навантажувальних режимів. Знос визначають за втратою маси деталей або мікрометражем. Про знос деталей в двигуні можна судити також за змістом металів в мастилi після нормованого періоду роботи з'єднання.

Для визначення зносу перед випробуванням проводили зважування зразків на аналітичних вагах моделі ВЛА-200 г-М (АДВ-200М) (рис.2.5) з точністю вимірювань 1×10^{-3} г .



Рисунок 2.5 – Аналітичні ваги ВЛА-200г-М (АДВ-200М)

2.6 Визначення фізико-механічних властивостей поверхонь тертя

Фізико-механічні властивості визначаються по мікротвердості і твердості поверхонь тертя.

В процесі обробки деталей і наступного припрацювання з'єднань виникає зміна механічних властивостей поверхні матеріалу на глибину 3...80 мкм. Мікротвердість визначається по відбитку алмазної піраміди з квадратною основою при навантаженні 50 г за формулою

$$H_{\mu} = \frac{1854P}{C^2}, \quad (2.1)$$

де P – навантаження, г;

C – діагональ відбитку, мкм.

Для визначення мікротвердості готують мікрошліфи поверхонь тертя зразків. Для цього роблять похилий зріз під кутом 20° до поверхні тертя.

Випробування мікротвердості проводять на приладі ПМТ-3. Зразок розміщують на столику приладу. Спостерігаючи в окуляр зі шкалою виконують наведення на різкість за допомогою мікрометричних гвинтів. Обертанням барабана встановлюють перехрестя ниток (подвійний штрих).

Пересуваючи столик рукоятками зразок підводять до перехрестя ниток. На шток приладу, що навантажує ставлять вантаж. Рукояткою плавно повертають предметний столик в ліве положення до упору, а також плавно навантажують зразок протягом 2-3 секунд повертаючи на себе рукоятку, витримують 5 сек. Після витримування зразок плавно розвантажують, повертаючи рукоятку від себе. Потім плавно повертають столик в праве положення до упору (не допускаючи удару об упор) та окулярним мікрометром вимірюють діагональ отриманого відбитку з точністю $\pm 0,5$ поділки шкали. Для цього перехрестя шкали підводять впритул спочатку до правого кута відбитку, суміщаючи нитки зі сторонами відбитку і записують перше значення на барабані. Після цього перехрестя шкали підводять впритул до лівого кута відбитка та записують друге значення на барабані. Для визначення довжини діагоналі в поділках потрібно від першого значення відняти

друге. Ціна поділи лімба барабана дорівнює 0,3 мм. Тому для визначення довжини діагоналі (в мкм) отриману різницю множать на 0,3. Для зручності відліку барабану до початку вимірювання потрібно встановити на нульову поділку барабана.

Твердість поверхонь тертя деталей визначали за допомогою твердоміра портативного комбінованого ТД-32М (рис. 2.6.).



Рисунок 2.6 – Загальний вигляд твердоміра ТД-32М

Твердомір портативний комбінований ТД-32М призначений для вимірювання твердості в лабораторних і польових умовах по шкалам твердості: Брінелля (HB), Роквелла (HRC), Віккерса (HV) і Шора (HSD). В твердомірі передбачені інші шкали, що дозволяють визначити твердість чавуну, алюмінію і інших кольорових металів, визначити межу міцності на розтяг деталей із вуглецевих сталей перлітної структури шляхом автоматичного перерахування зі шкали твердості по Брінеллю. Твердомір оснащений мікропроцесором, який дозволяє визначити середнє значення із серії проведених вимірювань і переносити дані із пам'яті процесора в пам'ять персонального комп'ютера.

Принцип роботи комбінованого твердоміра, при вимірюванні ультразвуковим способом, оснований на визначенні змін частот вільних коливань індентора (акустичний резонатор з алмазною пірамідою Віккерса), що знаходиться під дією

постійного навантаження – метод ультразвукового контактного імпеданса. Суть методу в наступному: при каліброваному навантаженні алмазна піраміда, що закріплена на металічному коливальному стержні, втискується в матеріал виробу. Частота коливання стержня пропорційна площі відбитку на об'єкті контролю, тобто твердості.

При вимірюванні динамічним способом визначається відношення швидкостей індентора (ударний елемент з твердостлавим сферичним наконечником) до і після удару з поверхнею, що контролюється

Портативні твердоміри дозволяють визначити твердість без видимого відбитку на поверхні виробу (дзеркальні поверхні, шийки колінчастих валів і т.п.), на деталях складної конфігурації в різних просторових положеннях (зубці зубчастих коліс, шліци).

2.7 Визначення зносу гільз циліндрів і поршневих кілець

Для визначення зносу деталей при випробуваннях на стендах проводять мікрометраж і зважування головних деталей до обкатки і після випробувань. Визначення зносу поршневих кілець проводять за втратою маси під час випробувань. Для цього використовують аналітичні ваги ВЛА-200 г-М (АДВ-200М).

Знос гільз циліндрів визначають мікрометражем. Мікрометраж гільз циліндрів проводять за допомогою індикаторного нутроміра з точністю виміру 0,002 мм. Мікрометраж гільз циліндрів проводять в площинах та в перерізах, що показані на рис. 2.7. та рис. 2.8.

2.8 Оцінка точності вимірів

Можлива помилка в дослідах і показник їх точності визначається за наступною методикою:

1. Результати кожного виміру записуються в таблицю;
2. Знаходиться середнє арифметичне значення вимірюваних величин:

$$X_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad (2.2)$$

де X_i - значення величини, що вимірюється;

n - число вимірів;

3. Знаходяться похибки окремих вимірів

$$\delta_{xi} = X_{cp} - X_i; \quad (2.3)$$

4. Обраховуються квадрати похибок окремих вимірів $(\delta_{xi})^2$;
5. Визначається середня квадратична похибка результату серії вимірів:

$$\delta_{S_{Xcp}} = \frac{\sum_{i=1}^n (\delta_{xi})^2}{n \cdot (n-1)}; \quad (2.4)$$

6. Приймається значення надійності і визначається коефіцієнт Стюдента t_α заданої надійності α і числа проведених вимірів;

7. Знаходиться похибка результатів вимірів:

$$\delta_{xi} = t_\alpha(n) \cdot \delta_{S_{Xcp}}; \quad (2.5)$$

8. Кінцевий результат записується у вигляді:

$$X_i = X_{cp} \pm \delta_{xi}; \quad (2.6)$$

9. Оцінюється відносна похибка результату серії вимірів:

$$\varepsilon = \frac{\delta_{xi}}{X_{cp}} \cdot 100\%; \quad (2.7)$$

Отже, згідно даної методики будемо визначати похибку і точність отриманих даних під час проведення дослідів.

Висновки

Опрацювавши і проаналізувавши літературу, було розроблено послідовність проведення лабораторних і експлуатаційних випробувань, встановлено систему вимог до них.

Так при лабораторних випробуваннях потрібно створювати максимально наближені до реальної експлуатації умови: використання відповідного моторного мастила, матеріали повинні відповідати матеріалам досліджуваних деталей, шорсткість поверхонь зразків повинна забезпечуватися відповідно до технічних умов на ремонт досліджуваної марки двигуна.

При експлуатаційних випробуваннях необхідно проводити випробування двигуна в реальних умовах сільськогосподарського виробництва.

Для проведення досліджень було виокремлено найбільш суттєву групу показників, за якими можна охарактеризувати стан поверхні тертя, а саме шорсткість, твердість, мікротвердість і величина зносу.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ І ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Фактори, що впливають на триботехнічні характеристики деталей циліндропоршневої групи двигуна

Умови роботи вузла тертя визначають механізм зношування деталей. Основними факторами, що характеризують роботу ЦПГ двигуна є швидкість протікання фізико-хімічних процесів при терті і зношуванні, поєднання і властивостей тертьових матеріалів, величина прикладеного навантаження, швидкість взаємного переміщення деталей, що труться, зміна режимів роботи в часі, температурні умови та ін.

Швидкість ковзання тертьових деталей ЦПГ змінюється від 0 у ВМТ і НМТ до максимальних значень в середині гільзи 5 м/с. Для кожного поєднання матеріалів є критична швидкість, перевищення якої веде до руйнування захисних плівок мастила. Відбувається відставання швидкості регенерації захисних плівок від швидкості їх руйнування. Наявність на поверхні тертя твердої антифрикційної плівки міді забезпечує роботу вузла тертя з великими швидкостями без збільшення тертя і зносу.

Поверхні тертьових пар в процесі роботи зазнають певних зміни, в основі яких лежать пружно-пластичні деформації. Так як зміна деформацій багатьох матеріалів зазвичай починається з пружних, то зміна напрямку руху відбивається, перш все, на пружних деформаціях. Втомна міцність антифрикційних покриттів тісно пов'язана з пружно-пластичними деформаціями при терті.

Сучасна теорія зношування розглядає наступні стани контактуючих поверхонь:

- з пружними деформаціями;
- з пружно пластичними деформаціями;
- з пластичними деформаціями.

В якості розрахункової моделі при теоретичному дослідженні зношування з'єднання «гільза - кільце» прийнята методика Крагельського І.В. [36]. Ним [37] отримано розрахункове рівняння, що зв'язує інтенсивність зношування при пластичному контакті з механічними властивостями матеріалу, фрикційними характеристиками пари тертя і мікрогеометричними показниками поверхонь:

$$I_h = \sqrt{2}C \frac{P^{\frac{f+\beta t}{f+\beta}}}{HB} \cdot \Delta \frac{f+t}{2} \left(\frac{K_f^n}{e_0} \right)^t \cdot \eta^{\frac{f+t\beta}{f-\beta}}, \quad (3.1)$$

$$\text{де} \quad K_f^n = \sqrt{\frac{\sigma_T + 2fHB}{\sigma_T - 2fHB}}, \quad (3.2)$$

I_h – інтенсивність зношування;

P – тиск, МПа;

HB – твердість по Брінелю, Н/мм²;

t, e_0 – параметри кривої фрикційної втомлюваності (e_0 за величиною близьке до значення відносного видовження при розриві);

Δ - безрозмірний комплекс, який характеризує шорсткість поверхні;

f – коефіцієнт тертя;

η – коефіцієнт контурної площі контакту;

C, β – коефіцієнти.

При реверсивному русі сили тертя і відповідні їм деформації змінюють знак і в порівнянні з одностороннім вони більші. Пружні деформації в зоні контакту залежать від мастильного матеріалу: зі збільшенням в'язкості масла зменшується величина деформації при заданій силі тертя. Поверхнево-активні речовини (ПАР) призводять до полегшення деформації. Хемосорбовані ПАР утворюють тонкий пластифікований шар. При реверсивному русі в результаті знакозмінних деформацій відбувається зміна мікроструктури.

Реверсивність руху збільшує температуру в зоні тертя, що призводить до зменшення мікротвердості і глибини зміцнення по порівняно з одностороннім рухом.

Збільшення частоти реверсивного руху призводить до збільшення зносу деталей. Разом з тим реверсивний рух при використанні масел з поверхнево-активними речовинами сприяє швидкому адсорбційному зниженню міцності поверхневого шару деталі і, як наслідок, швидкому формуванню оптимального мікрорельєфу поверхонь тертя, що особливо важливо при припрацюванні деталей.

Питоме навантаження при терті має великий вплив на характер та інтенсивність протікання фізичних процесів, які відбуваються в поверхневих шарах металів. Величина питомого навантаження при терті визначає площу фактичного контакту тертьових поверхонь. Зростання питомого навантаження призводить до збільшення глибини шарів металів, що беруть участь в терті, що призводить до зміни інтенсивності зношування тертьових деталей. При досягненні критичних значень питомого навантаження виникають якісні зміни процесів на поверхнях тертя і перехід від одних видів зношування до інших.

Питоме навантаження при терті до моменту настання схоплювання в меншій мірі впливає на інтенсивність протікання процесів, які визначають знос деталей, що труться, ніж швидкість ковзання, так як цей вплив пов'язаний в основному зі зміною величини й інтенсивності пластичної деформації поверхневих шарів металу, а не зі зміною температури. Величина питомого навантаження може надати різкий вплив лише у разі досягнення критичних її значень, коли спостерігається перехід до зносу при схоплюванні.

При підвищенні температури відбувається значна зміна змащувальних властивостей моторного масла, що пов'язано, насамперед, з зміною сорбційних процесів, збільшенням швидкості дифузії і окисленням змазуючого середовища, розчиненням у ньому киснем.

Температура чинить значний вплив на формування граничних мастильних шарів, необхідних для зниження тертя.

Встановлено, що екстремальні умови при граничному терті виникають, коли температура в контакті перевищує деяку критичну величину для даного поєднання мастильного матеріалу і матеріалів пар, що труться. В роботі [38]

вказується, що мінімальний час існування температурного спалаху $t_{cn}^{\min}$ приблизно на два порядки вище, ніж тривалість перебування молекул в адсорбованому стані ($t_{окс} = 4,8...13 \cdot 10^{-3} c$), тобто тривалість впливу максимальних температур при фрикційному контакті на масляну плівку при граничному терті достатня для її десорбції (руйнування).

Ефективна глибина шару, на якій зосереджено 90% тепла дорівнює

$$h_{эф} = \sqrt{3a \cdot t_{cn}^{\min}}, \quad (3.3)$$

де a – температуропровідність матеріалу.

Вплив температурного спалаху враховується через мікрогеометрію поверхонь, теплофізичні властивості матеріалу. Вивчення фактичного стану граничних масляних плівок є доволі складним процесом. Невизначеність теплофізичних констант плівки масла також ускладнює вивчення умов роботи пари тертя.

3.2 Комплексний критерій роботи деталей циліндропоршневої групи

Аналіз великої кількості робіт показує, що облік всього різноманіття факторів, що впливають на умови роботи при граничному терті деталей ЦПГ є досить важким завданням. Крім того, деякі чинники, зокрема властивості контактуючих поверхонь і мастильного шару, при зміні температури і тиску змінюються.

Комплексний критерій умов роботи ЦПГ ($K_{екс}$) можна визначити на основі теорії подібності та аналізу розмірностей. У узагальнену формулу визначення K входять критерії, які враховують різні фактори.

Критерій Π_{σ} характеризує напружений стан контакту, враховує абразивний і адгезійний механізм зношування

$$\Pi_{\sigma} = \frac{P}{HV}, \quad (3.4)$$

де P – навантаження;

HV – твердість по Віккерсу.

Втомлювану міцність деталей, що труться можна охарактеризувати критерієм:

$$\Pi_{\delta} = K_l \frac{P}{\sigma_{\delta}}, \quad (3.5)$$

де K_l – коефіцієнт, який залежить від коеф. тертя і напруженого стану в контакті;

σ_{δ} – межа витривалості матеріалу.

Вплив шорсткості оцінюють критерієм:

$$\Pi_R = \frac{R_{\max}}{r \cdot b \cdot 1/v}, \quad (3.6)$$

де $R_{\max}$ – максимальна висота мікронерівностей;

r – радіус кривизни поверхні;

b, v – параметри шорсткості.

Вплив фізико-хімічного фактора оцінюють критерієм:

$$\Pi_{\alpha} = \frac{R \cdot T}{Q}, \quad (3.7)$$

Хімічну модифікацію поверхні тертя від дії активних компонентів мастил оцінюють критерієм:

$$\Pi_{\chi} = \frac{R \cdot T}{E_x}, \quad (3.8)$$

де R – газова стала;

T – абсолютна температура;

Q – теплота адсорбції;

E_x – енергія розпаду зв'язків хімічно модифікованих шарів.

Час фізико-хімічних перетворень оцінюється критерієм:

$$\Pi_K = \frac{P}{HV} \cdot \frac{V}{d_{cp}} \cdot t_0, \quad (3.9)$$

де t_0 – час дії головних факторів процесу;

d_{cp} – середній діаметр плями контакту.

Таким чином, K в загальному вигляді є функцією, яка об'єднує багато критеріїв, що враховують ряд факторів і процесів тертя та зношування:

$$K = f\{P_\sigma, P_\delta, P_R, P_\alpha, P_K\}. \quad (3.10)$$

Залежність для визначення критерія має вигляд:

$$K = \frac{1.64 f \sqrt[4]{p(V_1 - V_2)}}{\sqrt{\lambda_1 \gamma_1 C_1 R_1} + \sqrt{\lambda_2 \gamma_2 C_2 R_2}} \cdot \sqrt[4]{\frac{R_{np}}{E_{np}}}, \quad (3.11)$$

де f – коефіцієнт тертя ковзання;

P – номінальний тиск в контактї, МПа;

V_1, V_2 – швидкості відносного переміщення поверхонь, м/с;

λ_1, λ_2 – коефіцієнти теплопровідності матеріалів, Н/град·с;

γ_1, γ_2 – коефіцієнти;

C_1, C_2 – теплоємність матеріалів, м/град;

R_1, R_2 – радіус кривизни, м;

$R_{np} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ - приведений радіус кривизни, м.

$E_{np} = \left(\frac{E_1}{1 - \mu_1} \right) + \left(\frac{E_2}{1 - \mu_2} \right)$ - приведений модуль пружності, Н/м²,

де μ_1, μ_2 – коефіцієнти Пуассона.

Значення критерія для пари тертя «гільза – кільце» знаходиться в межах $5 \dots 6 \cdot 10^{-3}$. Для різноманітних матеріалів і масел це значення буде змінюватися.

3.3 Теоретичне обґрунтування нанесення антифрикційних покриттів

В процесі зміцнення ФАБО застосовується з метою зниження інтенсивності зношування, підвищення задиростійкості поверхонь тертя і інтенсифікації процесів утворення захисних плівок в період припрацювання після виготовлення або ремонту виробу. Вперше даний метод нанесення покриттів (фрикційне латунювання) був запропонований Гаркуновим Д.Н.

Основні способи ФАБО рядом авторів умовно діляться на дві групи:

1. Фрикційно-механічне нанесення металевих покриттів інструментом з мідьвмісного сплаву (фрикційне латунювання, бронзування або міднення); фрикційно-хімічне нанесення покриттів в металоплакуючих середовищах, що містять у своєму складі різні поверхнево-активні речовини і солі металів, здатні до відновлення на оброблюваних поверхнях при впливі роликів, дисків, брусків, щіток, тампонів і т.д. з неметалічного інструменту; фрикційне нанесення покриттів з пластичних сплавів в металоплакуючих середовищах.

2. Нанесення шаруватих твердозмазуючих покриттів у вигляді графіту, дисульфиду молібдену та інших сполук контактним намазуванням різними методами.

До різновидів ФАБО відносяться:

- хіміко-механічне нанесення покриттів;
- нанесення покриттів тертям із застосуванням щіток;
- натирання поверхні латунню;
- електростатичне нанесення покриттів тертям;
- механічне нанесення латунних покриттів тертям (механічне латунювання) в середовищі гліцерину;
- хіміко-механічне латунювання із застосуванням мідьвмісного допоміжного матеріалу та ряд інших.

В двох останніх методах зміцнення поверхневих шарів об'єднано з нанесенням покриттів тертям.

Використання ФАБО має такі переваги:

- невеликі витрати витратних матеріалів та електроенергії;
- стабільно високу якість покриття, у тому числі і при деяких відхиленнях умов нанесення покриттів від оптимальних;
- автоматизація процесу;
- екологічна безпека;
- висока економічна ефективність та ряд інших.

Для підвищення задиростійкості і зносостійкості з'єднання «поршневе кільце - гільза циліндра» високофорсованих дизелів застосовують різні захисні і припрацьовочні покриття. При нанесенні пластичного металевого покриття на деталі, які труться, міцність покриття на зріз виявляється менше ніж в основному металі. За рахунок цього вдається знизити коефіцієнт тертя і інтенсивність зношування поверхні з покриттям через відсутність (або зменшення) захоплювання і глибинного руйнування металу, що особливо істотно при високих навантаженнях і швидкостях ковзання.

Оскільки для будь-якого матеріалу міцність на зріз становить половину межі текучості, то для забезпечення зовнішнього тертя на поверхні твердого тіла повинна знаходитися плівка менш міцного матеріалу. Встановлено, що процес утворення окисної плівки, яка триває долі секунди, при її товщині 10 мкм знижує коефіцієнт тертя до певної межі. Але збільшення товщини плівки понад 10 мкм підвищує коефіцієнт тертя, що пояснюється переходом процесу фізико хімічної взаємодії поверхонь в саму плівку.

Молекулярно-механічна теорія тертя визначає коефіцієнт тертя (f) залежністю

$$f = \frac{\tau_0}{P} + \beta + K \sqrt{\frac{h}{R}}, \quad (3.12)$$

де τ_0 – міцність адгезійного зв'язку на зріз, Па;

P – фактичний тиск, МПа;

β – коефіцієнт зміцнення адгезійного зв'язку;

K – коефіцієнт пропорційності, який залежить від геометрії контактуючих поверхонь;

Для шорстких поверхонь, що мають сферичні нерівності:

- при пластичному контакті $K=0,4$;

- при пружному контакті $K=0,4\alpha_H$, де $\alpha_H = 0,001 \dots 0,0001$ – коефіцієнт гістерезисних втрат.

3.4 Стан поверхні і вплив змазуючих плівок

Досягнуте останнім часом підвищення потужності і надійності двигунів внутрішнього згоряння значною мірою зумовлено істотним підвищенням якості конструкційних і експлуатаційних матеріалів.

Якість поверхні деталей характеризується мікро- і макрогеометрією поверхні, хвилястістю, структурою, зміцненням і залишковою напругою. Поверхневий шар неоднорідний за будовою, в ньому можна виділити наступні основні зони (рис. 3.1) [7, 24 та ін.].

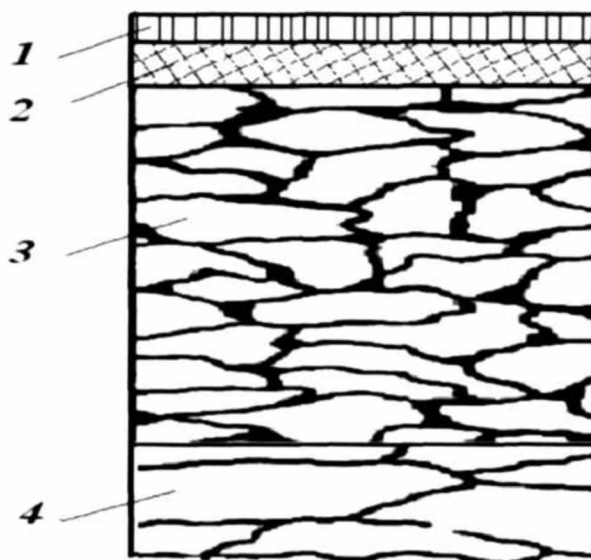


Рисунок 3.1 – Схема поверхневого шару деталі

1. Зона адсорбованих з навколишнього середовища молекул і атомів органічних і неорганічних речовин, товщина шару 0,001...1,0 мкм; 2. Зона продуктів хімічної взаємодії металу з навколишнім середовищем (зазвичай оксидів), товщина шару 1 ... 10 мкм; 3. Гранична зона товщиною кілька міжатомних відстаней, що має іншу, ніж в об'ємі, кристалічну й електронну структуру; 4. Зона зі зміненими порівняно з основним металом структурою, фазовим і хімічним складом, який виникає при виготовленні деталі і змінюється в процесі експлуатації.

Товщина і стан зазначених верств поверхневого шару можуть змінюватися залежно від складу матеріалу, методу обробки, умов експлуатації. Оцінка цього стану здійснюється методами хімічного, фізичного і механічного аналізу.

Різноманіття параметрів стану поверхневого шару і методів їх оцінки не дозволяє виділити єдиний параметр, що визначає якість поверхневого шару. Тому в науковій та інженерній практиці стан поверхневого шару оцінюється набором показників: - мікрогеометрія; фізико-механічні властивості; хімічний склад та ін.

Фізичний стан поверхневого шару при зміцненні найбільш часто характеризують параметрами структури, числом і концентрацією фаз, їх розподілом по поверхневому шару та ін.

Хімічний склад характеризується концентрацією елементів в об'ємі фаз, сплаву та ін. Вивчення хімічного складу дозволяє оцінити адрорбцію речовин з навколишнього середовища, дифузійні процеси, окислення та ін.

Механічний стан визначається опором деформуванню, межею пружності, межею текучості, твердістю та ін. Деформаційних зміцненням називають процес збільшення опору деформації і зменшення пластичності.

Ступінь зміцнення поверхні можна визначити за формулою

$$E = \frac{(HV_2 - HV_1)}{HV_1}, \quad (3.13)$$

де HV_1 – твердість (мікротвердість) поверхні до обробки;

HV_2 – твердість (мікротвердість) після обробки;

Глибина зміцненого шару визначається по епюрі розподілення твердості (рис.3.2).

Таким чином змазуючі властивості моторних масел в реальних умовах проявляються у складній сукупності, яка визначається умовами роботи вузла тертя.

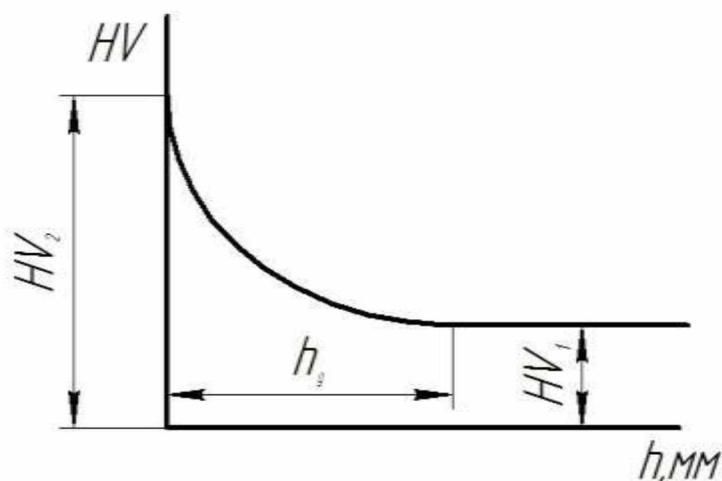


Рисунок 3.2 – Теоретична залежність зміни твердості в поверхневому шарі після зміцнення від глибини відстані від поверхні

3.5 Теоретичний розрахунок інтенсивності зношування деталей циліндропоршневої групи

При оцінці зносу основною розрахунковою величиною є питома інтенсивність лінійного зношування i_h

$$i_h = \frac{V_\partial}{n d_{cp} A_r}, \quad (3.14)$$

де V_∂ – сумарний деформований об'єм поверхні при фрикційному контакті;

n – число циклів навантаження;

d_{cp} – середній діаметр елементарної зони фактичного контакту, виміряний в напрямку ковзання;

A_r – фактична площа контакту.

Співвідношення між інтенсивністю лінійного зношування і питомої інтенсивності зношування за умови стаціонарності ($J = const$ і $i_h = const$):

$$J = \eta \cdot i_h, \quad (3.15)$$

де η – коефіцієнт, що враховує фактичну A_r і номінальну A_a площу контакту;

$$\eta = A_r / A_a.$$

Інтенсивність лінійного зношування з врахуванням виразу (3.15) виражається формулою [39]:

$$J = K \frac{b\varepsilon^{v+1} R_{\max}}{(v+1)nd_{cp}}, \quad (3.16)$$

де K – коефіцієнт, що враховує пружно-пластичні деформації. $K=0,5$ – при пружному контакті, $K=1$ – при пластичному контакті;

b, v – параметри степеневої апроксимації початкової ділянки опорної кривої;

$c = h/R_{\max}$ – відносна величина проникнення контактуючих поверхонь;

h – величина проникнення;

$R_{\max}$ – максимальна висота шорсткості;

η_c – коефіцієнт, що враховує геометричні характеристики поверхні, $\eta_c = A_c$ – контурна площа контакту.

Відносне проникнення ε і середній діаметр елементарної зони фактичного контакту d_{cp} визначають за наступними формулами [39]:

при пружному контакті

$$\varepsilon_{np} = \left(\frac{q_a \theta}{\eta_c b K_v} \sqrt{\frac{R}{R_{\max}}} \right)^{\frac{2}{2v+1}}, \quad (3.17)$$

$$d_{cp}^{np} = \sqrt[2]{\frac{RR_{\max} \varepsilon_y}{v}}, \quad (3.18)$$

де q_a – номінальний тиск;

θ – стала пружності стираемого матеріалу; $\theta = \frac{1-\mu^2}{E}$;

E – модуль пружності;

μ – коефіцієнт Пуассона;

R – середній радіус кривизни вершин мікронерівностей;

K_v – коефіцієнт, що враховує ефект шорсткості;

$$K_v = \frac{\Gamma(v+1)}{2\sqrt{\pi}\Gamma\left(v + \frac{3}{2}\right)}, \quad (3.19)$$

де $\Gamma(\dots)$ – гамма-функція [40].

при пластичному контакті

$$\varepsilon_n = \left(\frac{q_a}{HBb\eta_c} \right)^{\frac{1}{v}}, \quad (3.20)$$

$$d_{cp}^n = \sqrt[2]{\frac{2RR_{\max}\varepsilon_n}{v}}, \quad (3.21)$$

де HB – твердість стираємого матеріалу по Брінелю.

Число циклів до руйнування визначається за формулами:

$$n_{np} = \left(\frac{\sigma_0}{\sigma_\varepsilon} \right)^{t_{np}}; \quad n_n = \left(\frac{e_0}{e_\varepsilon} \right)^{t_n}; \quad (3.22)$$

де $\sigma_0, t_{np}, t_n, e_0$ - константи фрикційної втомлюваності зношеного матеріалу;

$\sigma_\varepsilon, e_\varepsilon$ - амплітудні значення відповідно діючого напруження і деформації на контакті.

Напруження σ_ε при пружному контакті

$$\sigma_\varepsilon = \frac{K_f^{np} d_{cp}^{np} \sqrt{v}}{2R\theta}, \quad (3.23)$$

де K_f^{np} - коефіцієнт, що враховує пружні деформації.

$$K_f^{np} = \begin{cases} \frac{2}{\pi} \sqrt{4f^2(1-\mu+\mu^2)(1-2\mu)^2} \\ \frac{4}{\pi} f(1+\mu) \end{cases}, \quad (3.24)$$

де f – коефіцієнт тертя.

Деформація e_ε , що виникає при пластичному контакті, визначається за формулою

$$e_\varepsilon = \frac{K_f^{\Pi} d_{cp}^{\Pi} \sqrt{v}}{2\sqrt{2}R}, \quad (3.25)$$

де K_f^{Π} - коефіцієнт, що враховує пластичні деформації.

$$K_f^{\Pi} = \sqrt{2 \frac{\sigma_T + 2fHB}{\sigma_T - 2fHB}}, \quad (3.26)$$

$$f < \frac{\sigma_T}{2HB} \leq 0,4 \quad (3.27)$$

Число циклів до руйнування з врахуванням формул (3.24...3.27) для відповідного виду контактної взаємодії визначають за формулами:

$$\text{пружний контакт } n_v = \left(\frac{2R\theta\sigma_0}{K_f^{np} d_{cp}^{np} \sqrt{v}} \right)^{t_{np}} K_{tv}; \quad (3.28)$$

$$\text{пластичний контакт } n_n = \left(\frac{2R\theta\sigma_0}{K_f^{\Pi} d_{cp}^{\Pi} \sqrt{v}} \right)^{t_n} K_{tv}; \quad (3.29)$$

де K_{tv} - коефіцієнт, що враховує ефект підсумовування втомних пошкоджень при нестационарному навантаженні площадки фактичного контакту, що виникає внаслідок випадкового характеру мікрогеометрії контактуючих тіл;
 t - константа фрикційної втоми матеріалу, що зношується.

$$K_{tv} = \frac{\Gamma\left(v + \frac{t_{np}}{2}\right)}{\Gamma(v)\Gamma\left(1 + \frac{t_{np}}{2}\right)}. \quad (3.30)$$

З урахуванням вищенаведених формул загальна аналітична залежність для розрахунку інтенсивності зношування для відповідного виду контактної взаємодії визначається:

$$J_{np} = C \left(\frac{q_a \theta}{K_v} \right)^{1+\beta t_{np}} \left(\frac{K_f^{np}}{\sigma_0 \theta} \right)^{t_{np}} \left(\frac{R_{\max}}{R} \right)^{\frac{t_{np}(1+\beta)}{2}} (\eta_c b)^{-\beta t_{np}}, \quad (3.31)$$

$$J_{\Pi} = C \sqrt{2} \left(\frac{q_a \theta}{HV} \right)^{\frac{1+\beta t_{\Pi}}{1-\beta}} \left(\frac{K_f^{\Pi}}{e_0} \right)^{t_{\Pi}} \left(\frac{R_{\max}}{R} \right)^{\frac{1+t_{\Pi}}{2}} (\eta_c b)^{\frac{(1+t_{\Pi})\beta}{1-\beta}}, \quad (3.32)$$

де C – загальний поправочний коефіцієнт, що враховує параметри шорсткості і матеріалу;

β – коефіцієнт, що враховує параметр шорсткості.

$$C = \frac{\sqrt{v}\Gamma(v)\Gamma\left(1+\frac{t}{2}\right)}{4(v+1)\Gamma\left(v+\frac{t}{2}\right)}, \quad \beta = \frac{1}{2v+1}. \quad (3.33)$$

Дані для розрахунку приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані для розрахунку інтенсивності зношування гільз циліндрів

Назва параметру		Значення параметрів
Діаметр гільзи, D , мм		92
Час роботи ЦПГ, τ , год		2000
Номінальний тиск, q_a , МПа		1,0
Відносна площа контакту, η_c		1,0
Довжина гільзи, l_Γ , мм		155
Максимальна шорсткість, R_{max} , мкм		1,1
Радіус кривизни шорсткості, R		150
Параметри шорсткості	b	2,0
	v	1,5
Модуль пружності, E , МПа		$1,15 \cdot 10^5$
Коефіцієнт Пуассона, μ		0,25
Коефіцієнт тертя, f		0,05
Стала пружності, θ , МПа ⁻¹		$5 \cdot 10^{-3}$
Стала фрикційної втомлюваності матеріалу, МПа	σ_θ	180
	t_{np}	4,5

Відносне зближення при пружному контакті визначаємо за формулою (3.17) з урахуванням коефіцієнта K_v , що враховує ефект параметрів шорсткості (формула 3.18).

$$K_v = \frac{\Gamma(v+1)}{2\sqrt{\pi}\Gamma\left(v + \frac{3}{2}\right)} = \frac{\Gamma(1,5+1)}{2\sqrt{3,14}\Gamma\left(1,5 + \frac{3}{2}\right)} = 0,19$$

$$\theta = \frac{1-\mu^2}{E} = \frac{1-0,5^2}{150} = 0,005$$

$$\varepsilon_{np} = \left(\frac{q_a \theta}{\eta_c b K_v} \sqrt{\frac{R}{R_{\max}}}\right)^{\frac{2}{2v+1}} = \left(\frac{1,0 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,19} \sqrt{\frac{150}{1,1}}\right)^{\frac{2}{2 \cdot 1,5+1}} = 0,39.$$

Середній діаметр елементарної зони фактичного контакту d_{cp}^{np} визначаємо за формулою (2.18)

$$d_{cp}^{np} = \sqrt[2]{\frac{RR_{\max}\varepsilon_y}{v}} = \sqrt[2]{\frac{150 \cdot 1,1 \cdot 0,39}{1,5}} = 13,1$$

Розрахунок числа циклів для пластичного контакту до руйнування проводимо за формулою (2.29), попередньо визначивши K_f^{Π} (за формулою 2.26) і K_{tv} (за формулою 2.30).

$$K_f^{\Pi} = \frac{4}{\pi} f(1+\mu) = \frac{4}{3,14} \cdot 0,5(1+0,5) = 0,955;$$

$$K_{tv} = \frac{\Gamma\left(v + \frac{t_n}{2}\right)}{\Gamma(v)\Gamma\left(1 + \frac{t_n}{2}\right)} = \frac{\Gamma\left(1,5 + \frac{t_n}{2}\right)}{\Gamma(v)\Gamma\left(1 + \frac{t_n}{2}\right)} = 1,957;$$

$$n_n = \left(\frac{2R\theta\sigma_0}{K_f^{\Pi} d_{cp}^{\Pi} \sqrt{v}}\right)^{t_n} K_{tv} = \left(\frac{2 \cdot 150 \cdot 0,005 \cdot 180}{0,955 \cdot 13,1 \cdot \sqrt{1,5}}\right)^{4,5} \cdot 1,957 = 4 \cdot 10^5.$$

Інтенсивність лінійного зношування J_{Π} визначаємо за формулою (2.32), попередньо визначивши коефіцієнти C і β за формулою (2.33)

$$C = \frac{\sqrt{v}\Gamma(v)\Gamma\left(1 + \frac{t}{2}\right)}{4(v+1)\Gamma\left(v + \frac{t}{2}\right)} = \frac{\sqrt{1,5}\Gamma(1,5)\Gamma\left(1 + \frac{4,5}{2}\right)}{4(1,5+1)\Gamma\left(1,5 + \frac{4,5}{2}\right)} = 0,0625;$$

$$\beta = \frac{1}{2\nu + 1} = \frac{1}{2 \cdot 1,5 + 1} = 0,25;$$

$$J_{np} = C \left(\frac{q_a \theta}{K_v} \right)^{1+\beta t_{np}} \left(\frac{K_f^{np}}{\sigma_0 \theta} \right)^{t_{np}} \left(\frac{R_{\max}}{R} \right)^{\frac{t_{np}(1+\beta)}{2}} (\eta_c b)^{-\beta t_{np}} =$$

$$= 0,0625 \left(\frac{1,0 \cdot 0,005}{0,19} \right)^{1+0,25 \cdot 4,5} \cdot \left(\frac{0,955}{180 \cdot 0,005} \right)^{4,5} \times$$

$$\times \left(\frac{1,1}{150} \right)^{\frac{4,5(1+0,25)}{2}} \cdot (1 \cdot 2,0)^{-0,25 \cdot 4,5} = 7,65 \cdot 10^{-11}$$

Таким чином, виходячи з розрахунків інтенсивність лінійного зношування J_{II} становить $7,65 \cdot 10^{-11}$.

3.6. Вплив метода обробки на якість поверхонь тертя зразків

Формування експлуатаційної шорсткості тертьових поверхонь деталей двигунів відбувається під впливом комплексу механічних, фізико-хімічних, електрохімічних та інших процесів, протікають в контакті. Незалежно від вихідної встановлюється оптимальна для даних умов шорсткість поверхні. різні методи обробки поверхонь сприяють прискоренню формування цієї шорсткості.

Шорсткість поверхонь гільз циліндрів наведена в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Шорсткість поверхні тертя гільз циліндрів

Вид обробки	Шорсткість Ra, мкм
1. Хонінгування	0,32...0,33
2. Розточування	0,63...0,65
3.ФАБО	0,23...0,25
4.Після експлуатації	0,016...0,018

За результатами вимірювань бачимо, що шорсткість поверхонь тертя після хонінгування дорівнює 0,33 мкм, що відповідає технологічним вимогам, на ремонт

гільз циліндрів. Після розточування шорсткість досягає 0,65 мкм. Експерименти показали, що нанесення антифрикційного покриття забезпечує шорсткість 0,25 мкм.

Випробування пар тертя протягом 60 хв призводять до зміни шорсткості. Поверхня тертя після ФАБО ближче всіх до поверхні гільз після експлуатації.

Найбільша інтенсивність зміни шорсткості спостерігається у зразків після антифрикційної обробки.

Порівняно з випробуваннями гільз після хонінгування час стабілізації шорсткості проходить в 1,5 рази швидше. Поршневі кільця припрацьовуються за час випробувань до шорсткості 0,20 мкм в усіх випадках, тільки з різною інтенсивністю. Це свідчить про формування рівноважної шорсткості з часом у пар тертя не залежить від виду обробки, за умови однакових режимів випробувань і змащуючих матеріалів. Відрізняється лише швидкість (інтенсивність) зміни шорсткості.

Результати вимірювань шорсткості гільз і поршневих кілець наведені у табл.1 Додаток А.

3.7. Випробування на знос деталей після хонінгування та ФАБО із застосуванням технологічних рідин

Для зміцнення поверхонь тертя чавунних гільз циліндрів використовують технологічні рідини, що забезпечують формування антифрикційного покриття. Захисна антифрикційна плівка, що утворюється в процесі обробки поверхні тертя сприяє скороченню часу припрацювання гільз циліндрів і зниження їх припрацьовочного і подальшого зносу. Як вже зазначалося істотно знижується шорсткість поверхонь. В якості технологічних рідин при дослідженнях були обрані кілька сучасних розчинів для фінішної антифрикційної безабразивної обробки. Використання спеціальних технологічних рідин дозволяє поєднати кілька процесів. По-перше поверхнево – активні речовини, що входять в якості основи цих рідин

знижують тертя. По-друге активні компоненти технологічної рідини формують антифрикційні протизносні покриття.

Дослідження, проведені в роботі [19] показали ефективність антифрикційного ШАФ складу. ШАФ склад являє собою ультрадисперсний порошок мінералів в основному серпентину. При терті з використанням цього складу утворюється металокерамічне покриття, що знижує знос на 40 %, шорсткість на 60% в період припрацювання деталей.

При проведенні досліджень були використані зразки гільз циліндрів. Поверхня тертя типових зразків була оброблена хонінгувальними брусками АСМ 20/14 МС1. 100% до шорсткості $Ra = 0,32 \text{ мкм}$.

В якості контрзразків використовували ролики з матеріалу поршневих кілець з шорсткістю $Ra = 2,4 \text{ мкм}$, оброблені шліфуванням.

Експериментальні зразки після розточування були оброблені із застосуванням наступних розчинів:

1. ШАФ розчин 100% (розчин 1);
2. Хлорид міді – 5%; емульсол НГЛ-205 - 5%; гліцерин - 45%; дизельне паливо решта (розчин 2);
3. Гліцерат міді – 50%; рицинолева кислота – 5%; дизельне пальне – решта (розчин 3).

Таким чином, були підготовлені чотири серії зразків для випробувань на машині тертя МІ-1М. Кожен дослід проводили трьома парами зразків. Поверхнєве пластичне деформування гільз циліндрів проводили на хонінгувальному верстаті ЗГ833, в шпинделі якого встановлювали розкатку, а гільзу закріплювали в пристосуванні. Режими обробки: частота обертання $n = 500 \text{ хв}^{-1}$; величина подачі $S = 0,01 \text{ мм / об}$; натяг $\Delta = 0,1 \text{ мм}$. Технологічну рідину в зону деформуючих елементів (роликів) подавали за допомогою маслянки.

Час випробувань 60 хвилин з частотою обертання 500 хв^{-1} і навантаженням 400 Н. Знос зразків визначали по зміні маси зразків за час випробувань. Масу роликів визначали на аналітичних вагах моделі ВЛА-200 г-М (АДВ-200М) з точністю вимірювань $1 \times 10^{-3} \text{ г}$.

Результати випробувань на знос наведені на рис. 3.3. Аналіз результатів випробувань зразків на маслі М-8-В показує, що найбільший сумарний знос спостерігається в парі тертя з колодками після хонінгування. Пари тертя після застосування розчинів для отримання антифрикційних покриттів мають менший знос в порівнянні з хонінгувальними колодками на 16 ... 28%.

Із зразків кращий результат показує обробка розчином 3. Це можна пояснити наявністю у розчині поверхово-активних речовин, які сприяють пластифікації поверхні тертя і формуванню більш сприятливої текстури орієнтованих кристалів, зміцненій поверхні тертя деталей, формуванням композитної поверхні тертя, яка містить атоми міді в зміцненій структурі поверхневого шару металів.

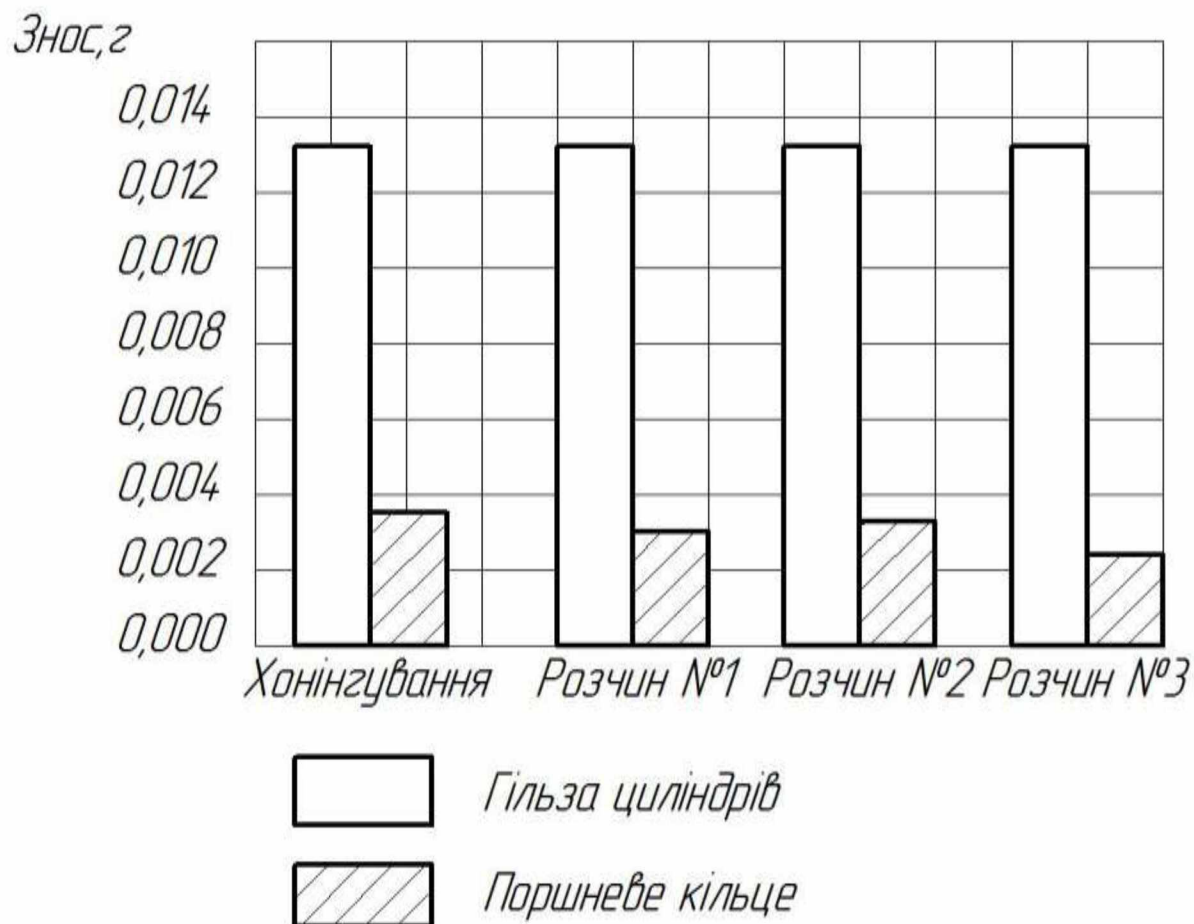


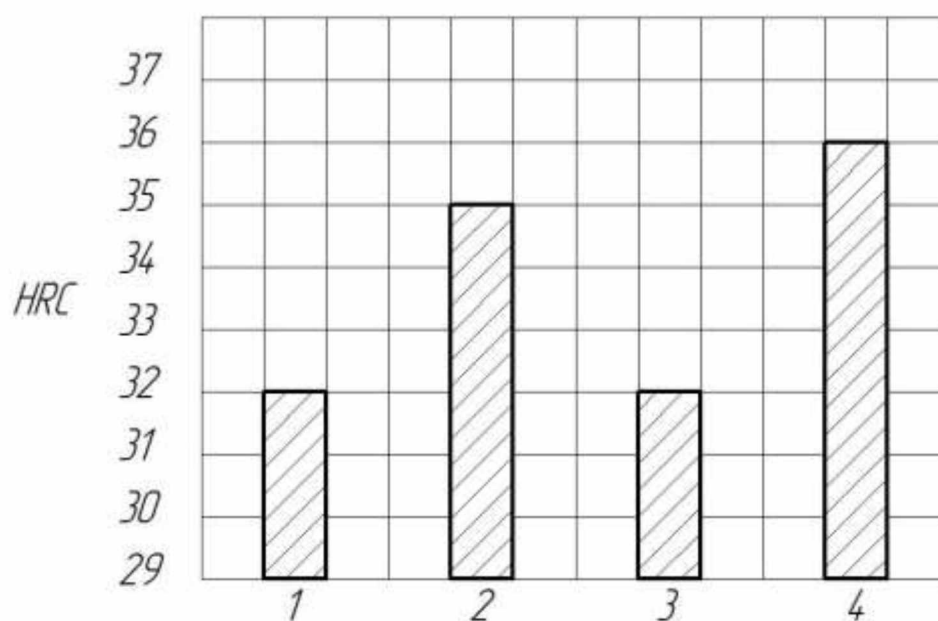
Рисунок 3.3 – Результати випробувань зразків на знос

Результати вимірювань зносу гільз і поршневих кілець знаходяться в табл. 2 додатку А.

3.8. Вивчення фізико-механічних властивостей поверхонь тертя гільз циліндрів

Визначення твердості проводили за допомогою твердоміра портативного комбінованого ТД-32М.

Твердість визначали у гільз після розточки після нанесення антифрикційного покриття. За результатами всіх замірів твердості побудовані діаграми твердості поверхні тертя гільз після різних видів обробки і після експлуатаційних випробувань (рис. 3.4).



1 – після розточування; 2 – після ФАБО; 3 – після хонінгування; 4 – після експлуатації

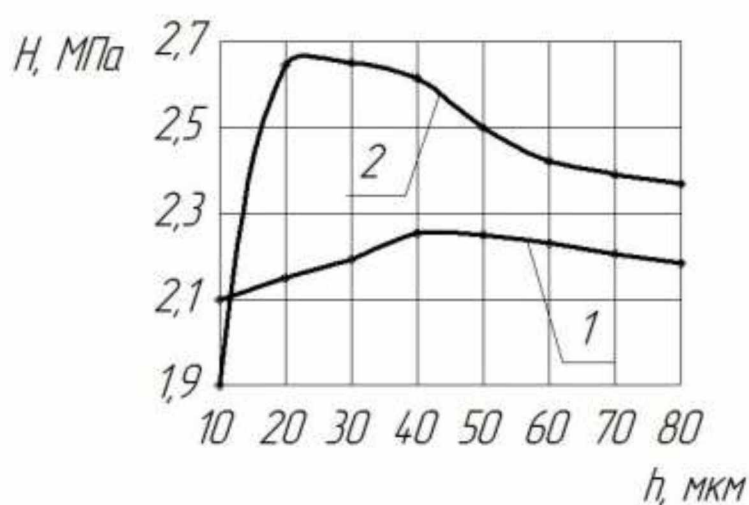
Рисунок 3.4 – Твердість поверхонь тертя гільз циліндрів після різноманітних видів обробки

За результатами вимірювань можна зробити висновок про підвищення твердості поверхні тертя гільзи після ФАБО на 9% порівняно з розточеною гільзою. Твердість гільзи після хонінгування і розточки однакова і дорівнює 3200 МПа.

Порівняння твердості поверхонь тертя гільз циліндрів після ФАБО і гільз після експлуатації показує, що у них близькі значення твердості. Це дозволяє зробити висновок про те, що антифрикційна обробка найбільшою мірою готує поверхні тертя до експлуатації.

Далі проведені випробування зразків на маслі М-8-В, що імітують умови роботи деталей ЦПГ двигуна для порівняльної оцінки ефективності різних методів обробки по зміні мікротвердості поверхонь тертя.

Один з показників, за яким визначають можливість підвищення ресурсу двигунів, це мікротвердість поверхонь тертя. Застосування різних методів обробки призводить до процесів, які забезпечують зміну структури поверхневого шару металу в процесі тертя під дією температури і навантаження. Мікротвердість зразків гільз циліндрів після випробувань протягом 60 хвилин визначали за допомогою приладу ПТ-3. Для визначення мікротвердості робили мікрошліфи поверхонь тертя зразків. Так як глибина деформації зразків невелика, при підготовці мікрошліфів робили косий зріз поверхні тертя. Результати визначення мікротвердості наведені на рис 3.5.



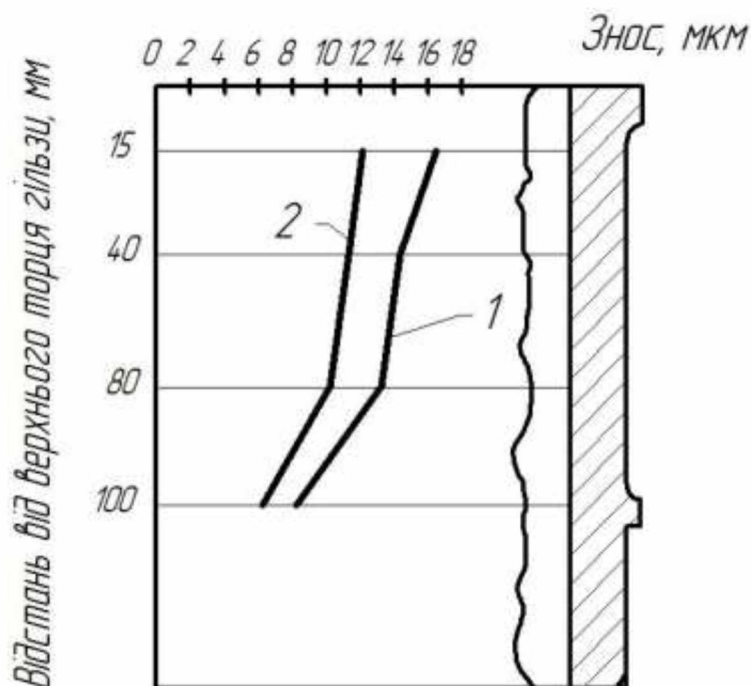
1 — після хонінгування; 2 — після ФАБО

Рисунок 3.4 – Залежність зміни мікротвердості поверхонь тертя зразків гільз циліндрів

Після випробування зміцнених деталей на мастилi М-8-В спостерігаємо збільшення мікротвердості на глибині 20 ... 30 мкм в порівнянні з хонінговою гільзою максимально на 22% (Додаток А табл. 3).

3.9. Визначення зносу деталей циліндропоршневої групи

Після випробувань двигуни розбирали і проводили відповідно до методики мікрометраж гільз циліндрів і зважування поршневих кілець. Дані мікрометражу наведено у табл. 4,5 додатку А. За даними мікрометражу гільз побудовані залежності зносу гільз циліндрів (рис.4.4).



1 – з гільзами після хонінгування; 2 – з гільзами після ФАБО

Рисунок 3.5 – Залежність зносу гільзи циліндрів двигунів

Аналіз кривих показує, що експериментальні гільзи циліндрів мають середній знос в 1,3 рази менше в порівнянні з типовими (табл. 4,5 додаток А).

Дані вагового зносу верхніх поршневих кілець двигунів показують, що у двигунів з антифрикційним покриттям знос поршневих кілець менше порівняно із

зносом кілець в парі з хонінгувальний гільзами в 1,81 рази (таблиці П13, 14). Це можна пояснити меншим тертям при наявності на поверхні гільзи антифрикційного покриття, що є в цьому випадку твердої мастилом.

3.10. Оцінка точності вимірів

Розраховувати точність вимірів будемо за методикою наведеною у 2 розділі, у пункті 2.8 (за формулами 2.2-2.7)

Визначення похибки вимірів наведемо на прикладі виміру вагового зносу зразків деталей на машині тертя МІ-1М.

В таблиці 3.4 наведені результати дослідів при нормальному законі розподілу відхилень досліджуваної величини (для даної установки кількість штифтів дорівнює трьом).

Таблиця 3.4 – Знос зразків деталей

Деталі	Знос, мг	$(i_{cp} - i_i)$	$(i_{cp} - i_i)^2$
1	15,3	0	0
2	15,5	0,2	0,04
3	15,2	0,1	0,01

Середнє значення зносу:

$$i_{cp} = (15,3 + 15,5 + 15,2)/3 = 15,3 \text{ мг};$$

Середній квадрат похибки із трьох вимірів:

$$\delta_{\delta_{cp}} = \sqrt{\frac{0 + 0,04 + 0,01}{3 \cdot (3 - 1)}} = 0,008 \text{ мг};$$

Для надійності $\alpha = 0,95$ і трьох дослідів визначаємо коефіцієнт Стюдента $t_\beta = 3,18$ і знаходимо похибку вимірів:

$$\delta_{\delta_{cp}} = 3,18 \cdot 0,008 = 0,025 \text{ мг};$$

Результат записуємо у вигляді:

$$i = 15,3 \pm 0,25 \text{ мг};$$

Відносна похибка:

$$\varepsilon = 0,25 / 15,3 \cdot 100\% = 1,63\%.$$

Результати розрахунку відносної похибки по зносу і шорсткості поверхні наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Показники похибки вимірів

Параметр	Надійність вимірів, α	Відносна похибка, ε , %	Число вимірів із заданою точністю, n
Знос зразків деталей	0,95	1,63	5
Шорсткість поверхні, мкм	0,95	3,26	5

По результатам розрахунків отримана похибка знаходиться в допустимих межах

Висновки

1. Теоретичні дослідження свідчать про значне число факторів, що впливають на умови роботи деталей циліндропоршневої групи двигуна, а саме швидкості ковзання, температури, питомого навантаження та ін.

2. Оцінку умов роботи деталей ЦПГ доцільно вести по комплексному критерію, що враховує більшість факторів у вигляді функцій від вхідних складових.

3. Встановлено, що нанесення антифрикційних покриттів сприяє зниженню інтенсивності зношування деталей ЦПГ і запобігає задирам і захоплюванню.

4. Розроблено послідовність визначення інтенсивності зношування поверхонь тертя деталей ЦПГ за умови пружних і пластичних деформацій у зоні контакту.

5. Шорсткість поверхонь зразків гільз циліндрів після фінішної антифрикційної безабразивної обробки становить 0,23...0,25 мкм, що в 1,3 рази менше хонінгованих гільз.

6. Твердість поверхонь тертя гільз циліндрів після ФАБО збільшується на 12% порівняно з хонінгуванням.

4. РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ПРАКТИЧНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ РОЗРОБОК

4.1. Екологічна експертиза

Екологічна експертиза в Україні – вид науково-практичної діяльності спеціально уповноважених державних органів, еколого-експертних формувань та об'єднань громадян, що ґрунтується на міжгалузевому екологічному дослідженні, аналізі та оцінці передпроектних, проектних та інших матеріалів чи об'єктів, реалізація і дія яких може негативно впливати або впливає на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, і спрямована на підготовку висновків про відповідність запланованої чи здійснюваної діяльності нормам і вимогам законодавства про охорону навколишнього природного середовища, раціональне використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки.

Метою екологічної експертизи є запобігання негативному впливу антропогенної діяльності на стан навколишнього природного середовища та здоров'я людей, а також оцінка ступеня екологічної безпеки господарської діяльності та екологічної ситуації на окремих територіях і об'єктах.

Об'єкти, суб'єкти, види екологічної експертизи висвітленні у законі України «Про екологічну експертизу» (9.02.1995р.).

Екологічна експертиза може бути державна, громадська та інша.

Державна екологічна експертиза проводиться експертними підрозділами чи спеціально створюваними комісіями спеціально уповноваженого центрального органу виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів та його органів на місцях на основі принципів законності, наукової обґрунтованості, комплексності, незалежності, гласності та довгострокового прогнозування.

Для участі в проведенні державної екологічної експертизи можуть залучатися відповідні органи державного управління України, представники

науково-дослідних, проектно-конструкторських, інших установ та організацій, вищих навчальних закладів, громадськості, експерти міжнародних організацій.

Висновок державної екологічної експертизи після затвердження спеціально уповноваженим центральним органом виконавчої влади з питань екології та природних ресурсів є обов'язковим для виконання.

Позитивний висновок державної екологічної експертизи є підставою для відкриття фінансування всіх програм і проектів.

Реалізація програм, проектів і рішень без позитивного висновку державної екологічної експертизи забороняється.

Громадська екологічна експертиза здійснюється незалежними групами спеціалістів з ініціативи громадських об'єднань, а також місцевих органів влади за рахунок їх власних коштів або на громадських засадах.

Громадська екологічна експертиза проводиться незалежно від державної екологічної експертизи.

Висновки громадської екологічної експертизи можуть враховуватися органами, які здійснюють державну екологічну експертизу, а також органами, що заінтересовані у реалізації проектних рішень або експлуатують відповідний об'єкт.

Інші екологічні експертизи можуть здійснюватися за ініціативою заінтересованих юридичних і фізичних осіб на договірній основі із спеціалізованими еколого-експертними органами і формуваннями.

Завданням екологічної експертизи є:

а) визначення екологічної безпеки господарювання та іншої діяльності, яка може нині або в майбутньому прямо або посередньо негативно вплинути на стан навколишнього середовища;

б) встановлення відповідності передпроектних, передпланових, проектних та інших рішень вимогам законодавства про охорону навколишнього середовища;

в) оцінка повноти й обґрунтованості передбачуваних заходів щодо охорони навколишнього природного середовища та здоров'я населення, яка

здійснюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища разом із Міністерством охорони здоров'я України.

Об'єктом даної екологічної експертизи є досліджувана технологія нанесення антифрикційних покриттів на гільзи автотракторних двигунів за допомогою ФАБО (фінішної антифрикційної безабразивної обробки).

При ремонті і відновленні деталей двигуна основними факторами, що впливають на оточуюче середовище є:

- металевий пил, що утворюється при обробці деталей на токарних, шліфувальних, хонінгувальних верстатах;
- різноманітні хімічні речовини та їх розчини, що використовуються при відновленні деталей шляхом нанесення покриттів;
- ПММ та продукти їх згорання, що утворюються під час обкатки двигунів;
- шум та вібрація при роботі металообробних верстатів, обкатувальних стендів та ін.

Дана технологія порівняно із традиційним способом відновлення гільз циліндрів дозволяє:

1) замінити 2 операції хонінгування гільз (чорнове і чистове), що дозволяє зменшити потрапляння в навколишнє середовище металевих частинок, які утворюються при хонінгуванні і шліфуванні та скорочує тривалість технологічного процесу;

2) зменшити час обкатки, при цьому зменшується витрати ПММ на обкатку і забруднення ними і відпрацьованими газами оточуючого середовища;

3) зменшити втрати на тертя в двигуні (пара гільза-поршневе кільце), що позитивно впливає на екологічні властивості двигуна та його економічність, а, отже, і на кількість продуктів згорання.

4) збільшити міжремонтний ресурс гільз, що сприяє зменшенню забруднення навколишнього середовища при їх відновленні

4.2. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

4.2.1. Актуальність проблеми безпеки людини у виробничому середовищі та при надзвичайних ситуаціях

Охорона праці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці.

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов.

Кожна людина і, безперечно, людина з вищою освітою повинна усвідомлювати важливість питань уникнення ризиків у житті та праці.

Україна в освітньому плані приєдналася до Європейської програми навчання з ризиків FORM-OSE. Безпека життя та праці сьогодні формується як меганаука, без якої людство приречене на значні втрати.

Умови праці – це складне об'єктивне суспільне явище, що формується в процесі трудової діяльності під впливом взаємопов'язаних факторів соціально-економічного характеру, які впливають на здоров'я, працездатність людини, на її відношення до праці та ступінь задоволення від неї, на ефективність праці та інші економічні результати виробництва. Вони характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства.

Охорона життя та здоров'я громадян у процесі їх трудової діяльності, створення безпечних та нешкідливих умов праці є одним з найважливіших державних завдань. Успішне вирішення цього завдання значною мірою залежить від належної підготовки фахівців усіх освітньо-кваліфікаційних рівнів з питань охорони праці.

З часу виникнення людської цивілізації кожна людина дбала про власну безпеку та безпеку своїх близьких так само, як і людству доводилось дбати про безпеку свого існування. Людська цивілізація досягає все більшої могутності, а проблема безпеки її існування стає все більш гострою. Актуальність проблеми охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях в світі значно зросла на початку третього тисячоліття. Сьогодні ця проблема стала пріоритетною для світової цивілізації.

4.2.2. Охорона праці при нанесенні антифрикційних покриттів на гільзи двигунів

При нанесенні антифрикційних покриттів на гільзи робітник має справу з різноманітними металообробними верстатами.

Основними технічними засобами охорони праці в цьому випадку є захисні пристрої.

Для запобігання захоплення, удару робочими механізмами всі види передач різних верстатів і установок, які використовуються при відновленні гільз і нанесенні покриттів повинні мати огорожувальні пристрої - кожухи, щити, екрани, козирки, планки, бар'єри (суцільні та сітчасті).

Крім того застосовують: блокувальні пристрої (механічні, електронні, електричні, пневматичні, гідравлічні), пристрої, до яких відносяться системи захисту від ураження електричним струмом, пристрої сигналізації.

Для безпеки експлуатації при нормальному режимі роботи електроустановок необхідно забезпечити захисне заземлення.

При виявленні нагріву тертьових деталей, появі гару або диму верстат потрібно негайно зупинити і приступити до гасіння пожежі наявними засобами,

викликати пожежну команду. Двигун, що загорівся, або електропроводку необхідно гасити сухим піском або вогнегасником (вуглекислотним або порошковим). При значному поширенні пожежі, коли його не можна ліквідувати наявними на ділянці засобами, робітники будуть евакуюватися через заздалегідь передбачену необхідну кількість дверей.

У магістерській роботі запропоновано пристосування для нанесення зносостійких покриттів на внутрішню поверхню гільз циліндрів двигунів фрикційним способом. Характерною особливістю є використання різноманітних хімічних речовин (ПАВ (поверхнево-активні речовини), порошкоподібні мінеральні і органічні солі антифрикційних металів, водорозчинні ЗОР (змащуючо-охолоджуючі рідини), гліцерин, органічні кислоти та ін.).

Робота з такими речовинами створює небезпеку отруєнь, опіків та професійних захворювань. Вдихання шкідливих речовин призводить до ураження верхніх дихальних шляхів і загальнотоксичного впливу. Попадання кислот і лугів на шкіру може викликати подразнення або опік. Тому необхідно працювати в спеціальній захисній формі.

Поряд з хімічними небезпечними і шкідливими факторами технологічний процес характеризується і фізичними факторами: шумом, вібрацією, запиленістю та ін.

Щоб захистити працюючих від запиленості, шуму і вібрації потрібно встановити в приміщенні вентиляцію, кондиціонери, звукоізолюючі кожухи, екрани, стіни, перетинки, які виготовляють із щільного матеріалу.

Також для працівників повинні проводитись всі потрібні інструктажі і навчання з охорони праці, повинен бути журнал з проведення інструктажів, з відповідними замітками.

4.2.3. Аналіз формування травмонебезпечних ситуацій

Всяке порушення аналітичної цілості організму або його функцій внаслідок дії на людину, дії будь-якого небезпечного фактора визначається як травма.

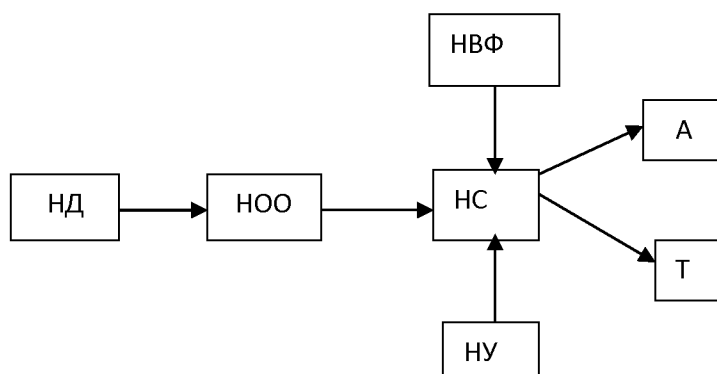
Аналіз небезпечних умов, які існують чи виникають безпосередньо на виробництві показав, що їх можна поділити на групи, які:

- характеризують стан або рівень безпеки виробничого обладнання або певного робочого місця, конструктивні недоліки конкретного вузла чи машини;
- спонукають працюючого допускати помилки у процесі роботи, низька кваліфікація працюючого та рівень знань з охорони праці;
- створюють можливість проникнення працюючого у небезпечну зону внаслідок відсутності відповідного контролю за дотриманням правил з охорони праці, та інші.

Якщо внаслідок аварії технічної системи виникли травми у людей, то сам випадок травми необхідно розглянути як подію, що є наслідком аварії. Це стосується тих систем, у яких підсистемами одночасно є машина і людина. Якщо при функціонуванні таких систем з ладу вийшла машина, раптово припинивши свої функції внаслідок руйнування окремих деталей або самої машини, і це привело до значного матеріального збитку, то таке випадкове явище необхідно назвати аварією.

Усі явища, що формують небезпечну ситуацію, мають повну достовірність виникнення, а це означає, що небезпечні умови (НУ), небезпечні дії (НД), небезпечні ситуації (НС) і наслідки таких ситуацій: аварія (А), травма (Т) і сприятлива подія належить до випадкових явищ.

Оскільки при функціонуванні людино-машинних систем такі явища як травми, аварії мають дуже близькі механізми формування та виникнення, у подальшому ці явища будуть описуватись паралельно (рис.5.1).



НВФ – небезпечний виробничий фактор; НУ – небезпечні умови; НД – небезпечні дії; НО – небезпечні обставини; НС – небезпечна ситуація; А – аварія; Т – травма

Рисунок 4.1 – Блок-схема формування та виникнення травмонебезпечних аварійних ситуацій

Основні небезпеки, які виникають під час нанесення зносостійких покриттів на гільзи автотракторних двигунів приведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Аналіз процесів формування травмонебезпечних ситуацій в технологічному процесі нанесення антифрикційних покриттів на гільзи автотракторних двигунів

Вид робіт, виробничий підрозділ, робоче місце, виробниче обладнання, склад агрегату	Виробнича небезпека			Можливі наслідки	Заходи запобігання небезпечним ситуаціям
	Небезпечна умова НУ	Небезпечна дія НД	Небезпечна ситуація НС		
1	2	3	4	5	6
Приготування розчину для нанесення антифрикційного покриття	Розбризування, витікання розчину НУ	Працівник доторкнувся до розчину НД	Подразнення, опік хімічними речовинами НС	Травма Т	Провести інструктаж з питань охорони праці. Робота з хімічними речовинами лише у спецодязі.

Продовження табл. 4.1

1	2	3	4	5	6
Нанесення зносостійкого покриття на поверхню гільзи	Поява на корпусі верстата електричного струму НУ-1 Робота з рухомими частинами верстата НУ-2	Працівник доторкнувся до корпуса НД-1 Працівник доторкнувся до швидко-обертової частини верстата НД-2	Ураження електричним струмом НС-1 Механічна дія рухомої частини верстата на тіло працівника НС-2	Травма Т	Регулярна перевірка стану заземлення установки та ізоляція проводів. Встановлення захисного обладнання на верстаті. Проведення інструктажу з питань охорони праці

4.2.4. Аналіз формування умов виникнення і розвитку аварій

Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій наведена в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Схема постадійного аналізу умов виникнення і розвитку аварій

Найменування стадії розвитку аварійної ситуації (аварії)	Основні принципи аналізу умов виникнення (переходу на іншу стадію) аварійної ситуації (аварії та її наслідків)	Способи і засоби попередження, локалізації аварії
Виникнення пожежі	Оцінка й аналіз: можливих масштабів пожежі (площа, кількість горючих продуктів, склад продуктів згоряння, в т. ч. неповного); наявності й ефективності засобів гасіння пожежі; вміння персоналу діяти при ліквідації осередка займання; оперативності й оснащення ДПЧ; наявності і характеристик джерел запалювання	Виключення джерел запалювання; оснащення ефективними засобами гасіння пожежі, засобами сигналізації і зв'язку; дії персоналу і спецпідрозділів щодо рятування людей, гасіння пожежі
Травмування людей	Аналіз кількісних енергетичних характеристик пожежі (енергія випромінювання) та вибуху; наявності і кількість людей в зоні можливого ураження	Рациональне планування промислового майданчика. Розміщення поза межами зони можливого впливу пожежі будівель адміністративного, побутового призначення
Знос, утомленість матеріалу апарата	Перевірка вивченості корозійних властивостей застосовуваних речовин;	Застосування обладнання підвищеної надійності,

	наявність даних щодо швидкості корозії і зносу; відповідність матеріалу устаткування (трубопроводів), захисного покриття, ущільнювальних матеріалів. Наявність умов для механічного ушкодження устаткування	ефективного захисного покриття і захисних пристроїв
Вихід параметрів за критичні значення	Перевірка вивченості властивостей застосовуваних речовин; їх аналіз; виявлення особливо небезпечних речовин; виявлення параметрів, які визначають небезпечність технологічних процесів і їх критичні значення; оцінка достатності оснащення засобами, які виключають вихід параметрів за припустимі межі, їх ефективність, надійність	Дооснащення технологічних процесів засобами контролю, управління й протиаварійного захисту, підвищення їх надійності й ефективності; удосконалення технологічних процесів
Підвищена вібрація	Перевірка надійності й вірності кріплення апаратів, машин, трубопроводів, співності з'єднань обертових пристроїв	Своєчасне проведення планово-запобіжних ремонтів

4.2.5. Висновки щодо підвищення стану охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуацій

У розділі охорони праці магістерської роботи представлений аналіз загальних питань охорони праці, розглянуто основні шкідливі фактори, що виникають в під час технологічного процесу та їх вплив на організм людини, запропоновано заходи для забезпечення нормальних умов праці:

- 1) для забезпечення безпеки обладнання запропоновані захисні і огорожувальні пристрої;
- 2) для виключення ураження електричним струмом необхідно застосування заземлюючих пристроїв;
- 3) для захисту від небезпечних хімічних речовин – використання спеціального захисного одягу;
- 4) для зменшення запиленості – використання вентиляції, для зменшення шуму і вібрацій – звукоізолюючі засоби;

4.3. Техніко-економічне обґрунтування розробки

Економічний ефект від використання нового технологічного процесу ремонту гільз циліндрів складається:

- Від економії за рахунок скорочення двох операцій хонінгування гільз циліндрів; .

Розрахунок порівняльного економічного ефекту за розрахунковий період E від застосування нової технології визначається за формулою:

$$E_n = E_2 - E_1, \quad (4.1)$$

Де E_1, E_2 – економічний ефект за розрахунковий період: 1 – за типовою технологією; 2 – за новою технологією.

$$E_n = 20552 - 11680 = 8872 \text{ грн}$$

Економічний ефект E від застосування типової (1) і нової (2) технології визначаємо за формулою:

$$E_{1,2} = P_{1,2} - B_{P1,2} \quad (4.2)$$

де $P_{1,2}$ - вартісна оцінка результатів ремонту двигунів від застосування відповідно типовий і нової технології, грн; $B_{P1,2}$ - вартісна оцінка витрат на ремонт двигунів від застосування відповідно типової і нової технології відновлення, грн;

$$E_1 = 40000 - 28320 = 11680 \text{ грн};$$

$$E_2 = 44000 - 23448 = 20552 \text{ грн};$$

$$P_{1,2} = W_{1,2} \cdot C_{1,2} \cdot K_{p1,2} \quad (4.3)$$

де $W_{1,2}$ – програма ремонту двигунів відповідно за типовою і прискореною технологією, шт. ($W_1 = W_2 = 20$ двигунів в рік); $C_{1,2}$ – відпускна ціна гільз циліндрів, грн; $K_{p1,2}$ – коефіцієнт ресурсу двигунів відновлених відповідно за типовою і прискореною технологією ($K_{p1,2} = 1,1$).

де N_2 – ресурс двигуна після відновлення за типовою технологією, км;

N_1 - ресурс двигуна після відновлення за прискореною технологією, км;

$$P_1 = 2000 \cdot 20 \cdot 1,0 = 40000 \text{ грн}$$

$$P_2 = 2000 \cdot 20 \cdot 1,1 = 44000 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на антифрикційну обробку гільз циліндрів отримуємо із співвідношення витрат на відновлення гільз циліндрів за типовою технологією (розточування, хонінгування, розкатка) і витрат на відновлення антифрикційною обробкою (розточування, ФАБО) із застосуванням мастильно-охолоджувальної технологічної рідини (МОТР).

$$B_p = Cб_p \cdot W_d + K_{вл}, \quad (4.4)$$

де $Cб_p$ – собівартість ремонту за типовою і новою технологією, грн; W_d – план ремонту двигунів у поточному році, шт; $K_{вл}$ – капітальні вкладення, грн;

$$Cб_p = B_{оп} + B_{ел} + B_m + B_{ін}, \quad (4.5)$$

де $B_{оп}$ – затрати на заробітну плату, грн; $B_{ел}$ – затрати на електроенергію, грн; B_m – затрати на матеріали; $B_{ін}$ – інші витрати, грн;

Розрахунок трудомісткості робіт

$$\tau_{p1,2} = t_{см} \cdot D \cdot n, \quad (4.6)$$

де $t_{см}$ – час виконання одиниці роботи, год; D – кількість деталей (гільз), $D = 8$ шт; n – кількість робітників, чол.

$$\tau_{p1,2} = 0,36 \cdot 8 \cdot 1 = 2,88 \text{ люд.-год.} - \text{за типовою технологією;}$$

$$\tau_{p1,2} = 0,2 \cdot 8 \cdot 1 = 1,66 \text{ люд.-год} - \text{за новою технологією.}$$

Розрахунок тарифного фронту оплати праці робітника:

$$\Phi_{оп} = \tau_p \cdot T_{см}, \quad (4.7)$$

де τ_p – трудомісткість виконання операції, люд.-год.; $T_{см}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду, $T_{см} = 25$ грн/люд.-год.

$$\Phi_{оп1} = 2,88 \cdot 25 = 72 \text{ грн}$$

$$\Phi_{оп2} = 1,6 \cdot 25 = 40 \text{ грн}$$

Розрахунок витрат на оплату праці робітника:

$$B_{оп} = \Phi_{оп} + (\Phi_{оп} \cdot K_d) + (\Phi_{оп} \cdot K_{соц}), \quad (4.8)$$

де $\Phi_{оп}$ – тарифний фонд оплати праці, грн; K_d – коефіцієнт додаткової оплати, $K_d = 0,12$; $K_{соц}$ – коефіцієнт відрахування соцстраху, $K_{соц} = 0,39$.

$$B_{оп1} = 72 + (72 \cdot 0,12) + (72 \cdot 0,39) = 108,72 \text{ грн;}$$

$$B_{on2} = 40 + (40 \cdot 0,12) + (40 \cdot 0,39) = 60,4 \text{ грн};$$

Витрати на електроенергію:

$$B_{el1,2} = P_o \cdot t \cdot \Pi_{el}, \quad (4.9)$$

де P_o – встановлена потужність обладнання, кВт; t – час на виконання операції, год.; Π_{el} – вартість 1 кВт год. електроенергії;

$$B_{el1} = 10 \cdot 0,36 \cdot 1,38 \approx 5 \text{ грн}$$

$$B_{el1} = 10 \cdot 0,2 \cdot 1,38 = 2,76 \text{ грн}$$

Витрати на матеріали (B_m) у випадку з типовою технологією будуть становити 300 грн (хонінгувальні бруски), а у випадку з новою – вони становитимуть вартість мастильно-охолоджуючої технологічної рідини (МОТР)

Витрати на мастильно-охолоджуючу технологічну рідину (МОТР):

$$B_{motp} = q_c \cdot D \cdot \Pi_{motp}, \quad (4.10)$$

де q_c – Витрата МОТР на 1 гільзу, кг; D – кількість гільз, шт; Π_{motp} – ціна 1 кг МОТР, грн.

$$B_{motp} = 0,25 \cdot 8 \cdot 30 = 60 \text{ грн}$$

Інші витрати складають 2% від основних витрат:

$$B_{np1,2} = (B_{on1,2} + B_{el1,2}) \cdot 0,02 \quad (4.11)$$

$$B_{np1} = (108,72 + 5) \cdot 0,02 = 2,27 \text{ грн}$$

$$B_{np1} = (60,4 + 2,76) \cdot 0,02 = 1,26 \text{ грн}$$

$$C\bar{b}_{p1} = 108,72 + 5 + 300 + 2,27 = 416 \text{ грн}$$

$$C\bar{b}_{p2} = 60,4 + 2,76 + 60 + 1,26 = 124,4 \text{ грн}$$

$$B_{p1} = 416 \cdot 20 + 20000 = 28320 \text{ грн};$$

$$B_{p2} = 124,4 \cdot 20 + 21000 = 23448 \text{ грн};$$

Термін окупності даного способу відновлення гільз циліндрів розраховуємо за формулою:

$$Q_p = \frac{B_{кв}}{E_n}, \quad (4.12)$$

де $B_{кв}$ – величина капітальних вкладень, грн

$$Q_p = \frac{21000}{8872} = 2,37 \text{ років}$$

Дані розрахунків заносимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Дані розрахунку економічного ефекту від впровадження нової технології ремонту гільз циліндрів

Назва показників	Величина показника	
	типова технологія	нова технологія
План ремонту двигунів в поточному році, шт	20	20
Трудовісткість операції ремонту гільз циліндрів, люд.-год.	2,88	1,6
Величина капітальних вкладень, грн	20000	21000
Вартісна оцінка результатів ремонту двигунів, грн	40000	44000
Витрати на зміцнюючу антифрикційну обробку гільз циліндрів, грн	28320	23448
Економічний ефект, грн	11680	20552
Порівняльний економічний ефект, грн	-	8872
Термін окупності, років		2,37

Висновки

Проведена екологічна експертиза свідчить, що запропонована технологія відновлення гільз циліндрів є екологічно безпечною.

Виконано аналізу умов виникнення і розвитку травм і аварій, для їх усунення запропоновані наступні заходи: встановлення захисних щитків, блокуючих приладів, заземлення при роботі з металообробними верстатами, використання спецодягу для приготування технологічних розчинів, проведення регулярних інструктажів з техніки безпеки.

Розраховано величину капітальних вкладень, річний економічний ефект та термін окупності розробки, що становлять відповідно 21000 грн., 8872 грн., 2,37 року. Порівняння з типовою технологією відновлення гільз показує економічну доцільність впровадження технології відновлення гільз за допомогою ФАБО.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних і патентних джерел показав, що ресурс відремонтованих двигунів визначається зносостійкістю циліндропоршневої групи (ЦПГ) і складає в сільськогосподарському виробництві 47% від нових.

2. Пропонується об'єднати ряд сучасних способів відновлення гільз циліндрів в єдиний технологічний ланцюжок: розточування для усунення слідів зносу під подальшу обробку і нанесення антифрикційного покриття. Передбачувана технологія дозволяє замінити дві операції хонінгування гільз (чорнову і чистову), що дає суттєву економію за рахунок скорочення витрат на дороге устаткування - хонінгувальні верстати та хонголови, і скоротити витрати на алмазний інструмент.

3. Проведено теоретичний розрахунок інтенсивності зношування поверхонь тертя;

4. Трибологічні випробування зразків гільз циліндрів і поршневих кілець показали, застосування змазуючо-охолоджуючої технологічної рідини (ЗОТР) дозволяє знизити їх знос до 28%, напруги стиснення досягають 600 ... 900 МПа, зміцнений шар утворюється на глибині до 0,07 мм. Шорсткість поверхонь зразків гільз циліндрів після антифрикційної обробки становить $Ra = 0,23 \dots 0,25$ мкм, що в 1,3 рази менше хонінгованих гільз.

5. Експлуатаційні випробування показали, що середнє значення ресурсу з дослідними гільзами двигунів ЗМЗ-511.10 182000 км, що на 11% вище ресурсу двигунів з типовими гільзами.

6. З досліджених складів технологічних рідин (СОТС), забезпечують нанесення антифрикційного покриття, найбільш ефективним є склад, що складається з 50% гліцерата міді, 5% рицинолеїнової кислоти і решта дизельне паливо.

7. Процес антифрикційної обробки гільз циліндрів автотракторних двигунів впроваджений на ремонтному підприємстві. Економічний ефект від впровадження нової технології склав 8872 грн при програмі 20 двигунів на рік.