

НУБІП України

НУБІП України

Магістерська кваліфікаційна робота

01.12.МКР.463 с 28.03.23.020 ПЗ

ХОРОШАЙЛОВ ОЛЕКСІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

2023 р.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет конструювання та дизайну

УДК 631.354:621.434.03

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
надійності техніки

А.В.Новицький

“ ” 2023 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

Дослідження технічного стану

автотракторних поршнів з розробкою

технологічного процесу їх відновлення

Спеціальність: 133 – галузеве машинобудування

Магістерська програма – технічний сервіс машин та обладнання

сільськогосподарського виробництва

Програма підготовки - освітньо-професійна

Керівник магістерської

кваліфікаційної роботи

К.Т.Н., доц.

Ружило З.В.

Виконав:

Хорошайлов О.О.

Київ-2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
Факультет конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри надійності техніки к.т.н. доц.

Новицький А.В.

“25” жовтня 2022 року

ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи студенту

Хорошайлову Олексію Олексійовичу

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма технічний сервіс машин та обладнання
сільськогосподарського виробництва

1. Тема роботи: «Дослідження технічного стану автотракторних поршнів з розробкою технологічного процесу їх відновлення», затверджена наказом по вузу від 28.03.2023 р. №463 «с»

2. Термін подачі завершеної роботи на кафедру: 10.11.23

3. Вихідні дані до роботи:

- завдання кафедри;
- матеріали огляду літературних джерел щодо пошкодження та ремонту автотракторних поршнів;
- нормативно-технічна документація на відновлення поршнів.

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

ВСТУП

- конетруктивний аналіз існуючих поршнів двигунів;

- аналіз умов роботи поршнів дизельних двигунів;
- аналіз процесу зносу поршнів автотракторних двигунів;
- способи відновлення поршнів;
- характеристика основних властивостей, складу і структури покриттів отриманих методом лазерного наплавлення;

- технологічний процес відновлення поршнів;
- техніко-економічна оцінка застосування технологічного процесу.

ВИСНОВКИ
ЛІТЕРАТУРА

5. Перелік ілюстративного матеріалу

Презентаційний матеріал

Дата видачі завдання “ _____ ” _____ 20__ р.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ВСТУП

Сьогодні спеціалізація ремонтного виробництва розширюється за рахунок централізованого відновлення деталей. Залежно від кон'юнктури ринку розширюється асортимент відновлених деталей для автомобільних двигунів та інших агрегатів.

У більшості країн вторинний ринок значною мірою забезпечується за рахунок відновлення деталей із застосуванням передових технологій. У США частка відновлених деталей досягає 25% від усіх запасних частин, тоді як в Україні вона становить не більше 3-4%.

Об'єктивні причини зносу та старіння вузлів і агрегатів змушують транспортні компанії закуповувати нові запчастини та транспортні засоби, а також відновлювати наявний ремонтний парк власними силами або за допомогою спеціалізованих майстерень, станцій технічного обслуговування та автосервісів.

Автосервісні та ремонтні підприємства стикаються з фінансовими труднощами, надмірна вартість електроенергії, води та опалення, а також обмежувальна фіскальна політика уряду підривають діяльність компаній, чий прибуток залежить від стабільності ринку. За цих обставин важливо знизити витрати на відновлення за рахунок технічних та організаційних рішень. Ці заходи сприяють підвищенню купівельної спроможності споживачів і, відповідно, добробуту виробників.

У нинішній економічній ситуації важливим є відновлення поршнів автомобільних двигунів після їх попереднього лиття.

В даний час поршні двигунів КАМАЗ-740 і ЗМЗ-53 вже відновлюються на авторемонтних заводах. Досвід показав, що регенерація поршнів автомобільних двигунів не тільки можлива, але й економічно вигідна [1-4].

В даній роботі досліджено підвищення зносостійкості робочих поверхонь поршнів дизельних двигунів в процесі виробництва та ремонту, а також розроблено та запропоновано технологічний процес відновлення поршнів двигуна ЯМЗ-236 в умовах авторемонтної майстерні.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1. КОНСТРУКТИВНИЙ АНАЛІЗ ПОРШНІВ ДВЗ

Поршень - найважливіша деталь двигунів внутрішнього згоряння. Він піддається високим механічним і, перш за все, тепловим навантаженням. Сьогодні поршні певних типів призначені для використання в двигунах з певним рівнем потужності і призначенням. Для прийняття рішення про придатність конструкції поршня певного типу використовуються різні параметри, в основному шляхом оцінки його теплового навантаження. Широке розповсюдження стримує параметр q_n , що дозволяє оцінити теплову напруженість поршня в умовних одиницях в залежності від параметрів робочого процесу і режиму роботи двигуна:

$$q_n = b c_m^{0.5} [D / (\eta_V p_k)]^{0.38} [p_c q_c (T_k + 273) / (T_0 + 273)]^{0.88} \quad (1.1)$$

де, в нерозділених камерах згоряння, $b = 4,24$ для чотиритактних двигунів; $b = 7,53$ для двотактних двигунів; в розділених камерах згоряння, $b = 4,7$ для чотиритактних двигунів; $b = 8,32$ - і $8,5$ для двотактних двигунів; D - діаметр циліндра, дм; η_V - ефективний середній тиск, МПа; q_c - ефективна питома витрата палива, кг/(кВт-год); p_k , T_k - тиск, МПа, і температура, °С, повітря перед входами двигуна; c_m - середня швидкість поршня, м/с; $T_0 = 20$ °С; v - коефіцієнт наповнення.

На основі накопиченого досвіду встановлено наступні граничні значення параметра q_n для конструкцій поршнів певних типів:

неохолоджені:

чавун - 4

алюмінієві сплави - 6

охолоджені:

з розпиленням масляного покриття днища - 6,6-6,8

з циркуляційним охолодженням масла - 8

та інерційним масляним охолодженням (перемішуванням з маслом) - 10

На рис. 1.1 показана типова конструкція литого поршня, що широко використовується в автомобільних і тракторних дизелях в різних виконаннях. Також наведено рекомендовані геометричні пропорції для елементів поршня від відомого виробника поршнів Male.

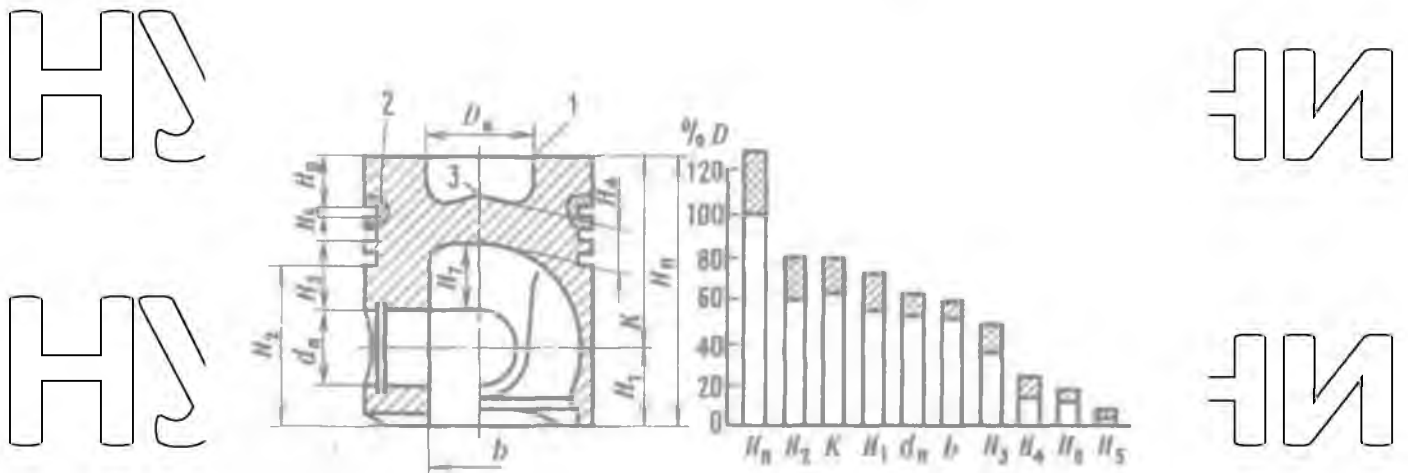


Рис. 1.1 Залежність відносних геометричних розмірів поршня з алюмінієвого сплаву автомобільного дизеля від діаметра циліндра

Висота H_p поршня визначається кількістю компресійних і маслос'ємних кілець, висотою H_0 нагрівального пояса і висотою H_2 направляючого пояса, в якому розташований отвір під поршневий палець діаметром d_n . Поршні дизелів мають велику відносну висоту $H/D = 1,16-1,54$ порівняно з поршнями карбюраторів, які мають $H/D = 0,9-1,3$. Це пов'язано з тим, що дизельні поршні мають більшу кількість компресійних і маслос'ємних кілець, більшу висоту нагрівальних і направляючих поясів і більш товсті перемички між кільцями. Кількість кілець також залежить від частоти обертання клинчастого валу двигуна, зменшуючись зі збільшенням частоти обертання колінчастого валу.

Поршень повинен мати достатній опір. Висока температура згорання палива знижує міцність матеріалу. Зміни температури викликають високотемпературні напруження. У зв'язку зі змінним характером режимів роботи більшості сучасних двигунів особливо важливо мати більшу стійкість до термічної втоми найбільш напружених елементів поршня (виймки в днищі поршня для клапанів, кромки

камери 1 в поршні). У зв'язку зі збільшенням максимального тиску циклу важливо забезпечити високу втомну міцність в зонах відекоку, де зазвичай з'являються тріщини під дією механічних навантажень.

Залежно від рівня тяги і необхідного терміну служби, надійність поршня може бути досягнута різними способами. На даний момент вважається, що цільний поршень з алюмінієвого сплаву підходить для використання в малопотужних двигунах з обмеженим терміном служби. У форсованих дизельних двигунах все частіше використовуються поршні з литою вставкою 2 (див. рис. 1.1) під першим, а іноді під першим і другим верхніми компресійними кільцями. Ця вставка

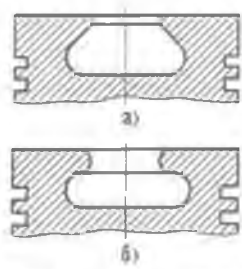
виготовляється з аустенітної або марганцевої сталі, а також з аустенітного чавуну, що призводить до значного підвищення зносостійкості канавок кілець. Для надійного з'єднання вкладиша з корпусом поршня вони повинні бути самоблокуючим при тепловому розширенні. З'єднання матеріалів вкладиша і

поршня, виготовлених з алюмінієвого сплаву, здійснюється за допомогою так званого альфінського процесу, який забезпечує сплавлення металів в прикордонному шарі. Штамповані поршні з деформівних сплавів перевіряються литі за міцністю матеріалу, але в цьому випадку надійна фіксація вставки пов'язана з великими труднощами.

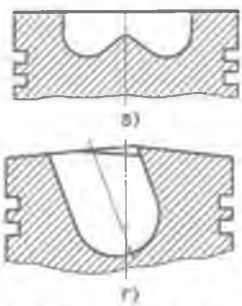
На рис. 1.2 показані камери згоряння деяких типів поршнів, розташованих в поршнях сучасних дизельних двигунів.

У камері згоряння типу CNIDL (рис. 1.2, а) високо температурним навантаженням піддається досить тонка кромка, що аеродинамізується високошвидкісним потоком гарячих газів.

НУБІП України



НУБІП України



НУБІП України

Рис. 1.2. Типи камер згоряння в поршнях дизелів.

а - ЦНИДІ ; б - НАГІ ; в - ЯМЗ ; г - ДВІЦ.

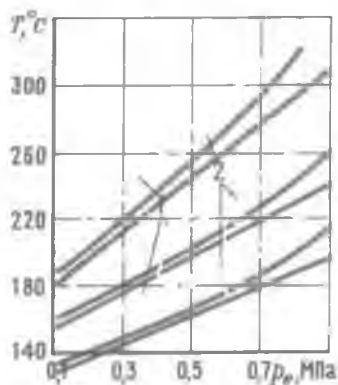
На рис. 1.3 . показано зміну температури в окремих точках поршня з камерою

типу ЦНИДИ тракторного дизеля 4ЧН 11/12,5 залежно від навантаження при частоті/обертання $n = 2100 \text{ об / хв}$. Температура поблизу кромки (крива 1) значно перевищує температури інших елементів поршня. При заокругленні кромки радіусом 2-4 мм зменшуються швидкість обтікання її потоком газу , відведення

теплоти в тіло поршня , знижуються температурний градієнт і температурні напруги, що підвищує працездатність кромки. Однак при цьому зазвичай погіршується економічність дизеля.

НУБІП України

НУБІП України



НУБІП України

Рис.1.3 . Залежність температури поршня з алюмінієвого сплаву від середнього ефективного тиску (1 - з охолодженням , 2 - без охолодження)

Для підвищення термостійкості кромку (а іноді і всю поверхню камери) зміцнюють термостійким матеріалом шляхом напилення керамічного матеріалу або анодування поверхні поршня, яка контактує з гарячими газами. Оскільки край камери працює в умовах теплової втоми, армуючий матеріал повинен бути досить пластичним. Багато теплоізоляційних покриттів, які можуть витримувати високі температури при статичному навантаженні, але є крихкими, погано працюють при циклічних термічних і механічних навантаженнях і мають тенденцію до розтріскування. Висота теплового поясу також впливає на рівень напруги на краю камери. Експерименти показали, що можна досягти значного зниження розтягуючих напружень на краю за рахунок збільшення висоти цього поясу.

Збільшення амплітуди циклічних напружень може призвести до появи тріщини в зоні напружень проекції поршня, які, як правило, виникають в області внутрішньої кромки, перед отвором під поршневий палець, і поширюються в напрямку, близькому до площини, паралельної осі циліндра. При збільшенні відстані H_7 (див. рис. 1.Г) від дна поршня до отвору в поршневому пальці в зоні виступу знижується температура матеріалу і, відповідно, підвищується втомна міцність, що, в свою чергу, зменшує схильність до розтріскування. Недоліком цього рішення є те, що воно збільшує висоту і вагу поршня. Для зменшення навантажень на виступи зменшують відстань між ними, що призведе до зменшення питомого тиску на опорну поверхню в місцях виступів і прогину поршневого пальця. Однак в цьому випадку зменшується довжина верхньої головки шатуна і можуть погіршитися умови роботи підшипникової пари між поршневим пальцем і шатуном. Тому в деяких конструкціях кінці кулачків скошені під кутом, а верхня головка шатуна має клиноподібну форму (рис. 1.4). У випадку зменшеного розміру b (див. рис. 1.1.) використовується поршневий палець більшого діаметру при міцному з'єднанні з шатуном. Початкова пластична деформація опорних поверхонь в холодному стані сприяє підвищенню працездатності кулачків.

НУБІП України

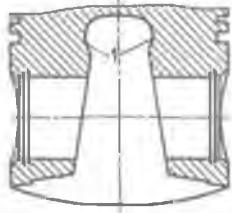


Рис. 1.4. Поршень із збільшеною опорною поверхнею бобишек.

Діаметр d_n пальця слід робити по можливості великим. Крім того, зниження локальних перевантажень на опорах може бути досягнуто застосуванням пальця зі спеціальною формою зовнішньої поверхні, погодженою з його лінійною прогину при навантаженні в момент досягнення максимального тиску в циліндрі.

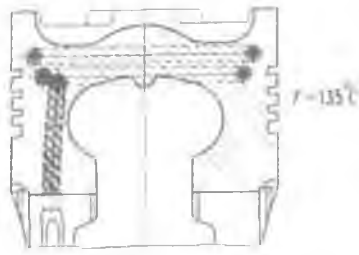
У поршні типу, представленого на рис. 1.1., охолодження днища може бути здійснено розбризкуваним маслом, що подається, наприклад, через стрижень і верхню головку шатуна. При форсуванні двигуна понад деякого значення середнього ефективного тиску $p_{\text{ефр}}$ такий спосіб охолодження стає недостатнім.

Залежно від типу і призначення двигуна граничні значення $p_{\text{ефр}}$ можуть бути різними. Для швидкохідних дизелів з частотою обертання вала $n = 1800-2000$ об/хв $p_{\text{ефр}} = 1 - 1,2$ Мпа, при питомій поршневій потужності $22-30$ кВт/ дм^2 , у тепловозних дизелів при $n = 1000$ об / хв $p_{\text{ефр}} = 0,9- 1,0$ МПа. У порнях з алюмінієвого сплаву стримала поширення конструкція з залитими в головку поршня у вигляді зміювика металевими трубками, по яких циркулює охолоджуюча олива, яка подається через систему отворів у шатуні, поршневому пальці і бобишки поршня (рис. 1.5).

НУБІП України

НУБІП України

НУ



України

НУВІП України

Рис. 1.5. Поршень з алюмінієвого сплаву зі змійовиком

Охолодження за допомогою змійовика гарантує задовільну роботу поршня з алюмінієво-нікелевого сплаву діаметром $D = 500$ мм до тиску 1,4-1,5 МПа.

НУВІП України

Ефективність охолодження залежить від коефіцієнта тепловіддачі, площі поверхні омитої маслом трубки, термічного опору трубки і площі контакту між нею і матеріалом поршня. Високі значення коефіцієнта тепловіддачі α/M для оливи

НУВІП України

відповідають високим швидкостям руху оливи і вищим температурам. Останнє пов'язане зі зменшенням в'язкості мастила, що охолоджує, і, отже, настанням турбулентного режиму течії при менших швидкостях потоку в змійовику.

Наприклад, для змійовика діаметром 10 мм і середньою температурою масла $T_{msr} = 80$ °C рекомендується, щоб швидкість масла в змійовику була не менше 6 м/с; при

НУВІП України

збільшенні T_{msr} до 120 °C швидкість потоку може бути знижена до 2 м/с. До

недоліків цього способу охолодження можна віднести технологічні труднощі, пов'язані з забезпеченням якісного з'єднання матеріалу трубки з матеріалом поршня під час формування і, що більш важливо, підтримання надійного контакту

під час тривалої роботи поршня в двигуні в умовах змінних теплових і механічних навантажень.

НУВІП України

Робочі характеристики поршня значною мірою визначаються рівнем температури матеріалу в ряді характерних ділянок поршня. Для поршнів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, максимальна температура у верхній канавці

поршня при використанні звичайних оливи не повинна перевищувати 200-220°C

НУВІП України

(240-250°C при використанні оливи зі спеціальними присадками). Максимальна температура на поверхні днища поршня з алюмінієвого сплаву не повинна

перевищувати 350°C . У двигунах, які працюють надійно, температури в цих точках нижчі.

Найпростіше знизити температуру в зоні навколо першого компресійного кільця, збільшивши висоту теплового пояса до $0,2 D$, зменшивши відстань між тепловим поясом і гільзою циліндра, зробивши перехід до виступів більш товстим і залити вставку у верхнє кільце, поверхню контакту якого з матеріалом поршня є тепловим бар'єром. Однак можна підтримувати зазначені температури поршня на прийнятному рівні під час безперервної роботи двигуна на паливі при досить інтенсивному охолодженні. З цією метою в форсованих двигунах застосовують інерційне масляне охолодження поршнів.

На рис. 1.6 показано температуру поршня форсованого дизельного двигуна СНН 40/46 в зоні першої компресійної канавки при різних способах охолодження.

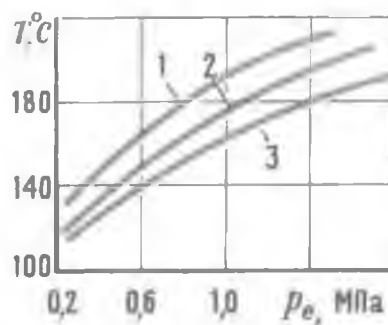


Рис. 1.6 . Температура поршня в зоні першого компресійного кільця при різних способах охолодження:

- 1 - неохолодженого ;
- 2 - з циркуляційним масляним охолодженням ;
- 3 - з охолодженням збовтуваною оливою.

Найбільший ефект від охолодження збовтуваною оливою досяг приблизно при 50%-нім заповненні оливою порожнини охолодження. Інерційне охолодження здійснюють у поршнях різної конструкції. При помірних рівнях форсування і діаметрах циліндра орієнтовно до 250 мм застосовують поршні з кільцевої охолоджуючої порожнини як литих, так і штампованих конструкцій. Штампованні поршні з охолоджуваної порожниною виготовляють з кільцевої заготовки з

проточеною порожниною і штампованого корпусу, що з'єднуються електронно-променевою зварюванням у вакуумі. Вставку для кільця попередньо заливають у кільцеву заготовку. Слід зазначити, що насправді існує комбінація інерційного охолодження з елементами циркуляційного.

Застосовуються також литі поршні з алюмінієвого сплаву з кільцевими порожнинами охолодження, одержуваними за допомогою соляних розчинних стрижнів (рис. 1.7).

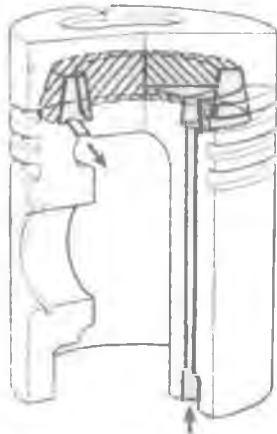


Рис. 1.7. Схема охолодження поршня з кільцевою порожниною

Для охолодження поршня олива подається через форсунку в картері. Цей спосіб подачі мастила особливо підходить для двигунів з підвищеною частотою обертання колінчастого вала (приблизно $n > 2000$ об/хв), де змащення елементів колінчастого вала значно погіршується через інерцію. Форсунка повинна бути надійно закріплена, щоб забезпечити більшу подачу мастила в порожнину охолодження поршня. Прийнятна кількість мастила, що потрапляє в порожнину охолодження, становить приблизно 80 відсотків від загального потоку мастила, що проходить через форсунку.

Композитний поршень має нижчу температуру поблизу першої кільцевої канавки. Ця конструкція в даний час вважається найбільш придатною для вимог, що пред'являються до поршнів у важких дизельних двигунах. Шток поршня виготовляється зі штампованого алюмінієвого сплаву, а головка - з досить жароміцного матеріалу, наприклад, чавуну з кульястим графітом або, частіше,

легованої сталі. У двигуні 16 СНН 48 / 58 завдяки зменшенню товщині сталеві головки поршня температура в районі першої кільцевої канавки знизилася на 40°C. На рис. 1.8 показано схематичну конструкцію поршнів: суцільнометалевого (рис. 1.8, б) і композитного (рис. 1.8, а). Там же показані приблизні геометричні співвідношення, рекомендовані Мале.

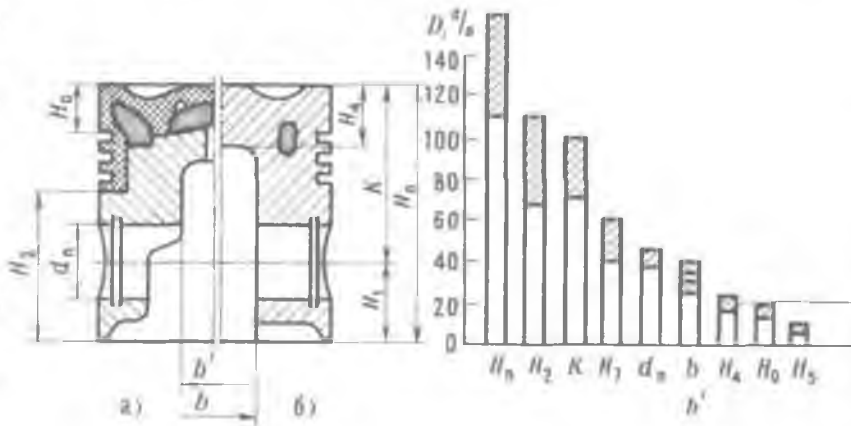


Рис.1.8 . Відносні геометричні розміри основних елементів поршнів форсованих дизелів.

Внаслідок інтенсифікації охолодження збільшуються не вимушені витрати теплоти в систему охолодження двигунів . Крім того, неминуче збільшення поверхні масляних радіаторів двигуна , що не завжди прийнятно з точки зору компоновання енергоустановки в цілому. У цьому випадку для забезпечення надійної роботи застосовують складені поршні (рис. 1.9), в конструкції яких використовують теплову ізоляцію з між головкою і тронковою частиною. Температура головки або жарової накладки може бути дуже висока і наближатися до середньої результуючої температури $T_{рез}$ газу по тепловіддачі .

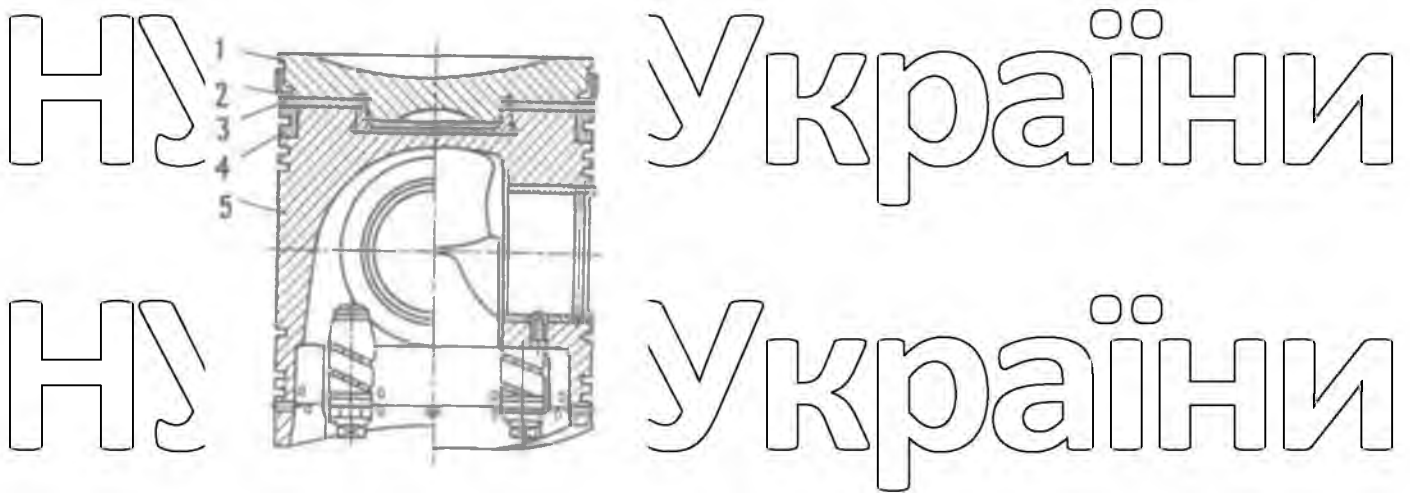


Рис.1.9 . Поршень з жароміцної накладкою і нерозрізаними жаровими кільцями.

Тому головка поршня повинна бути виготовлена з високолегованих сталей або жароміцних сплавів. Слід зазначити, що з підвищенням температури стінок камери згоряння зменшується жорсткість процесу згоряння і тепловий потік від газу до стінок.

Крім перерахованих вище конструкцій, які набули широкого поширення, існують деякі унікальні конструкції, які поки що використовуються в обмеженому обсязі. До них відносяться поршні в потужних дизельних двигунах з поворотними механізмами і шариковідшипниками, а також комбіновані поршні, які забезпечують змінний ступінь стиснення двигуна під час роботи.

Поршневий вузол утворює рухоми стінку порожнини двигуна. Він складається з поршня, поршневих кілець, поршневого пальця і кріпильних деталей.

Визначаючи ущільнення робочої порожнини і значною мірою визначаючи втрати на тертя, конструкція і технічний стан поршневої групи мають вирішальний вплив на ефективність і довговічність роботи двигуна.

Поршень сприймає силу тиску газів і передає її на шатун через поршневий палець. Поршень також є бігунком, який забезпечує рух верхньої головки шатуна

по прямій лінії.

Поршні в сучасних двигунах працюють в надзвичайно складних умовах, які характеризуються

- Вплив високого тиску газу;
- контактом з гарячою робочою рідиною;
- Рухом зі змінною швидкістю і напрямком.

Вплив сили тиску має яскраво виражений динамічний характер. Газові навантаження викликають значні напруження в матеріалі поршня і призводять до високих питомих тисків на робочих поверхнях, що контактують з іншими деталями.

Безпосередній контакт з гарячими газами в умовах високого тиску та інтенсивної турбулентності призводить до значної тепловіддачі поршня. В результаті нижня частина поршня отримує 10...30 відсотків тепла, що відводиться від робочої рідини в систему охолодження, і нагрівається до 300...320°C в центральній частині.

Особливо висока тепловіддача в нижній частині дизельних двигунів, де через нерівномірну мікроструктуру заряду під час згоряння можливе значне локальне підвищення температури і, як наслідок, локальний перегрів.

Крім того, нагрівання і окислення крапель дизельного палива відбувається значною мірою за відсутності кисню. За таких умов внаслідок розтріскування крапель утворюються частинки вуглецю - сажа, а полум'я характеризується значним потемнінням і збільшенням радіаційного випромінювання. З цих причин певні

ділянки поршнів дизельних двигунів можуть нагріватися більше, ніж поршні карбюраторних двигунів, навіть якщо вони контактують з газами з нижчою середньою температурою.

Нагрівання поршнів небезпечно головним чином через можливу втрату рухливості поршнів - "заклинювання" - внаслідок значного теплового розширення. Крім того, підвищення температури поршня обмежується коксуванням мастила в зоні поршневого кільця і зниженням міцності матеріалу.

Рух поршня під дією газових і інерційних навантажень супроводжується підвищеним тертям і значним зносом. Найбільший знос зазвичай відбувається на торцях канавок поршневих кілець, на бічних поверхнях поршня і в отворах під поршневі пальці. Знос бічних поверхонь поршня в основному викликаний бічною силою P_N , яка по черзі притискає поршень до протилежних стінок циліндра.

Відповідальні функції і надзвичайно складні умови експлуатації диктують жорсткі вимоги до конструкції поршня.

Поршень в сучасному двигуні повинен мати наступні характеристики

- Мати достатню міцність і жорсткість при мінімальній масі;
- Забезпечувати високий ступінь герметичності в робочій порожнині;
- Переміщатися всередині циліндра з мінімальним тертям, не втрачаючи рухливості при нагріванні і без ударів і поштовхів в холодному стані;
- Перешкоджають закачуванню надлишку оливи в камеру згоряння;
- Мають високу довговічність;
- Мати прийнятні температури біля основи, в області поршневого кільця і в юбці.

Найбільшим викликом при проектуванні поршнів є виконання суперечливих вимог щодо забезпечення герметизації робочої порожнини, що означає мінімальні зазори між поршневою юбкою і поршнем у широкому діапазоні робочих температур.

2 АНАЛІЗ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПОРШНІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

НУБІП України

2.1 Умови експлуатації поршнів.

Крім механічних навантажень, зумовлених тиском газів і гальмівною силою, поршень зазнає високих теплових навантажень при безпосередньому контакті з гарячими газами під час згоряння палива і розширення продуктів згоряння. Крім того, поршень нагрівається через тертя об стінки циліндра. При перегріванні поршня погіршуються механічні властивості матеріалу, з якого він виготовлений, і збільшуються теплові напруги в ньому. Це також зменшує наповнення циліндра свіжим зарядом, що призводить до зниження потужності двигуна, можливого заклинювання поршня в циліндрі, погіршення ущільнювального кільця і, в двигунах із зовнішнім сумішоутворенням, до передчасного займання або вибухового згоряння.

Компресійні кільця працюють в дуже жорстких умовах, рухаючись вперед і назад при високих навантаженнях, швидкостях ковзання і температурах. Поршневі кільця нагріваються при контакті з гарячими газами і нагрітими стінками поршня, а також через тертя об стінки циліндра. На роботу тертя поршневих кілець припадає близько 40-50% механічних втраг у двигуні.

2.2 Будова та технічні характеристики поршня

Поршні, що використовуються в двигунах внутрішнього згоряння, повинні мати високу теплопровідність і зносостійкість, достатню міцність і жорсткість, а також якомога меншу вагу для зменшення інерційних сил. Крім відповідності цим вимогам, конструкція поршня повинна забезпечувати вільне переміщення в циліндрі і, в той же час, достатню герметичність, щоб запобігти потраплянню газу з камери згоряння в картер і масла з картера в робочу порожнину циліндра.

Поршень має чашоподібну форму, контури і основа якої визначають форму камери згоряння. Основа поглинає тиск газів і тому повинна бути досить міцною.

НУБІП України

Зовнішня поверхня верхньої циліндричної частини поршня має канавки для поршневих кілець, які ущільнюють циліндр від потрапляння газів і масла з картера в камеру згоряння. Нижня частина поверхні поршня виконує роль направляючої.

Верхню частину поршня зазвичай називають головкою поршня, а направляючу (тронку) - спідницею. Внутрішня поверхня спідниці поршня має виступи з отворами для встановлення поршневого пальця. На юбку поршня діє нормальна сила.

Для виготовлення поршня використовують чавун, алюмінієві та магнієві сплави, а також сталь. Більшість поршнів виготовляються з чавуну та алюмінієвих сплавів.

Чавунні поршні характеризуються високою міцністю і зносостійкістю, а також низьким коефіцієнтом лінійного розширення, але вони важкі.

Поршні з алюмінієвих сплавів мають нижчу міцність і зносостійкість, але набагато легші за чавунні і використовуються у високошвидкісних двигунах. Поршні з алюмінієвих сплавів на 25-30% легші за чавунні, незважаючи на велику товщину стінок (для досягнення необхідної міцності). Теплопровідність алюмінієвих сплавів в 3-4 рази вища, ніж у чавуну, тому базова температура поршнів з алюмінієвих сплавів нижча, ніж у чавунних поршнів. Це призводить до нижчої температури заряду, кращого наповнення циліндрів і вищого ступеня стиснення в двигунах зовнішнього згоряння. Нижчий коефіцієнт тертя алюмінієвих сплавів зменшує потужність, необхідну для подолання тертя, спричиненого поршнями в циліндрі [5].

Основним недоліком алюмінієвих сплавів є їх відносно високий коефіцієнт лінійного розширення (у 2-2,5 рази вищий, ніж у чавуну), тому поршні, виготовлені з цих сплавів, повинні встановлюватися в циліндри з великими зазорами. Великі зазори ускладнюють запуск двигуна і викликають деренчання, коли двигун не прогрітий і працює з невеликим навантаженням.

Головка поршня найбільше нагрівається під час роботи двигуна. З цієї причини її діаметр зазвичай трохи менший за діаметр фланця. Для підвищення

зносоустійкості стінки поршнів з алюмінієвих сплавів і чавунних поршнів зазвичай покривають шаром олова товщиною приблизно 0,01-0,1 мм [5].

Рідинне охолодження поршнів застосовують тоді, коли теплопровідність стінок циліндра недостатня і не вдається підтримувати допустиму температуру поршневої головки під час роботи двигуна. Зазвичай це відбувається в двигунах з великим діаметром циліндрів і в високооборотних двигунах з прискорювачами. У більшості випадків поршні охолоджуються маслом. У нижній частині поршня вирізається порожнина, в яку закачується охолоджуюча рідина.

Компресійне кільце має бути щільно притиснуте до внутрішньої поверхні циліндра. Для цього поршневе кільце виготовляється у вигляді роз'ємного кільця з вільним діаметром трохи більшим, ніж діаметр циліндра, а радіус кривизни поршневого кільця у вільному просторі повинен бути змінним. Коли поршневе кільце стискається і проштовхується в циліндр, воно набуває циліндричної форми і чинить на стінку тиск не менше 0,05-0,30 МПа. Під час роботи пристінний тиск поршневого кільця збільшується, оскільки гази, що проходять через зазори між поршнем і поршнем, притискають поршневе кільце до стінок циліндра [5].

На поршні ставиться кілька компресійних кілець. На рис. 2.1,а показана схема їх ущільнюючої дії. Досвідчені дані свідчать про те, що за наявності трьох компресійних кілець на поршні тиск p_3 після третього кільця становить лише 7-8 % тиску p_2 в циліндрі. Кількість газів, що прориваються в робочій порожнині в картер, залежить від тиску газів в циліндрі і часу, протягом якого відбувається робочий хід, тобто від швидкохідності двигуна.

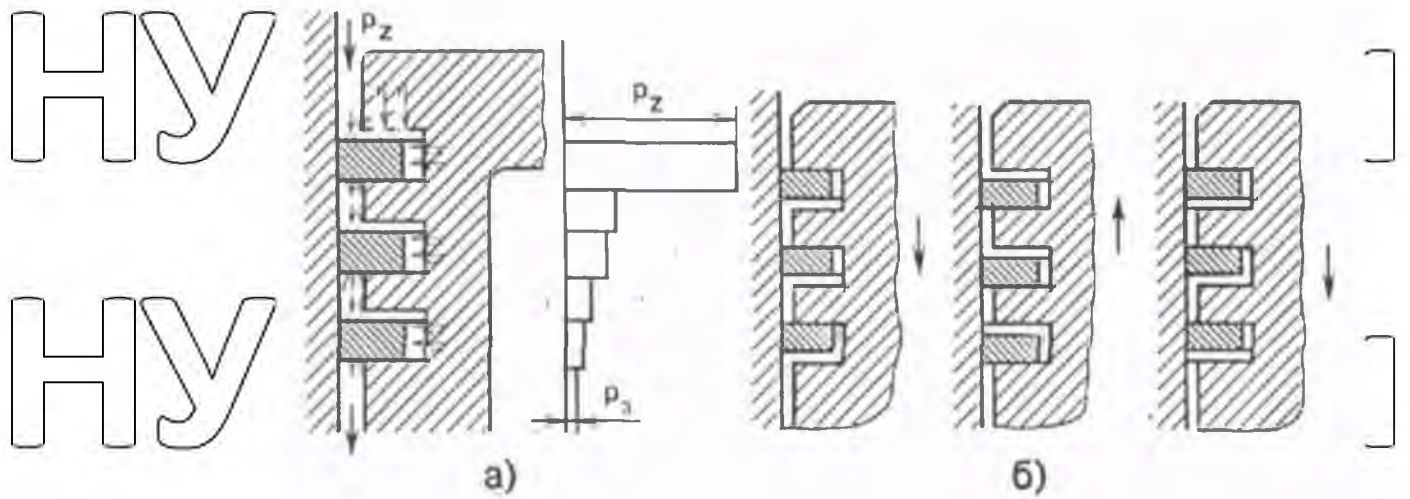


Рис. 2.1 - Різна дія компресійних кілець.

а - ущільнює; б - насосне

Для виготовлення компресійних кілець застосовується сірий чавун з підвищеним вмістом фосфору і з присадками хрому, нікелю або молібдену, що додають матеріалу кілля необхідну міцність, в'язкість і хороші антифрикційні властивості. Для кращої підробітки кілля і підвищення його зносостійкості на нього наносять різні покриття з олова або свинцю, ще для підвищення зносостійкості застосовують пористе хромування і т. п. Кільця найчастіше виготовляють прямокутного перерізу з різним ставленням висоти кілля до радіальної товщини. Розріз кілля або так званий замок може бути прямим, косим або ступінчастим. При надяганні кілець на поршень замки у окремих кілцях зміщують один щодо іншого на 120-180°.

Частина потрапившого на стінку циліндра мастила в результаті так званої насосної дії компресійних кілець вичавнюється в камеру згорання і викликає не тільки зайві витрати мастильного матеріалу, але і підвищений нагароутворення, а також закоксування, особливо верхніх кілець. Насосну дію компресійних кілець показано на рис. 2.1, б. Під час руху поршня вниз кільця притискаються до верхніх торців поршневих канавок, і олива зі стінок циліндра надходить у нижні торцеві зазори. При зворотньому русі поршня кільця переміщуються в канавках і

видавлюють мастило через радіальний зазор в верхній торцевий зазор і далі в простір над кільцями.

НУБІП УКРАЇНИ

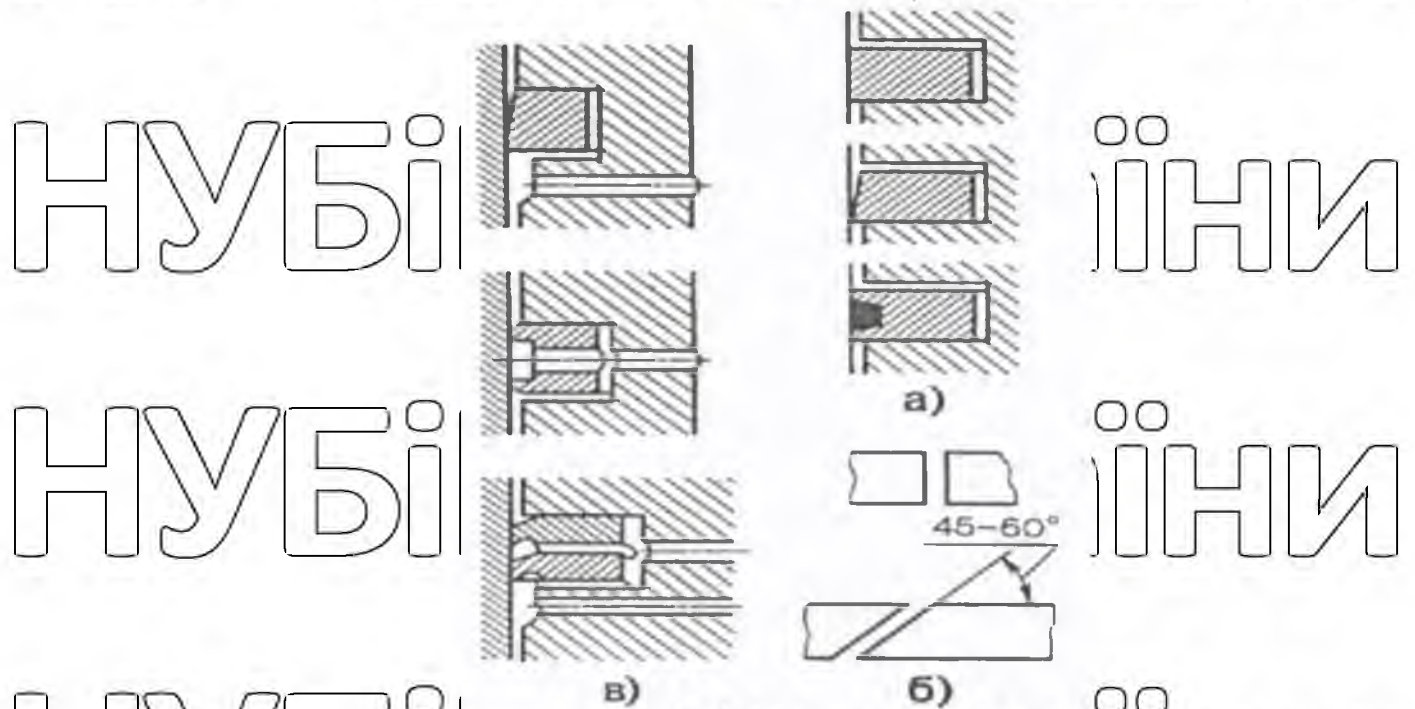


Рис. 2.2 - Форма поршневих кілець.

а - компресійні кільця; б - замки; в - маслоз'ємні кільця

НУБІП УКРАЇНИ

На поршні встановлюють одно - два - три маслоз'ємних кільця. Їх розташовують на кінці направляючої частини (стінки) поршня і на його голівці нижче компресійних кілець.

Для скидання оливи з дзеркала гільзи зовнішню поверхню кільця роблять конічною або з фаскою, зверненою в бік камери згоряння.

При русі вгору кільця «спливають» на масляному шарі, при русі вниз гостра кромка зскрібає оливу. Для видалення оливи, що збирається під кромкою, в стінці поршня просвердлюють радіальні отвори. Часто в маслоз'ємних кільцях роблять також канавки з отворами. Форма компресійних і маслоз'ємних кілець показана на

рис. 2.2

НУБІП УКРАЇНИ

3 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ЗНОСУ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНІВ

3.1 Умови роботи, що призводять до зношування робочих поверхонь поршня.

У функціонуючій машині поряд з робочими процесами виникають і розвиваються різні шкідливі руйнівні процеси, які призводять до зниження рівня робочих процесів і погіршення техніко-функціональних характеристик машини. Робочі процеси машини відбуваються під час її експлуатації, тоді як шкідливі процеси відбуваються протягом усього часу її існування.

До таких процесів відносяться зношування робочих поверхонь деталей, зокрема металу, вібрації вузлів і механізмів, внутрішні напруження в деталях, різні види корозії, старіння тощо. Несприятливі процеси можуть виникати як під впливом несправностей самої машини, наприклад, неврівноваженість обертових мас, порушення взаємного розташування частин вузлів і механізмів, недотримання тривалості старіння або нестаріння литих заготовок рамних деталей тощо, так і під впливом зовнішніх умов - відмова системи навантаження, температурні впливи навколишнього середовища тощо. Несприятливі процеси за швидкістю протікання поділяються на три категорії: швидкі, середні та повільні. До швидких процесів

відносяться вібрація деталей, зміна сил тертя в рухомих з'єднаннях, коливання робочого навантаження та інші подібні процеси, які впливають на взаємне розташування деталей і вузлів і спотворюють цикл роботи машини. На відміну від швидких процесів, де частота змін вимірюється частками секунди, повільні процеси можуть тривати дні або місяці. До таких процесів належать зношування деталей, зокрема металу, корозія тощо.

Середньошвидкісні процеси - це кліматичні умови експлуатації відносної температури і вологості навколишнього середовища і машини, тривалість зміни яких може вимірюватися хвилинами і годинами.

На швидкість протікання шкідливих процесів впливає "зворотний зв'язок" між станом самої машини і шкідливими процесами. Наприклад, знос робочих

поверхонь рухомих деталей призводить до зростання зазорів, що в ряді випадків викликає збільшення динамічних напружень та інтенсивності зношування.

Внутрішні напруження в литих корпусних деталях, таких як блоки циліндрів, які не піддаються старінню, викликають деформацію блоку і перекіс гнізд корінних підшипників, збільшуючи швидкість зносу деталей кривошипно-шатунного механізму і підвищуючи ймовірність спотворення геометричної форми деталей.

Повністю усунути ці шкідливі процеси неможливо. Однак можна і потрібно уповільнити інтенсивність їх протікання. Під час експлуатації це досягається проведенням технічного обслуговування і поточних ремонтів. В результаті

покршується безперебійність робочих процесів, знижується рівень шкідливих процесів і їх виникнення знаходиться в допустимих межах.

Для того, щоб контролювати шкідливі процеси і зменшити їх негативний вплив на продуктивність автомобіля або трактора, необхідно враховувати природу фізичних явищ, пов'язаних з цими процесами.

Деталі циліндро-поршневої групи (ЦПГ) піддаються зворотному тертю, високим тепловим і механічним навантаженням, абразивним і агресивним середовищам і нестачі мастила, які сприяють руйнуванню і зносу захисних плівок-сепараторів, головним чином, через деградацію адгезії. Залежно від властивостей

матеріалу і умов тертя, цей тип зносу може відбуватися на субмікро-, мікро- і макрорівнях з різною інтенсивністю і, в крайньому випадку, може призвести до катастрофічних подряпин.

Теплове навантаження на поршень. Під час роботи двигуна теплообмін не є постійним, і теплове навантаження розподіляється дуже нерівномірно між компонентами. Якщо визначити тепло, що передається під час окремих тактів циклу, то виявиться, що найбільше тепла передається під час такту розширення (удару) - до 90%. У більшості випадків частка теплопередачі під час шоку випуску

н

е Різка зміна середніх теплових навантажень у часі в результаті розгону, навантаження, розвантаження і зупинки двигуна називається тепловим ударом.

н

е

р

е

Характер і частота теплових ударів впливають на надійність компонентів дизельного двигуна.

Тепловий стан компонентів впливає на механічні властивості матеріалів, з яких вони виготовлені, інтенсивність прогинів компонентів, їх змащування, тертя, знос і напруження компонентів. Прикладом впливу температури на інтенсивність прогинів є залежність коксових відкладень від відповідних значень локальної температури деталей, особливо в поршні (особливо його верхньої частини і кільцевих канавок). Досвід показує, що для того, щоб коксові відкладення не

погіршували рухливість шини в канавці, температура біля верхньої кільцевої

канавки не повинна перевищувати 240 °С. Це значення слід розглядати як орієнтовне, оскільки інтенсивність відкладення залежить не тільки від температури, але й від конструкції компонентів, інших умов експлуатації та якості

матеріалів (в тому числі паливно-мастильних матеріалів), Залежно від властивостей

матеріалу і умов тертя, цей тип зносу може відбуватися на субмікро-, мікро- і макрорівнях з різною інтенсивністю і, в крайньому випадку, може призвести до катастрофічного задирка.

Теплове навантаження на поршень. Під час роботи двигуна теплообмін не є постійним, і теплове навантаження дуже нерівномірно розподіляється між

компонентами. Якщо визначити тепло, що передається під час різних тактів циклу, то виявиться, що найбільше тепла передається під час такту розширення (ударного), до 90%. У більшості випадків частка теплопередачі під час такту випуску не перевищує 10% [6] .

Різка зміна середніх теплових навантажень у часі в результаті розгону, зарядки, розвантаження і зупинки двигуна відома як тепловий удар. Характер і частота теплових ударів впливає на надійність компонентів дизельного двигуна.

Тепловий стан компонентів впливає на механічні властивості матеріалів, з яких вони виготовлені, інтенсивність деформацій компонентів, змащування

компонентів, тертя, знос і напруження компонентів. Прикладом впливу температури на інтенсивність деформації є залежність коксових відкладень від відповідних значень локальної температури деталей, особливо в поршні (особливо

в його верхній частині і в канавках поршневих кілець). Досвід показав, що для того, щоб уникнути коксових відкладень, які погіршують рухливість шини в канавці, температура біля верхньої канавки кільця не повинна перевищувати 240°C . Це значення слід розглядати як орієнтовне, оскільки інтенсивність відкладень залежить не тільки від температури, але й від структури деталей, інших умов експлуатації, якості матеріалів (в тому числі падивно-мастильних матеріалів) і методів обробки деталей.

На основі досвіду експлуатації двигунів відомі максимально допустимі значення температури для деталей головки блоку циліндрів. Наприклад, максимальна температура поршня з алюмінієвого сплаву становить 350°C , а максимальна температура гільзи циліндра - $160-180^{\circ}\text{C}$ [7].

Ще однією важливою функцією поршневих кілець є передача тепла від поршня до головки блоку циліндрів. Зі збільшенням потужності двигунів з точки зору середнього ефективного тиску, збільшення потужності та частоти обертання колінчастого валу, зменшення теплового навантаження на поршень набуває все більшого значення. Для забезпечення нормальної роботи поршня температура повинна бути нижче допустимої поздовжньої температури для матеріалу. Максимально допустима температура на кромці поршневого вінця для алюмінієвого матеріалу становить $300-350^{\circ}\text{C}$, для чавуну - $500-550^{\circ}\text{C}$, а для сталі - $600-650^{\circ}\text{C}$. Для забезпечення заданого ресурсу двигуна температура поршня з алюмінієвого сплаву в районі першого поршневого кільця не повинна перевищувати $220-230^{\circ}\text{C}$ для олів груп В і G [8].

Сьогодні в двигунах внутрішнього згорання з примусовою індукцією все частіше використовується охолодження поршневої олівки. У цьому випадку тепло відводиться в наступних напрямках: до масла, що охолоджує поршень, через поршневі кільця, до втулки і через спідницю до втулки. Поршні охолоджуються розбризкуванням, рециркуляційним охолодженням і перемішуванням масла в галереї поршневих коронок. Останній метод є найбільш ефективним.

У неохолоджених поршнях кільця відводять 50-80% тепла, що поглинається поршнями [8, 9, 10].

На рисунку 3.1 показано експериментально отримане температурне поле неохолодженого поршня при роботі двигуна 8СН 13/14 на номінальній потужності за даними [8].

Із загальної кількості тепла, що підводиться до поршня, лише 0,8 % відводиться з внутрішньої поверхні неохолодженого поршня, а 49,1 % - через поршневі кільця. З тепла, що поглинається поршнем, 30,9 % поглинається верхнім кільцем, 12,9 % - другим кільцем і 5,2% - третім кільцем. Бічні поверхні третього кільця, що контактують зі стінкою циліндра, відводять 43,4 % тепла, а юбка поршня - 26,8 %. Коли поршень охолоджується маслом, температурні складові поршня значно змінюються, і значна частина тепла відводиться охолоджуючим маслом [9].

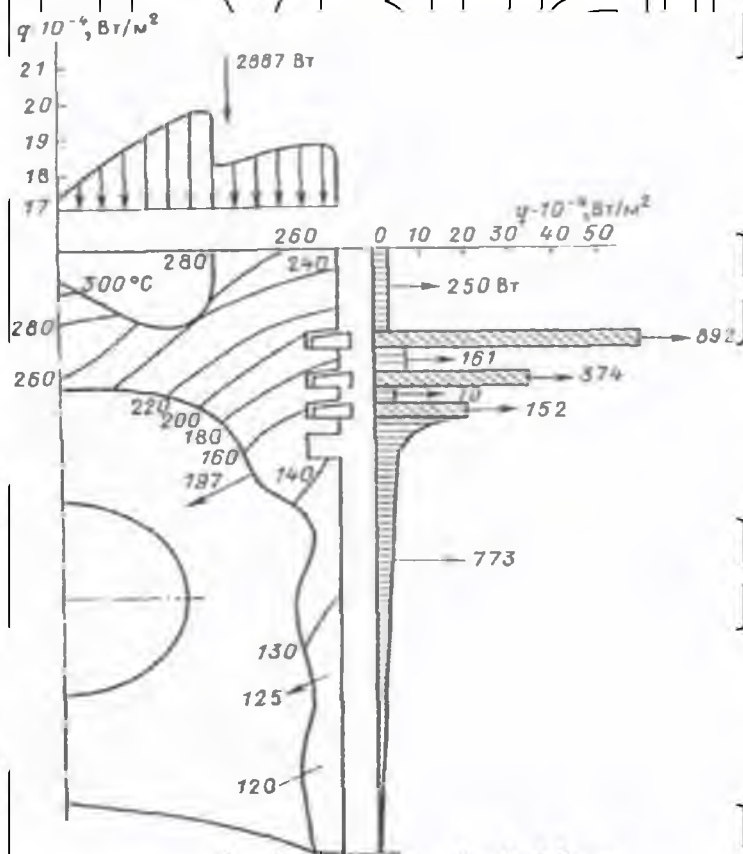


Рис. 3.1 - Поле температур поршня двигуна типу Ч 13 / 14 .

Дані теплового балансу в літературі суперечливі. Теплопередача через кільця в значній мірі визначається термічним опором в зоні контакту між кільцем і поршнем і термічним опором масляного клину в просторі між кільцем і рідзою циліндра. Термічний опір контакту між поршневім кільцем і кільцем залежить від

сил, що діють на кільце, матеріалу пари і різних технологічних факторів: чистоти контактних поверхонь, відхилень геометричної форми поршневого кільця, гільзи і канавки. Його можна визначити за допомогою залежності, запропонованої в роботі

Термічний опір масляного клину на робочій поверхні кільця канавки гільзи залежить в основному від товщини масляної плівки, яка змінюється по ходу поршня, властивостей мастила, конфігурації робочої поверхні кільця і сил, що діють на кільце. Аналітичний метод оцінки термічного опору масляного клину був розроблений в Луганську і описаний в роботі [9]. Запропонований метод неодноразово перевірявся експериментально шляхом термометрії деталей ЦПГ.

Як показали дослідження різних авторів, кількість і розташування кілець у поршні в першу чергу пов'язані з необхідністю забезпечення відводу тепла від поршня, а не з функцією ущільнення камери згоряння. Останнім часом деякі дослідники відзначають можливість зниження температури поршня в зоні поршневих кілець шляхом підбору відповідного діаметру поршневих перемичок між кільцями. Таким чином, не змінюючи конструкцію, конфігурацію і розташування поршневого вузла, просто змінюючи діаметр першого містка, можна, наприклад, для двигуна Ч13/14, знизити температуру в зоні першого поршневого кільця на 10-15%.

3.2 Умови тертя, змашування та зношування

Деталі автомобілів і тракторів працюють в різних умовах тертя і змащення.

Залежно від стану поверхонь тертя і наявності мастила між ними розрізняють наступні види тертя згідно з ГОСТ 27674-88, ДСТУ2823-94.

Тертя може бути внутрішнім або зовнішнім. Для вивчення процесів зношування необхідно використовувати зовнішнє тертя, враховуючи внутрішнє тертя, наприклад, в'язкість мастильного матеріалу. Всі ці види тертя виникають в місцях з'єднання деталей автомобіля.

Зовнішнє тертя поділяється на три види

- 1) за наявністю або відсутністю мастила;
- 2) за наявністю відносного руху (тертя спокою, тертя внаслідок зношування)

3) за характером відносного руху (тертя ковзання, тертя кочення).

Процес розділення поверхонь, що контактують, за допомогою мастильного матеріалу з метою зменшення сили тертя і зниження зносу називається змащуванням, а подача мастильного матеріалу до потрібного вузла - системою змащування.

За типом розділення поверхонь тертя мастильним матеріалом і станом самого мастильного матеріалу розрізняють наступні види змащування:

- 1) граничне ;
- 2) напіврідинне
- 3) гідродинамічне.

В даний час загальноприйнято вважати, що гідродинамічний режим мастила підтримується протягом більшої частини ходу поршня.

Гідродинамічний режим визначається товщиною масляної плівки між кільцем і циліндричною втулкою та швидкістю поршня. Критичний стан масляної плівки може виникнути в мертвих точках руху поршня. Особливо це стосується ВМТ на початку такту розширення, коли тиск і температура максимальні, а в'язкість оливи зменшується. За цих умов товщина масляної плівки порівнянна з висотою мікронерівностей робочої поверхні кільця і гільзи, і може виникнути фрикційний моментний контакт.

Кілька досліджень виявили вплив кількості мастила на силу тертя. Ці дослідження показали, що коли об'єм перевищує певне мінімальне значення, кількість мастила не впливає на силу тертя, а мастила, що подається розпиленням, достатньо для забезпечення гідродинамічного тертя поршневої групи [11] .

Тертя з мастилом в умовах граничного змащування характеризується товщиною мастильної плівки. Поки цей шар менше 0,1 мкм, в'язкі властивості мастила не проявляються.

Підвищена міцність граничної плівки зберігається лише до тиску не більше 1 МПа. Крім явища стирання поверхні мастильної плівки порівнянна з висотою мікронерівностей робочої поверхні кільця і гільзи, і може відбуватися контактування пари тертя .

В результаті численних досліджень виявлено вплив кількості мастила на силу тертя. Ці дослідження показали, що при обсязі більше деякої мінімальної величини кількість мастила не впливає на силу тертя, а мастило, що подається шляхом розбризкування, достатньо для забезпечення гідродинамічного тертя поршневої групи [11].

При компресії h під $0,1$ мкм проявляються об'ємні або в'язкісні властивості мастильного матеріалу, які і визначають коефіцієнт тертя гідродинамічного мастила. Мастильний матеріал, струснутий в зазор, забезпечує надійний поділ поверхонь тертя [13].

Загальна картина взаємодії поверхонь тертя деталей - діаграма Герш-Штрібена показана на малюнку 3.2.

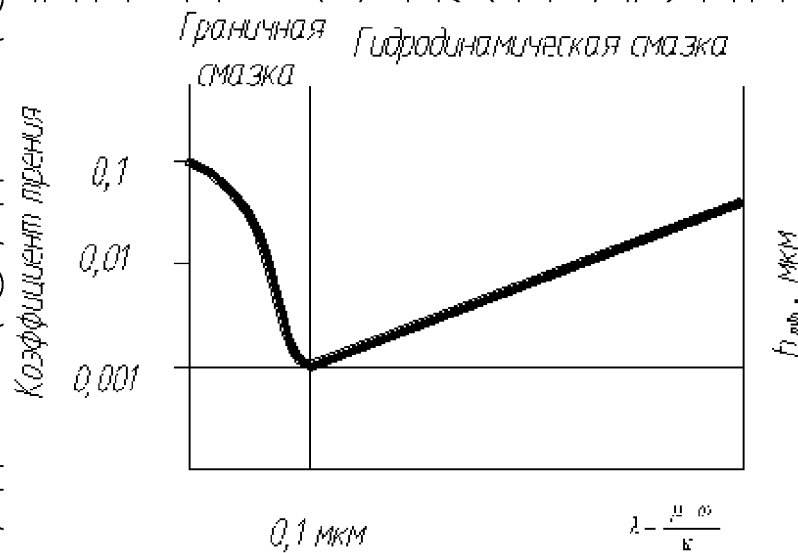


Рис. 3.2. Діаграма Герш-Штрібена.

В результаті порушення мащення настає процес зношування. Зношування - відділення матеріалу з поверхні твердого тіла і збільшення його залишкової деформації при терті, проявляється в поступовій зміні розмірів і форми тіла. Результат зношування, що визначається у встановлених одиницях називається зносом. Цими одиницями можуть бути одиниці довжини, маси, об'єму. В одиницях довжини зручно встановлювати знос всіх реальних деталей в умовах експлуатації. В одиницях маси величину зносу оцінюють в лабораторних умовах на зразках (машинах тертя) [14].

Зношування характеризується швидкістю зношування і узагальнено має залежність, як показано на рисунку 3.3.

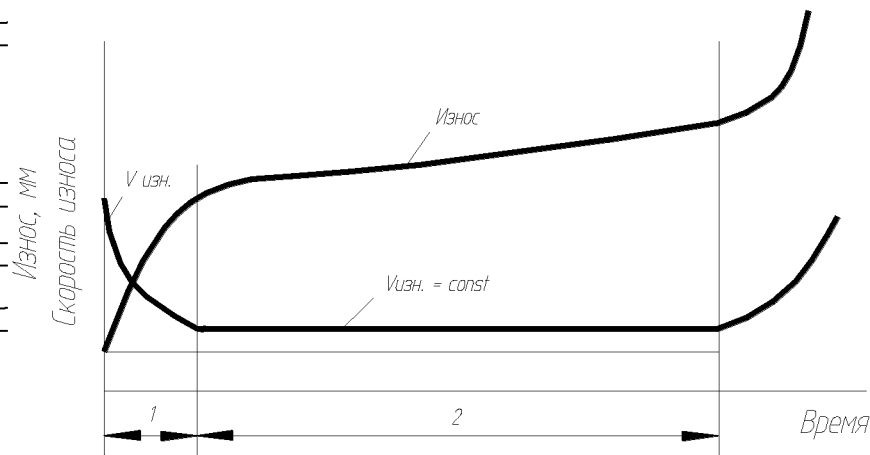


Рис. 3.3 Залежність зносу і швидкості зносу від часу.

Перший період - інтенсивність зношування зростає до кінця періоду приробітки, потім починає монотонно зростати з постійною швидкістю (період приробітки). Другий період - період нормальної експлуатації. Кінець другого періоду - різке зростання зношування деталей.

Норми граничного стану робочих поверхонь зафіксовані в ТУ на капітальний ремонт кожного автомобіля.

Види зношування. Процес зношування деталей супроводжується складними фізико-хімічними явищами і різноманітним впливом на нього факторів. Залежно від матеріалу і якості поверхні зв'язаних деталей, характеру контакту, навантаження, швидкості відносного переміщення та ін процес зношування протікає різноманітним чином.

За своєю природою і механізмом абразивне зношування подібне до явищ, що відбуваються при різанні металів, але відрізняється від останніх специфічними характеристиками: геометрією абразивних частинок і малим поперечним перерізом стружки. Абразивне зношування дуже поширене при терті деталей машин, особливо тих, що працюють в абразивному середовищі (сільськогосподарські, дорожні та будівельні машини), а також при терті деталей, відновлених різними методами нанесення покриттів, металізації, хромування та прасування [15].

Під час втомного зношування деталей тертя відбуваються мікропластичні деформації стиску і зміцнення поверхневих шарів металу. В результаті зміцнення виникають залишкові напруження стиску. Багаторазово повторювані навантаження, що перевищують межу текучості металу при терті кочення, викликають явища втоми, які руйнують поверхневі шари. Руйнування поверхневих шарів відбувається за рахунок мікро- і макроскопічних тріщин, які в процесі роботи переростають в окремі і групові западини і каверни. Глибина тріщин і западин залежить від механічних властивостей металу заготовки, величини питомих тисків в контакті і розмірів контактних поверхонь [17].

Гідрогазоабразивне зношування відбувається в результаті впливу твердих частинок, захоплених потоком рідини. Тверді частинки потрапляють в потік рідини в результаті забруднення пилом і продуктами зносу, що містяться в повітрі. Абразивний знос гідрогазом деталей паливних, масляних і водяних насосів, гідроприводів гальмівних систем і гідродвигунів зазвичай відбувається разом з ерозійним зносом під дією потоку рідини. Тертя потоку рідини об метал призводить до руйнування оксидної плівки, що утворюється на поверхні деталі, і сприяє корозійному руйнуванню матеріалу, особливо під впливом абразивних частинок і мікроударів у разі кавітації. Абразивне зношування під дією гідрогазу відбувається в результаті впливу твердих частинок, захоплених газовим потоком [

Механічне корозійне зношування - це зношування в результаті одночасної механічної дії та молекулярних або атомних сил. Цей вид зносу включає в себе викришування в результаті задирів, глибокого розриву матеріалу, його перенесення

з однієї поверхні тертя на іншу і вплив нерівностей, що утворюються, на поверхню контакту.

Цей вид зносу виникає, коли матеріал тертя вступає в хімічну взаємодію з середовищем. Типи механічного зносу через корозію включають окислювальний знос і фретинг-зносу.

Окислювальне зношування відбувається, коли на поверхні тертя з'являються захисні плівки, що утворюються в результаті взаємодії матеріалу з киснем.

Окислювальне зношування, описане В. І. Костецький, характеризується одночасним протіканням двох процесів - пластичної деформації мікроскопічних об'ємів металу в поверхневих шарах деталей і дифузії кисню (з повітря) в деформовані шари [11].

На першій стадії зношування окислення відбувається в невеликих об'ємах металу, розташованих на площинах тертя ковзання. На другій стадії окислення охоплює великі об'єми поверхневих шарів. Глибина окислення відповідає глибині пластичної деформації [18].

Окислення першої стадії зношування призводить до утворення плівок твердих розчинів кисню на поверхні деталей тертя. На другій стадії зношування утворюються хімічні сполуки кисню з металом (для сталі FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4).

Окислювальне зношування відбувається в тонких поверхневих шарах, порядку сотень ангстрем.

Способи змащування. Мазильні матеріали, що використовуються в двигунах внутрішнього згорання, служать для зменшення зносу рухомих частин і втрат потужності через тертя в них, діють як ущільнювальне середовище в зоні поршневих кілець і їх найважливішою метою є відведення тепла.

У деяких двигунах система змащення використовується для охолодження нижньої частини поршня. Мазило також покращує ущільнення поршневих кілець в надпоршневому просторі і захищає деталі від корозії, підвищеного зносу, перегріву і заїдання поверхонь тертя.

Умови роботи деяких сполучених деталей, наприклад, поршень - циліндр, поршневі кільця - циліндр, не сприяють підтримці стабільного гідродинамічного

режиму змащення, тому в цих вузлах тертя наближається до граничного. Умови граничного тертя виникають також при недостатній подачі масла до вузлів тертя, при збільшенні питомих навантажень, підвищенні температури, зменшенні відносної швидкості руху поверхонь тертя, тобто в основному при зміні режиму роботи двигуна [18]. При граничному терті коефіцієнт тертя залежить не від в'язкості оливи, а від вмісту в ній поверхнево-активних речовин, які можуть адсорбуватися на поверхнях тертя. Адсорбована плівка запобігає прямому контакту між поверхнями тертя, що зменшує силу тертя і знос деталей [19].

Режими змащування та мастильні матеріали вибирають залежно від навантаження на поверхні тертя, швидкості взаємного переміщення, температурних напружень тощо.

Для пар тертя, що працюють у найважчих умовах (високі питомі тиски і швидкості взаємного переміщення), потрібно забезпечити найбільш сприятливе гідродинамічне тертя. Але це не завжди доцільно, наприклад, для пари поршень-циліндр. З одного боку, зазвичай важко створити стійку плівку достатньої товщини між деталями, що здійснюють зворотно-поступальні рухи, а з іншого боку, надлишок на стінках циліндра викликає коксування поршневих кілець [18].

За наявності високих температур, що часто перевищують температуру коксування мастила, ця пара завжди працює в умовах напіввідтинного і навіть граничного тертя

4 АНАЛІЗ СПОСОБІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЯ

У нинішній економічній ситуації актуальним є відновлення поршнів автомобільних двигунів після експлуатації, які були раніше відлиті. В даний час на авторемонтних підприємствах вже відновлюють поршні двигунів КАМАЗ-740 і ЗМЗ-53 [1-4].

Нижче наведено декілька методів відновлення поршнів на різних авторемонтних підприємствах.

4.1 Технологія авторемонтного ремонту.

Під час капітального ремонту двигунів поршні вибраковуються без виявлення дефектів, оскільки технічні умови ремонту не дозволяють їх відновити [1].

Як наслідок, багато поршнів, які можна було б відновити і повернути в експлуатацію, щорічно вибраковуються. В Уральському філіалі НІАТ розроблено технологічний процес відновлення поршнів електrolітичним тертям залізно-цинковим сплавом та електrolітичним відновленням поршневих бортів у ванні. Однак ці процеси не знайшли практичного застосування через свою складність, високу трудомісткість і низьку ефективність.

Компанія "АвтоРемонт" провела експериментальні роботи по відновленню поршнів, перетворивши їх в менший ремонтний розмір, просвердливши отвори в виступах під ремонтний розмір поршневого пальця і зробивши канавку під верхнє компресійне кільце з установкою компенсуючого кільця.

Шліфування поршнів вимагає відновлення гільз і циліндрів моноблоків під менші розміри поршнів. Ці методи відновлення включають армування циліндрів термообробленою сталевною стрічкою, встановлення розрізних втулок в циліндри, встановлення цільних сухих гільз, осадження гільз та їх повторне збирання. Всі ці способи ремонту дозволяють отримати будь-який необхідний діаметр циліндра, що дає можливість зменшити діаметр поршня до необхідного розміру [1]

Для визначення розмірів поршневих елементів, що підлягають відновленню, була проведена мікрометрія 200 поршнів з утилізованих двигунів ЗМЗ-53. Під час мікрометрії було виміряно діаметр юбки поршня, діаметр отвору під поршневий палець та ширину канавки під перше компресійне кільце (рис. 4.1).

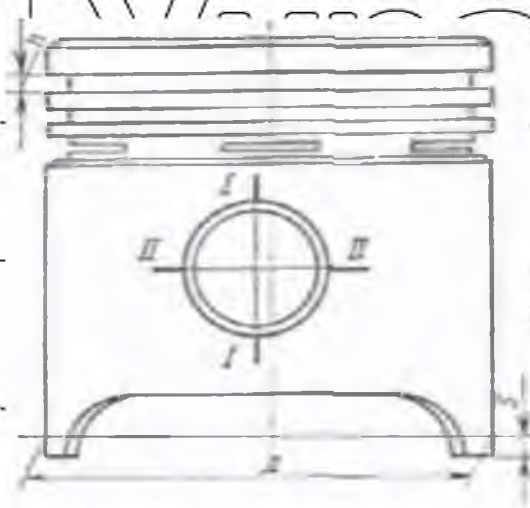


Рис. 4.1 - Схема вимірювання зносу робочих поверхонь поршня.

Виміри проводилися за допомогою мікрометра, індикаторного нутроміра і плиток з набору кінцевих мір. Результати вимірювань представлені на рис. 4.2 .

Зовнішнім оглядом встановлено, що 5 % поршнів непридатні для відновлення, так як у них є тріщини, відколи, прогари і оплавлення .

Знос спідниць поршня не перевищує 0,3 мм на діаметр (див. рис. 4.2.А). Зважаючи на характерний для спідниці односторонній знос її діаметр при відновленні слід зменшувати на 0,5 мм.

Знос канавки по ширині під верхнє компресійне кільце не перевищує 0,5 мм (див. рис. 4.2. Б). Знос канавок більше 0,3 мм спостерігається у 2 % поршнів.

Знос канавки по ширині під друге компресійне кільце в 3-4 рази менше зносу першої канавки. Стже, у 2% поршнів максимальний знос другої канавки складає

0.1 ... 0.15 мм. При неприпустимому зносі другої канавки це незначне число поршнів слід вибраковувати. Верхню канавку необхідно розточувати на 0.5 мм (рис. 4.3). У разі використання в якості компенсаційних кілець сталевих компресійних або дисків маслоз'ємних кілець канавка розточується на 0.7 мм.

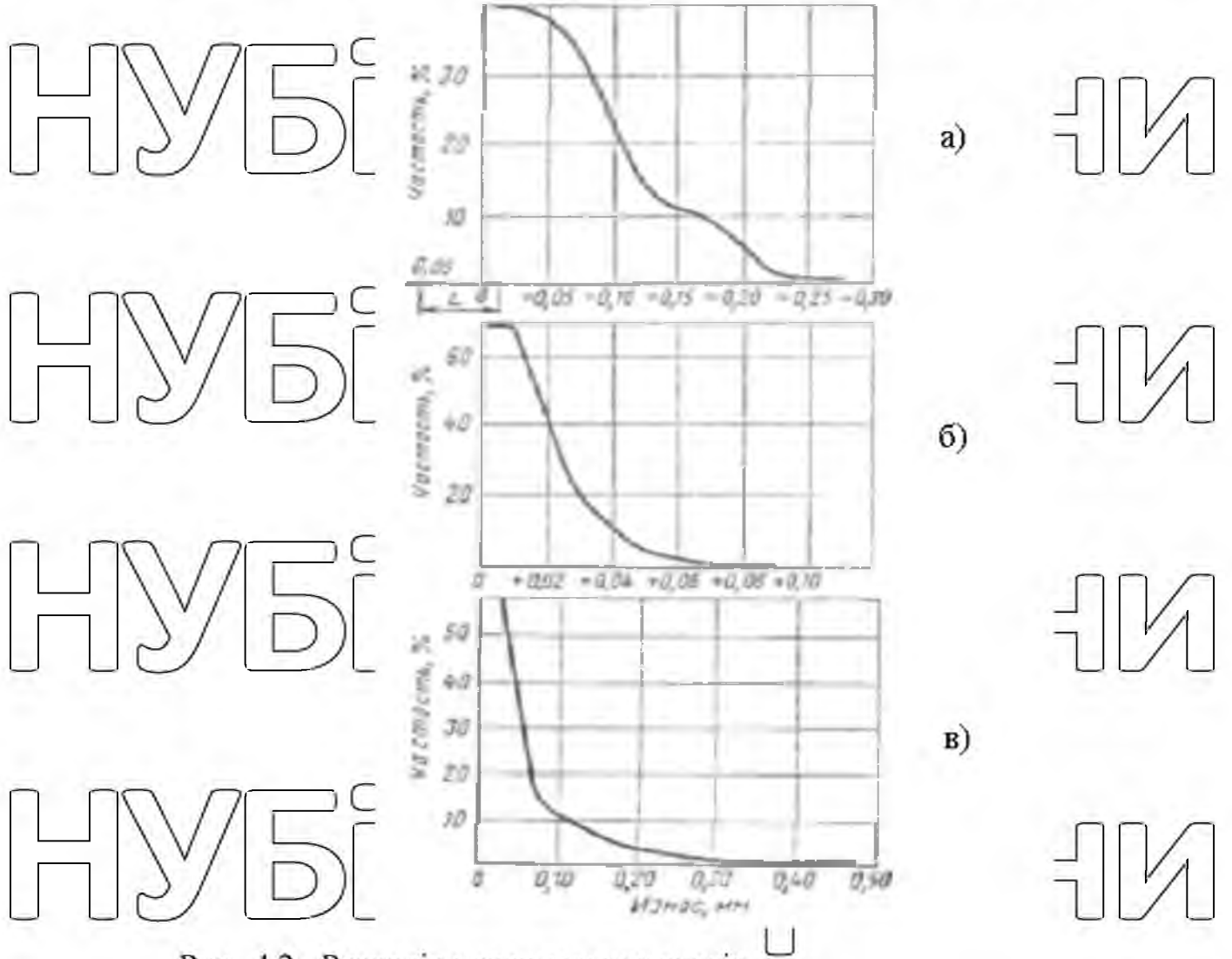


Рис. 4.2 - Розподіл максимальних зносів

а - спідниця поршня ; б - отворів під поршневий палець ; в - верхньої канавки поршня під компресійне кільце по висоті; L - поле допуску

НУБІП України

НУБІП України

На рис. 4.4 показано ескіз відновленого поршня з двигуна ЗМЗ-53. Розміри спірнниці та голловки поршня зменшені на 0,5 мм порівняно з номінальними розмірами. Труднощі у використанні поршнів нестандартних розмірів пов'язані з відсутністю поршневих кілець. Тому доцільно шліфувати поршні з більшого ремонтного розміру до меншого, щоб встановити наявні поршневі кільця.

Що стосується нестандартного розміру кілець, то можна використовувати кільця нормального розміру з відрегульованим зазором замка.

Механічна обробка поршнів гарантує чистоту від нагару, усуває поверхневі дефекти (задирки, подряпини) і надає їм товарний вигляд. Трудомісткість відновлення поршня механічною обробкою в умовах серійного виробництва становить близько 15 хвилин.

4.2 Технологія ремонту двигунів ЗМЗ-53.

Практика капітального ремонту двигунів ЗМЗ-53, як правило, передбачає заміну зношених поршнів на нові. Однак досвід АРЗ показує, що цей ремонт можна виконати економічно [2].

Розбирання шатунно-поршневої групи (випресовування поршневого пальця з поршня) здійснюється на гідравлічному стенді, що запобігає пошкодженню поршнів під час розбирання.

Поршні очищаються від накипу в чотирисекційній машині ОМ 4944 в соляному розчині.

Поршні перевіряються на наявність дефектів на спеціалізованій станції. Близько 30 відсотків поршнів у ремонтному фонді мають непереборні дефекти: тріщини, полумки, зазори, отвори тощо. Максимальний знос створу під поршневий палець (дефект 1) визначається калібром 18-50, знос робочих поверхонь канавок компресійних кілець (дефект 2) - плоским калібром 1К4-118 і знос поверхні спірнниці (дефект 3) - індикаторним приладом 1ПП4-012А, налаштованим за допомогою шаблону. Частоти дефектів та їх комбінації у відсотках наведені в таблиці.

Таким чином, 13... 23% поршнів, розміри і форма елементів яких знаходяться в межах допусків, використовуються як придатні після видалення дрібних подряпин на робочих поверхнях епідниці і кільцевих канавок напилком 2826 - 0003A250/40 ГОСТ 23461-84.

Таблиця 4.1 - Частота повторень дефектів і їх поєднання.

Дефекти	Номер деталі	
	53-100415 - А	53-100415 - А
1	8	12
1+2	24	20
1+3	7	7
1+2+3	18	8

зношені отвори в поршневому пальці розсвердлюють на вертикальному свердлі 2Н135 до ремонтного розміру 25,05 мм. Втулка шатуна розсвердлюється до такого ж ремонтного розміру, а поршневий палець шліфується до такого ж розміру після хромування. Поршень закріплюється в тримачі. Обробка здійснюється розверткою з твердосплавними зубцями на ручній подачі при частоті обертання шпинделя 125 хв-1. В якості мастильно-охолоджувальної рідини використовується суміш 90% парафіну і 10% індустриального масла І-20 А.

Для базування поршня при подальшому ремонті канавок під кільця і бортиків з нижньої сторони і на поверхні виступів в його валу свердлять центральні отвори (див. рис. 4.5). Операція виконується на токарному верстаті 16С16КП з фіксацією поршня до головки блоку циліндрів спеціальними кулачками з використанням двох конфігурацій. У першій конфігурації, коли поршень звернений до задньої бабки, в

нижній частині свердять отвір діаметром 3,15 мм і робочою довжиною 2,5 мм за допомогою центрального свердла. У другій установці Zenko на поверхні виступів обробляється кінцева поверхня шириною 5 ... 8 мм і кутом при вершині 60° [2].

Обробка здійснюється з ручною подачею при частоті обертання шпинделя 600 хв-

1.

Ремонт юбки поршня полягає в її обробці до розміру попереднього (або номінального) ремонту за дві операції. Перша операція - токарна. Деталь встановлюється на центри токарного верстата 16Е16КП, діаметри головки поршня і його канавок обточуються до 0,5 мм, а потім знімаються фаски. Канавки точаться

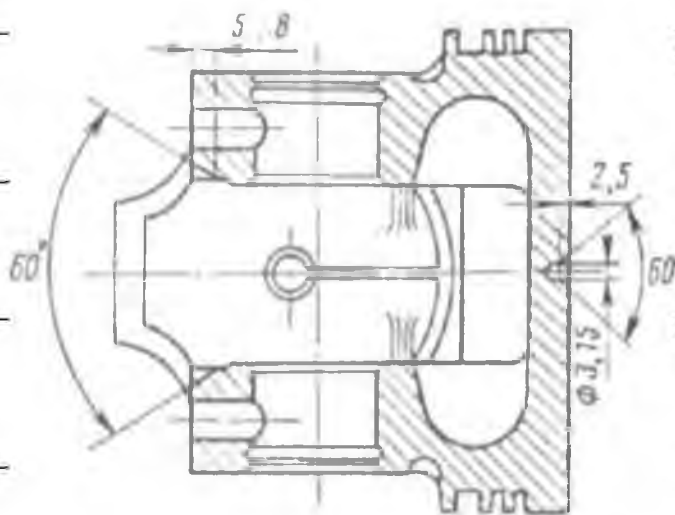
без зняття металу з бічних стінок оригінального профілю. Друга операція - шліфування, яка виконується на верстаті ZM433U, який раніше використовувався для обробки кулачків розподільного валу. Для обробки поршнів верстат потребує модернізації: встановлення абразивного круга висотою 80 мм та опорних і базових

елементів, що відповідають базам деталей, використання оригінального копіювального пристрою замість копіїв виробника верстата. Втулка копіювального пристрою встановлюється на шийку шпинделя. На маточину насаджені два циліндричні диски, центри яких віддалені на 0,181 мм в протилежні

боки від осі обертання шпинделя. Робоча поверхня дисків знаходиться в постійному контакті з циліндричним опорним роликком, вісь якого закріплена на головці верстата. В результаті обертовий шпиндель викликає розгойдування столу з заготовкою, що гарантує овальність юбки поршня 0,362 мм. Конусність юбки

забезпечується правильним обертанням столу відносно напрямних шліфувальної головки [2].

НУБІ



НИ

НУБІ

НИ

Рис. 4.5 Технологічні бази поршня при його механічній обробці під час ремонту.

Абразивний круг- з хромово - титаністого електрокорунду марки ПП600 × 80 × 305 92А2Б -НСМІ К6 50 м / с А І кл.ГОСТ 2424-83 . Він працює на врізання при ручній подачі , МОФ - Аквсл 11 .

Зношені по висоті канавки під компресійні кільця протонуються на розмір 3,2 . При складанні поршнів з кільцями у відремонтовані таким чином канавки встановлюються компресійні кільця з маслос'ємніє дисками відповідного ремонтного розміру .

Шар олова на поверхню поршнів наноситься хімічним способом у ванні з водним розчином двухлористого олова $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (45 г / л) , каустичної соди NaOH (30 г / л) і перекису водню H_2O_2 (20 г / л) . Температура розчину 50 ... 60 ° С , час витримки 3 ... 5 хв .

За останні роки на заводі за даною технологією відремонтовано понад 100 тис. поршнів. Економічний ефект від її впровадження становить 20грн 40 к. на деталь .

НУБІП УКРАЇНИ

Поршні двигунів, що надходять в ремонт, мають знос канавок компресійних кілець. Знос інших поверхонь поршня в абсолютній більшості випадків не перевищують допустимих меж, обумовлених документацією, розробленою на КамАЗі [3].

Дефектація поршнів перед ремонтом зводиться в основному, до візуального огляду для виявлення грубих забоїв і пошкоджень, великих тріщин в районі камери згоряння і нерізістової вставки, прогарів. У поршня допустимі знос графітового покриття, зачистка окремих забоїв на голівці і спідниці, ризики в отворі під поршневі палець, тріщини по кромці камери згоряння, але не повинно бути забоїв, що виходять на канавку маслос'ємного кільця. Допустимі розміри основних поверхонь поршня (рис. 4.6) представлені табл. 4.2

Перед дефектацією та ремонтом поршні необхідно промити і очистити від нагару (особливо ретельно треба очистити поверхню маслос'ємної канавки). Нагар добре видаляється капроновою щіткою після випаровання поршнів протягом 30 хв, в розчині «Лабомид - 203» при температурі 80 °С. Не можна застосовувати для очищення гострі металеві предмети - шабери, пили і т. п.

Протачувати компресійні канавки поршня потрібно на токарному верстаті Т6К20. Вазують і фіксують поршень по днищу і одній з бічних поверхонь маслос'ємної канавки. Для цього використовують спеціальні кулачки 2 (рис. 4.7), що мають виступи за формою маслос'ємної канавки шириною 4,5... 4,8 мм. Базові поверхні кулачків (А і Б) обробляються на цьому ж верстаті в зібраному стані і постійно оновлюються. Биття базових поверхонь не повинно перевищувати 0,05 мм.

Таблиця 4.2 Допустимі розміри основних поверхонь поршня.

Номер	Найменування контрольного	Размер, мм	Предел	Способ восстановления	Ремонтный
-------	---------------------------	------------	--------	-----------------------	-----------

позичи и	размера	номинальный	допусти мый	но-допусти мый вазор с сопрягаемой деталью	размер, мм
1	Диаметр юбки на расстоянии 104 мм от днища в плоскости, перпендикулярной оси поршневого пальца				
2	Диаметр отверстия под поршневой палец	119,86 ^{+0,021} _{-0,009}	119,810	0,220	Обработать в ремонтный размер
3	Износ канавок под поршневые кольца по ролику диаметром 2,96 мм: 1-е компрессионное кольцо	45 ^{-0,002} _{-0,013}	45,04	0,05	Восстановить под ремонтный размер
	2-е компрессионное кольцо	120,6 ⁰ _{-0,35}	120,10	0,47	
4	Износ канавки под маслосъемное кольцо по шаблону	121,1 ⁰ _{-0,40}	120,5	0,17	Обработать под ремонтный размер по ролику 3,43
5	Уменьшение размера А от днища до оси поршневого пальца по группам поршня:	5,05 ^{+0,040} _{+0,017}	5,12	0,148	Обработать под ремонтный размер
	10				-
	20				
	30	75,71 ⁰ _{-0,04}	75,61	-	
	40	75,82 ⁰ _{-0,04}	75,61	-	Подрезать, обеспечить размер группы 10
		75,93 ⁰ _{-0,04}	75,61	-	
		76,04 ⁰ _{-0,04}	75,61	-	

Використання маслос'ємної канавки в якості базової поверхні допускається внаслідок незначного її зносу, а також тому, що при виготовленні нового поршня вона обробляється одночасно з канавками під компресійні кільця [3] .

НУБІП України

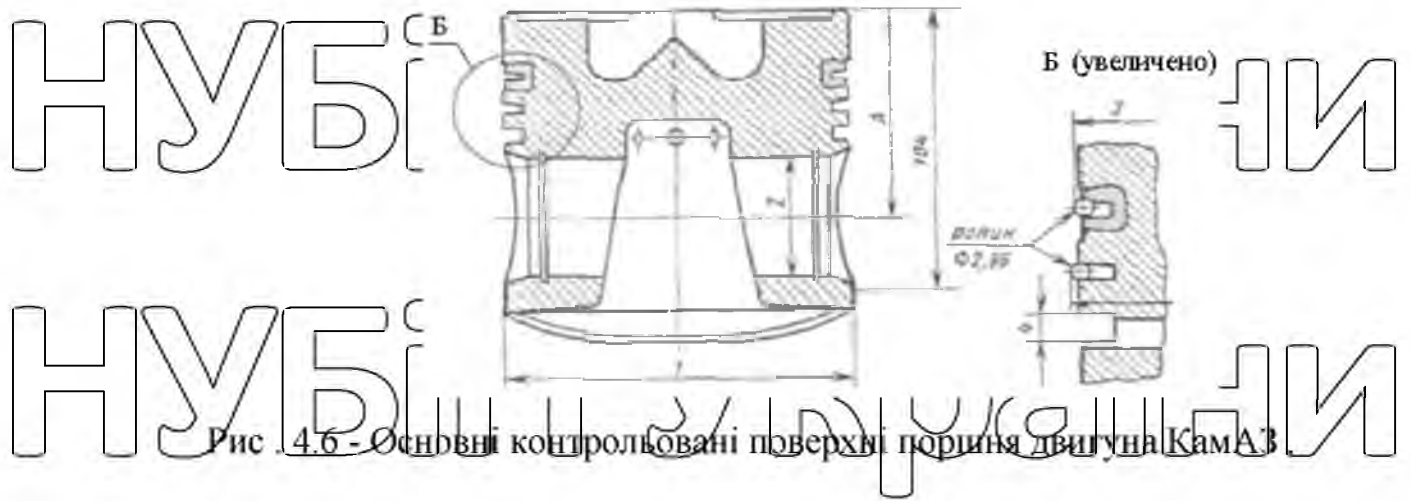


Рис . 4.6 - Основні контрольовані поверхні поршня двигуна КамАЗ

Поршень центрують спочатку по днищу маслоемної канавки (поверхня А). Потім його підтискають обертовим упором 4 з боку камери згоряння - відбувається орієнтація по боковій поверхні Б маслоемної канавки. Після цього поршень остаточно затискають в патроні верстата.

Протачивать компресійні канавки можна роздільно або одночасно. Одночасна проточка можлива при установці різців 6 до спеціального різьбедержатель 7, що дозволяє регулювати виліт інструментів і відстань між ними.

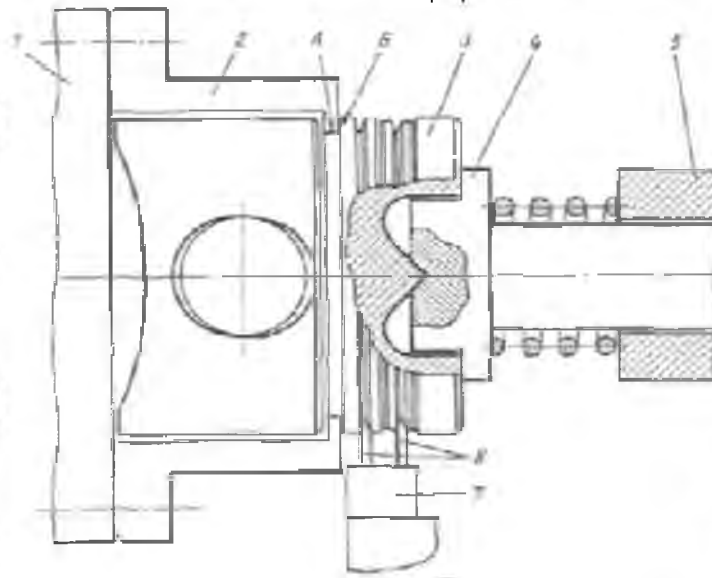
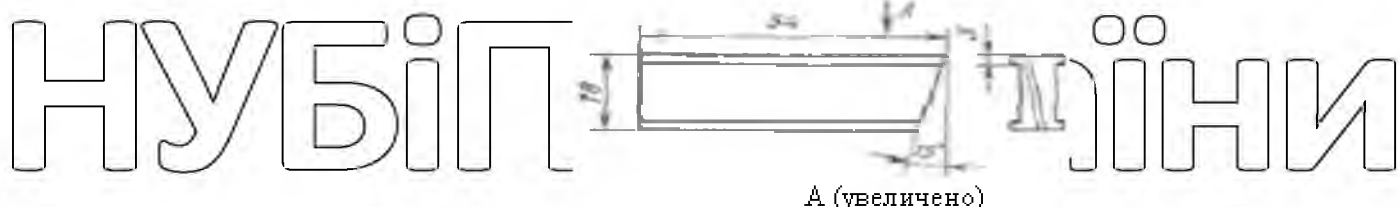


Рис . 4.7 - Схема базування і обробки поршня.



А (увеличено)

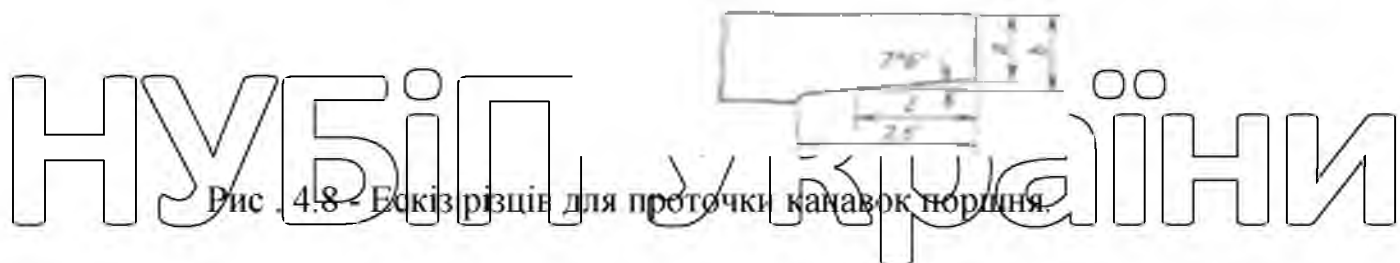


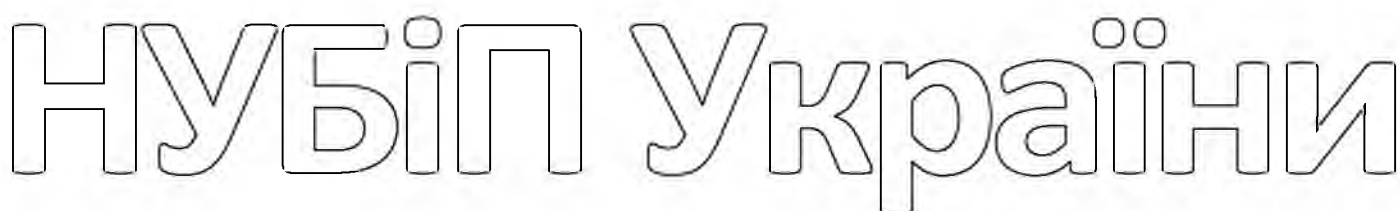
Рис. 4.8 - Ескіз різців для проточки канавок поршня.

Профіль канавки забезпечується спеціальним заточуванням різців (рис. 4.8), параметри заточування різці для різців першої та другої канавок. Вони наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Розміри різців для проточки компресійних канавок.

Канавка	Розміри, мм			Матеріал
	l	b	a	
Перша	5,24	3,51	2,86	ВК-6
Друга	4,701	3,40	2,81	ВК-6

Припуск на обробку (0,5 мм) розподіляється між двома поверхнями канавки таким чином, щоб після обробки не залишалося необробленої поверхні (чорноти). Днище канавок обробляється кінцем носика різця. Після обробки поршень повинен задовольняти основним параметрам, показаним на рис. 4.9



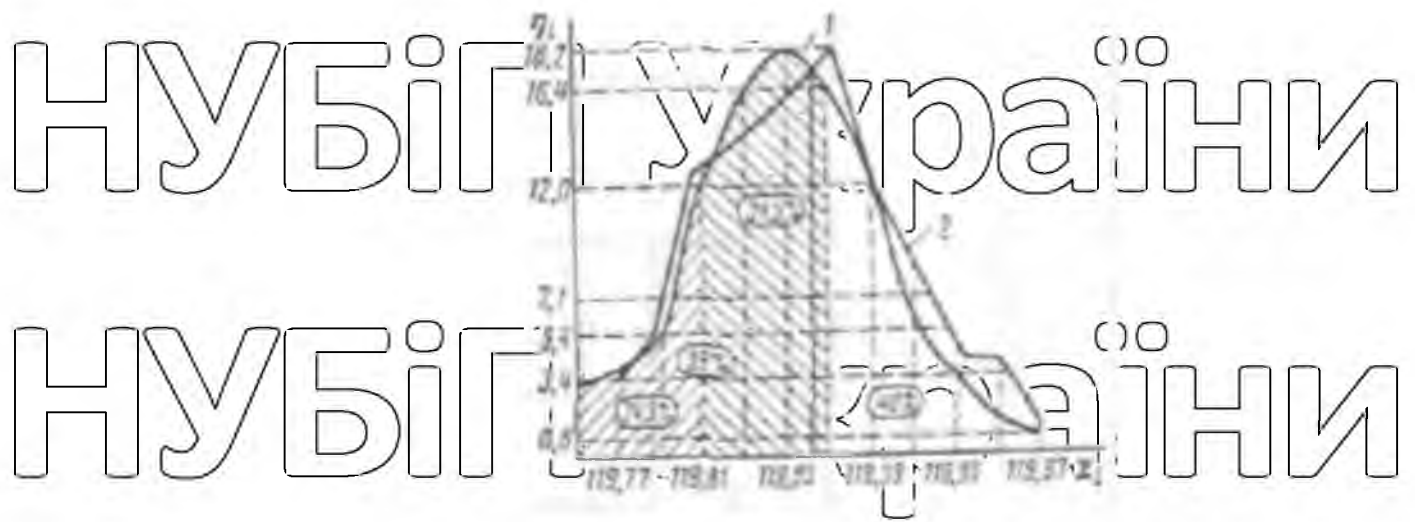


Рис . 4.10 - Розподіл зносу спідниці поршня дизеля КамАЗ- 240 .

1 - теоретична крива , 2 - емпірична крива

Як видно , вихід поршня з ладу більшою мірою обумовлений зносом першої компресійної канавки і спідниці. В даний час розроблені процеси відновлення і зміцнення канавок поршнів з використанням найбільш прогресивних методів зварювання - наплавлення , напильня і пластичної деформації.

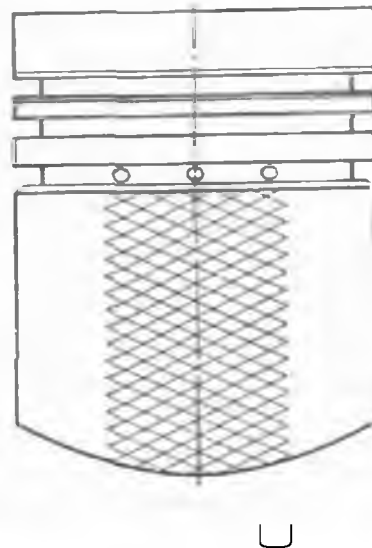


Рис. 4.11 - Поршень дизеля з відновленою спідницею.

Знос направляючої та спідниці поршня має різну швидкість і залежить від конструкції поршня. Так, для укорочених поршнів від двигуна КамАЗ-740 середнє значення зносу знаходиться в нижньому діапазоні допустимого відхилення (рис. 4.10), що не дозволить використовувати ці поршні протягом чергового міжремонтного інтервалу, відновивши лише зношені канавки. Знос напрямних поршнів дизелів (ЯМЗ-236, ЯМЗ-240, СМД-14, СМД-60, СМД-65) перевищує допустимі відхилення, що також унеможливує їх повторне використання [4] .

Крім існуючих методів відновлення поршневих гільз, які передбачають нанесення компенсаційного металу на поверхню деталей різними способами, був розроблений метод пластичного деформування.

Суть цього методу полягає у створенні на поверхні юбки сітки каналів, що взаємно перетинаються, з перерозподілом матеріалу, витісненого з каналів, на нові ростові поверхні.

Параметри створюваних каналів визначаються з умови сталості об'ємів витісненого VI і витісненого VII об'ємів металу.

$$VI \approx VII$$

Кількість металу, необхідного для відновлення зносу, визначається з виразу

$$V1 = V1 + V2$$

де V1 - об'єм металу, що припадає на знос спідниці,

V2 - об'єм металу, необхідний для додаткової механічної обробки поршня.

Об'єм металу, отриманий за рахунок витіснення канавки, і об'єм VII, необхідний для конденсації, формуються параметрами канавки [4] .

$$VII = H - h - L$$

НУБІП України

де H - ширина канавки, мм;

h - висота паза, мм;

L - довжина канавки, мм.

Розроблений пристрій для відновлення зношеної юбки поршня, який приводиться в рух фрезерним верстатом, виконує накатку з глибиною посадки 0,5 мм за 2...3 проходи. Після накатки на юбці поршня утворюється система ромбічних наростів, які перетинаються між собою на поверхнях, що перетинаються. Це призводить до збільшення діаметру юбки (рис. 4.11). Пристрій дозволяє збільшувати діаметр спідниці на 1 мм.

Метод пластичного деформування металу дозволяє відновити геометричні розміри направляючої поршня і поліпшити деякі експлуатаційні властивості пари тертя між поршнем і гільзою циліндра [4]. Процес відновлення товстостінних поршнів дизелів методом пластичного деформування використовується на Сарагівському НВО "Авторемонт

Таблиця 4.4 - Повторюваність дефектів зношених поршнів.

Наименование дефекта	Частота повторюваності у двигуна	
	СМД	ЯМЗ
Знос тільки першої компресійної канавки	0,43	0,42
Знос спідниці поршня і першої компресійної канавки	0,22	0,18
Знос спідниці поршня, першої компресійної канавки і отвори під поршневий палець	0,09	0,05
Прогари, тріщини, забоїни, відколи, задири	0,04	0,03
Поршні з зносом в межах робочого креслення	0,22	0,32

5 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ПОРШНІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ

5.1 Обґрунтування способу відновлення

Ремонт може бути виконаний шляхом

1) заміни комплекту кілець на номінальний комплект із збереженням поршнів і гільз,

2) заміни кілець і поршнів номінального розміру в "старих" гільзах,

3) розсвердлювання гільз (блоків) циліндрів до ремонтного розміру з встановленням відповідних поршнів і кілець.

Сучасні автомобільні дизельні двигуни, як правило, пропонують можливість розсвердлювання гільз циліндрів два або три рази під конкретний ремонтний розмір. Термін служби номінальної гільзи зазвичай в 2-3 рази перевищує термін служби кілець, що дозволяє замінити зношені кільця і поршні на номінальні 1-2 рази без заміни дорогих гільз. Однак при установці нових кілець, навіть в незначно зношені гільзи, не вдається повністю відновити початкові параметри двигуна. При цьому порушується контакт кілець зі зміненою робочою поверхнею гільзи, а зношена поршнева канавка в "трапецію" не забезпечує щільного прилягання кільця, погіршуючи тепловий стан поршня. В цьому випадку термін переробки кільця значно збільшується, а іноді не виконується зовсім. Для прискорення відновлення використовують нехромовані кільця, робочу поверхню кільця обміднують, а на великі двигуни встановлюють біметалічні та газонепроникні кільця.

Відновлення поршнів починається з обробки базових поверхонь. Для цього в нижній частині поршня свердлять конічний отвір і зачищають внутрішню поверхню спідниці. Якщо потрібно обробити тільки отвір під поршневий палець, ці базові поверхні не обробляються.

Таблиця 5.1 - Методи усунення дефектів.

Двигун	Знос отвору під поршневий палець	Дефект поршня Знос першої компресійної канавки	Знос другої компресійної канавки	Знос юбки
ЯМЗ – 236				Механічна обробка
КамАЗ – 740	Механічна обробка	Механічна обробка		Пластична деформація. Накатка.
ЗМЗ – 53				Механічна обробка
СМД – 60				Пластична деформація. Накатка.

Наступна операція - обточити головку поршня і кільцеві канавки до номінального або ремонтного розміру, а також зняти фаски з оброблених

поверхонь

Після обточування слід відшліфувати юбку поршня до ремонтного або номінального розміру, щоб забезпечити її конусність. Шліфування спідниці слід проводити тільки після обточування головки поршня, оскільки наступною операцією в процесі відновлення є нанесення олова на поверхню спідниці поршня. Чим менше забруднень залишиться на юбці, тим якіснішим буде покриття.

Оскільки технічні вимоги до виготовлення поршнів передбачають обробку отвору під поршневий палець після нанесення покриття на спідницю, отвір під поршневий палець необхідно розточити після операції гальванічного покриття.

Останньою операцією в процесі відновлення є перевірка відновлених поршнів і класифікація їх за розмірними групами.

5.2 Розробка маршруту відновлення



Рис.5.1 . Схема маршруту відновлення поршня.

1) Зачистка поверхні основи та свердління центрального отвору.

Операція виконується на токарному верстаті 1К625 із закріпленням поршня спеціальними кулачками в задній бабці у двох конфігураціях. У першій конфігурації, коли поршень своєю спідницею звернений до задньої бабки, внутрішня поверхня спідниці зачищається розточувальною фрезою ГОСТ 18883-73 на довжину 13 мм. У другій конфігурації, коли поршень нижньою частиною звернений до задньої бабки, виконується конічна поверхня з кутом при вершині 60° і довжиною не більше 1,5 мм за допомогою центрального свердла ГОСТ 14952-75.

Шорсткість поверхні після обробки становить 2,5 мкм. Обробка здійснюється з ручною подачею при частоті обертання шпинделя 630 хв-1. Час виконання операції становить приблизно 4 хвилини.

2) Точіння головки поршня і кільцевих канавок.

Операція виконується на токарно-гвинторізному верстаті 1К625. Поршень центрується по внутрішній поверхні спідниці шляхом ослаблення кулачків і центрального отвору, запресовуючи його спеціальним пристосуванням з боку задньої бабки. Діаметр головки поршня шліфується прохідним різцем ГОСТ 18869-

73 до 0,5 мм. Поздовжня подача - 0,1 мм/об. Шорсткість поверхні 3,2 мкм. Для обробки канавок використовуються фасонні фрези ГОСТ 18881-73. Канавки обточуються над перший ремонтний розмір. В даному випадку висота компресійної канавки становить 0,2 мм. У відремонтовану таким чином канавку встановлюється компресійне кільце ремонтного розміру або зазор компенсується встановленням разом з компресійним кільцем маслосемного диска. Обробка проводиться при частоті обертання шпинделя 400 хв-1.

3) Шліфування юбки поршня.

Спідниця поршня шліфується на верстаті ZMU4ZZU, який раніше використовувався для обробки кулачків на розподільчому валу. Для обробки поршнів верстат потребує модернізації: встановлення абразивного круга висотою 80 мм та опорних і базових елементів, що відповідають базам заготовок; використання оригінального копіювального пристрою замість копіїв виробника верстата. Втулка копіювального пристрою встановлюється на шийку шпинделя. На маточину надіті два циліндричні диски, центри яких віддалені на 0,200 мм в протилежні боки від осі обертання шпинделя. Робоча поверхня дисків знаходиться в постійному контакті з циліндричним опорним роликом, вісь якого закріплена на головці верстата. Конусність спідниці забезпечується правильним обертанням столу відносно напрямних шліфувальної головки.

Шліфувальний круг виготовлений з хромотитанового електрокорунду марки 1-600x80x35 92A25 - CM1KB 50 м/с А1 кл ГОСТ 2424-83

Швидкість обертання заготовки - 30 м/хв, швидкість обертання колеса - 35 м/с. Обробка юбки поршня виконується за 5 подвійних проходів.

4) Нанесення олова на поверхню юбки поршня.

Після механічної обробки поршні надходять на ділянку гальваніки, де встановлюються на спеціальний підвіс партіями по 10 штук. В даному випадку використовується 4 підвіси. Підвіска з поршнями вводиться в електролітичну ванну для електрохімічного знежирення. Це дозволяє видалити незначні забруднення і сліди ручної обробки. Склад розчину: тринатрійфосфат (Na_3PO_4) - 20 ... 40 г/дм³,

карбонат натрію (NaCO_3) - 20 ... 40 г/дм³. Температура знежирення 50 ... 70 °С. Час обробки 0,5 ... 5,0 кв.

Після електрохімічного знежирення суспензія з деталями подається на промивку: спочатку в гарячу воду (80 °С), а потім в холодну (20 °С). Кожне промивання триває приблизно 1 хвилину.

Потім суспензія з деталями потрапляє в ізоляційну ванну, де відбувається ізоляція поверхонь, які не підлягають покриттю.

Наступним етапом є травлення поверхонь, що підлягають покриттю, яке видаляє іржу та оксиди з металевої поверхні шляхом обробки її лужним розчином.

Склад розчину: їдкий натрій технічний марки ТР-50 ... 150 г/дм³, вода питна. Час травлення: до 1,5 хвилин при температурі 45... 80 °С.

Після травлення суспензію з деталями промивають у холодній воді (20 °С) протягом 1 хвилини.

Основна операція - лудіння - проводиться в сірчанокиислому електроліті.

Склад електроліту: сульфат олова (SnSO_4) - 25 ... 60 г/дм³, сірчана кислота (H_2SO_4) - 50 ... 60 г/дм³, вода питна. Температура електроліту 55 °С. Тривалість операції - 11 хвилин. В даному процесі використовуються олов'яні аноди ГОСТ 860-75 марки

01. Розмір гальванічної ванни становить 2240x800x1600 мм ГОСТ 23738-85.

Після нанесення покриття проводять три промивки: в гарячій воді (60...80 °С), холодній воді (20...40 °С) і промивку колектором в холодній воді (20 °С). Тривалість кожного промивання - 1 хвилину.

5) Розсвердлювання отвору під поршневий палець.

Операція полягає в розсвердлюванні отвору під поршневий палець.

6 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОПОНОВАНИХ РІШЕНЬ

НУБІП УКРАЇНИ

Продемонструємо співвідношення витрат і результатів запропонованих рішень на прикладі відновлення поршня дизельного двигуна ЯМЗ-236.

6.1 Прямі матеріальні витрати

НУБІП УКРАЇНИ

Витрати на сировину та матеріали. Оскільки в запропонованому технологічному процесі відновлення поршнів в якості заготовок можуть бути використані поршні, що відправляються на переробку, вартість сировини можна прийняти як вартість одиниці маси відходів, що переробляються $C_{ог} = 3$ грн/кг (табл. 6.2 [23]).

НУБІП УКРАЇНИ

$$SM = MK - C_{ог} - K_{тз} \quad (6.1)$$

де MK - норма витрат основного матеріалу відповідного виду, що використовується для виконання операції, кг/шт, $MK = 2,8$ кг (для комплекту);

НУБІП УКРАЇНИ

$Цр$ - ринкова ціна без ПДВ на матеріал даного виду, грн./кг;

$K_{тз}$ - коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати при закупівлі матеріалів

$$K_{тз} = 1$$

$$ЦМ = 8,4 \text{ ГРН}$$

НУБІП УКРАЇНИ

Витрати на технологічні енергоресурси.

Визначаємо витрати на всі технологічні операції. Витрати на технологічні енергоресурси включають витрати на електричну енергію Se та інші види енергоресурсів. Для технологічного обладнання Se визначається для кожної операції за формулою (6.5 [23]). Загальна вартість технологічних енергоресурсів визначається як сума всіх операцій (формула 4.1 [23]).

НУБІП УКРАЇНИ

$$C_e = \sum_{k=1}^n C_{ек} \quad (6.2)$$

НУБІП УКРАЇНИ

Визначаємо $S_{ек}$ для токарної операції [23].

НУБІП УКРАЇНИ

$$C_{ек} = N_{вк} \cdot \eta_x \cdot (T_{шт.к} - T_{ок}) - N_{вк} \cdot \eta \cdot T_{ок} \cdot C_{в.уд} / 60; \quad (6.3)$$

де , $N_{маx}$ - встановлена потужність електродвигуна верстата для даної операції, $N_{маx} =$

8 кВт;

η_x - коефіцієнт використання потужності на холостому ходу, $\eta_x = 0,1$;

$T_{шт.о.}$ - штучний час на технологічні операції, $T_{шт.о.} = 2,89$ хв;

$T_{ок}$ - основний час обробки операції, $T_{ок} = 1,13$ хв;

η - коефіцієнт використання енергії електродвигуна в процесі різання, $\eta = 0,5$

Вартість кВт/год - вартість однієї кВт/год, $C_{в} = 1,5$ грн.

НУБІП УКРАЇНИ

$$C_{ек} = 0,2 \text{ грн}$$

2) Визначаємо $C_{ек}$ для шліфувальної операції .

$N_{вк} = 3,5$ кВт; $\eta_x = 0,1$; $T_{шт.к} = 2,89$ хв;

НУБІП УКРАЇНИ

$T_{ок} = 1,13$ хв; $\eta = 0,5$; $C_{в.уд} = 1,5$ грн

$$C_{ек} = 0,03 \text{ грн}$$

НУБІП УКРАЇНИ

3) Собівартість гальванічної операції (за даними заводу імені Малишева складає $C_{ек} = 3,5$ грн)

4) Собівартість свердлильної операції .

$N_{вк} = 2,5$ кВт; $\eta_x = 0,1$; $T_{шт.к} = 1,09$ мин;

НУБІП УКРАЇНИ

$T_{ок} = 0,48$ мин; $\eta = 0,5$; $C_{в.уд} = 1,5$ грн.

$$C_{ек} = 0,04 \text{ грн}$$

Визначаємо загальні технологічні енерговитрати .

НУБІП УКРАЇНИ

$$C_{с} = 3,74 \text{ грн}$$

6.2 Прямі витрати на оплату праці

Основна заробітна плата виробничих робітників. При розрахунку заробітної плати виробничих робітників приймаємо відрядну оплату праці. Розрахунок витрат на основну та додаткову заробітну плату проводять з використанням погодинних тарифних ставок [23].

Заробітну плату верстатників, наладчиків і слюсарів визначають для всіх технологічних операцій за формулами (3.6 - 3.10) [23]

$$C_{озп} = C_{ч} \cdot K_{т} \cdot T_{шт.с} / 60; \quad (6.4)$$

де, $C_{ч}$ - годинна тарифна ставка робітника, грн.;

$K_{т}$ - тарифний коефіцієнт для середнього розряду робочих;

$T_{шт.с}$ - сумарне штучний час технологічних операцій, хв.

1) Визначаємо основну заробітну плату на токарній операції

$$C_{ч} = 12,8 \text{ грн}; K_{т} = 1,5; T_{шт.с} = 5,04 \text{ хв.}$$

$$C_{озп} = 1,6 \text{ грн}$$

2) Визначаємо основну заробітну плату на шліфувальній операції.

$$C_{ч} = 12,8 \text{ грн}; K_{т} = 1,5; T_{шт.с} = 2,89 \text{ хв}$$

$$C_{озп} = 0,9 \text{ грн.}$$

3) Визначаємо основну заробітну плату на гальванічній операції.

$$C_{ч} = 8,1 \text{ грн}; K_{т} = 1,0; T_{шт.с} = 27,5 \text{ хв}$$

$$C_{озп} = 3,7 \text{ грн}$$

4) Визначаємо основну заробітну плату на свердильній операції.

$$C_{ч} = 9,8 \text{ грн}; K_{т} = 1,0; T_{шт.с} = 1,09 \text{ хв.}$$

$$C_{озп} = 0,2 \text{ грн}$$

Визначається загальна сума витрат на оплату праці виробничих робітників по всіх технологічних операціях [23]

НУБІП України

$$C_{озп} = C_{озпк};$$

(6.5)

$$C_{озп} = 0,64 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Додаткова заробітна плата виробничих робітників. Визначається за формулою (4.3) [23]

$$C_{дз} = C_{озп} \cdot K_{нд}$$

(6.6)

де, $C_{озп}$ - загальна сума витрат на оплату праці, $C_{озп} = 6,4$ грн,

$K_{нд}$ - коефіцієнт, який враховує надбавки і доплати, компенсаційні виплати, $K_{нд} = 0,4$ [23]

НУБІП України

$$C_{дз} = 2,5 \text{ грн}$$

НУБІП України

6.3 Інші прямі витрати.

Відрахування на соціальне страхування. Відрахування на соціальне страхування для промислових підприємств України встановлені на рівні 37 % від витрат і включають відрахування до Пенсійного фонду 32 % , до Фонду зайнятості - 2,5% Фонд соціального страхування у зв'язку з тимчасовою втратою працездатності - 2,5% [23]

НУБІП України

$$C_{сс} = 0,37 \cdot (C_{озп} + C_{дз});$$

(6.7)

$$C_{сс} = 4 \text{ грн.}$$

НУБІП України

Витрати, пов'язані з утриманням, експлуатацією та амортизацією обладнання, пристроїв і спеціальних інструментів, що припадають на одну деталь. Витрати на пристосування в кожній операції [23].

НУБІП України

$$C_{пр} = \frac{Ц_{пр} \cdot (A_o + A_{пр}) \cdot T_{ум}}{\Phi_{оо} \cdot K \cdot 100 \cdot 60} \quad (6.8)$$

де, $C_{пр}$ - вартість пристосувань, грн [23],

$$C_{пр} = C_{пр.уд} \cdot M_{пр} \quad (6.9)$$

де, $C_{пр.уд}$ - приблизна вартість одиниці маси пристосування, грн / кг,

$$C_{пр.уд} = 35 \text{ грн / кг};$$

$M_{пр}$ - середня маса одномісного пристосування для металообробки невеликих деталей,

$$M_{пр} = 20 \text{ кг};$$

A_0 - амортизаційні відрахування, при терміні служби спец оснащення 2 роки приймають рівним 50 % від початкової вартості ;

$A_{пр}$ - відрахування на ремонт, $A_{пр} = 10 \%$;

$F_{до}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год. (дорівнює 4026 години при двозмінному режимі роботи);

K_3 - коефіцієнт завантаження обладнання, $K_3 = 0,9$.

$T_{шт.кв}$ - сумарна трудомісткість ремонту деталі по базовому і проектованому варіанту,

$$T_{шт.кв} = 36,52 \text{ хв}$$

$$C_{пр1} = 700 \text{ грн}$$

$$C_{пр} = 0,8 \text{ грн}$$

Витрати на різальний інструмент [23]

$$C_i = \frac{(O_i + C_{пер} \cdot n_{пер}) \cdot T_o \cdot K_n}{T \cdot (n_{пер} + 1)} \quad (6.10)$$

де, O_i - початкова вартість інструменту, грн ;

$C_{пер}$ - собівартість одного переточування ;

$n_{пер}$ - число переточувань ;

T - стійкість інструменту між двома переточуваннями, хв;

K_n - коефіцієнт випадкової втрати ;

T_o - основний час операції

3) Визначаємо собівартість експлуатації різучого інструменту на токарній операції .

НУБІП України
 $O_i = 45 \text{ грн}$, $C_{\text{пер}} = 1 \text{ грн}$, $n_{\text{пер}} = 10$, $T = 60 \text{ хв}$, $K_{\text{п}} = 1,1$; $T_o = 2,49 \text{ хв}$.
 $C_i = 0,2 \text{ грн}$

4) Визначаємо собівартість експлуатації ріжучого інструменту на шліфувальній операції

НУБІП України
 $O_i = 150 \text{ грн}$, $T_o = 10000 \text{ хв}$, $K_{\text{п}} = 1,1$; $T_o = 1,13 \text{ хв}$.

$C_i = 0,1 \text{ грн}$

НУБІП України
5) Собівартість експлуатації інструменту на гальванічній операції (за даними заводу Малишева складає $C_i = 6,8 \text{ грн}$.)

6) Визначаємо собівартість експлуатації ріжучого інструменту на свердильній операції.

НУБІП України
 $O_i = 500 \text{ грн}$, $C_{\text{пер}} = 1 \text{ грн}$, $n_{\text{пер}} = 10$, $T_o = 120 \text{ хв}$, $K_{\text{п}} = 1,1$, $T_o = 0,48 \text{ хв}$
 $C_i = 2 \text{ грн}$

Витрати від браку. Витрати на технологічний брак $C_{\text{тб}}$ і прості виробництва приймають у розмірі 10% від витрат на сировину і матеріали [23].

НУБІП України
 $C_{\text{тб}} = 0,84 \text{ грн}$.

Витрати на підготовку і освоєння виробництва нових видів продукції

НУБІП України
 $C_{\text{сп}} = 0,0 \text{ грн}$

6.4 Загальновиробничі витрати.

НУБІП України
Загальновиробничі витрати поділяються на постійні та змінні. Змінні витрати включають витрати на обслуговування та управління виробництвом, які змінюються прямо (або майже прямо) пропорційно до зміни обсягу діяльності. Змінні загальновиробничі витрати

розподіляються на кожен об'єкт витрат з використанням бази розподілу (години праці, заробітна плата, обсяг виробництва, прямі витрати тощо), виходячи з фактичної потужності у звітному періоді.

Постійні витрати включають витрати на обслуговування виробництва та управління, які залишаються незмінними (або практично незмінними) при зміні обсягу виробництва. Постійні виробничі витрати розподіляються на кожен об'єкт витрат з використанням бази розподілу нормальної виробничої потужності.

Витрати на утримання виробничих приміщень (ремонт, опалення, вентиляція, водовідведення) [23]

$$C_{пл} = \frac{F_n \cdot P_{пл} \cdot T_{ум-к}}{\Phi_{\partial} \cdot K_z \cdot 60} \quad (6.11)$$

де, F_n - виробнича площа дільниці, м², $F_n = 150$ м²;

$P_{пл}$ - норма або середньорічні витрати на утримання приміщень на 1 м² виробничої площі, $P_{пл} = 600$ грн/рік;

K_z - середній коефіцієнт завантаження обладнання.

$$A_{пр} = \frac{H_{пр} \cdot K_{пр} \cdot T_{ум}}{\Phi_{\partial o} \cdot K_z \cdot 100 \cdot 60} \quad (6.12)$$

$K_z = 13,6$ грн.

Амортизаційні відрахування розраховуються для кожної одиниці основних фондів за нормами відрахувань, визначеними у відсотках від балансової вартості об'єкта [23]

$$K_{пр} = F_{п} \cdot h \cdot K_z \cdot \Pi_{пр} \quad (6.13)$$

де, $\Pi_{пр}$ - середня норма амортизації, %, $\Pi_{пр} = 5$ %;

K_v - капітальні вкладення у використання виробничих потужностей [23]

де, $F_{п}$ - площа виробничої дільниці;

h - висота приміщення цеху, $h = 8$ м;

$V_{п}$ - вартість 1 м³ виробничих потужностей, грн.

$$V_p = V - I_z \quad (6.14)$$

де C_v - середня вартість 1 м3 виробничих потужностей у цінах 2012 року, грн;

I_z - індекс зростання вартості, $I_z = 5,3$ [23].

$$C_v = 210,2 \text{ грн,}$$

$$C_v = 228960 \text{ грн,}$$

$$A_p = 1,9 \text{ грн.}$$

6.5 Собівартість продукції.

Величина собівартості продукції визначається сумою [23]

$$C_v = C_m + C_e + C_{озп} + C_{дп} + C_{сс} + C_i + C_{пл} + A_p + C_{тб} \quad (6.15)$$

$$C_p = 49,28 \text{ грн}$$

6.6 Загальна вартість .

Повна собівартість також включає наступні елементи

- нерозподілені постійні загальнопромислові витрати [23]

$$SNGC = (0,07 \dots 0,1) - CP, \quad (6.16)$$

$$SNOPC = 3,45 \text{ ГРН}$$

- наднормативні постійні витрати [23]

$$SSPG = (0,05 \dots 0,08) - CP, \quad (6.17)$$

$$SFPC = 2,46 \text{ ГРН}$$

адміністративні витрати [23]

$$CAOЗ = (0,15 \dots 0,20) - ЦВ, \quad (6.18)$$

$$CAOЗ = 7,39 \text{ ГРН}$$

операційні витрати на збут [23]

НУБІП України

$$CO3C = 0,05 \cdot CB, (6.19)$$

$$CO3C = 2,46 \text{ ГРН}$$

Собівартість реалізованої продукції [23]

НУБІП України

$$CPП = BПН + COПЧ + CO3T, (6.20)$$

$$CPП = 55.19 \text{ ГРН.}$$

НУБІП України

Повна собівартість реалізованої продукції [23]

$$CP = CP + CAO3 + CAPC, (6.21)$$

$$CP = 65,04 \text{ ГРН.}$$

НУБІП України

6.7 Розрахунок ціни реалізації з урахуванням ПДВ.

Інші операційні витрати визначаються за формулою [23]

НУБІП України

$$OPEX = (-0,02 \dots -0,04) \cdot CP, (6.22)$$

$$OP = 0,985 \text{ ГРН.}$$

Норма прибутку для машинобудівних підприємств визначається в межах РНП = 15 ... 25%, а планове значення прибутку становить [23].

НУБІП України

$$ПП = (0,15 \dots 0,25) \cdot CB, (6.23)$$

$$ПП = 7,39 \text{ грн}$$

Оптову ціну на виріб без ПДВ визначаємо за формулою [23]

НУБІП України

$$Ц_{opt} = CP + CO3 + PP, (6.24)$$

$$Ц_{opt} = 73,417 \text{ грн}$$

Податок на додану вартість становить за чинним законодавством $C_{ПДВ} = 20\%$, а величина податку [23]

$$C_{ПДВ} = 0,2 \cdot C_{опт},$$

(6.25)

$$C_{ц} = 14,68 \text{ грн}$$

Відпускна ціна на вироби з ПДВ визначається [23]

$$C = C_{опт} + C_{ПДВ} \text{ грн},$$

(6.26)

$$C = 88,10 \text{ грн}$$

Результати розрахунків вказані в калькуляції, яка має стандартну форму, наведену нижче у таблиці 6.1 .

Таблиця 6.1 Калькуляція

Шифр рядка	Найменування статей калькуляції	Затрати на одиницю, грн./шт
01	Сировина і матеріали	8,4
02	Напівфабрикати власного виробництва	-
03	Зворотні відходи	-
04	Куплені комплектуючі вироби, напівфабрикати, роботи і послуги виробничого характеру від сторонніх підприємств	-
05	Паливо і енергія на технологічні цілі	3,74
06	Основна заробітна плата робітників	9,1
07	Додаткова заробітна плата робітників	2,5
08	Відрахування на соціальне страхування	4
09	Витрати від браку	0,84
10	Витрати, пов'язані з підготовкою та освоєнням виробництва продукції	-
11	Витрати на утримання, експлуатацію та амортизацію пристроїв та інструментів	7,1

12	Витрати на утримання, експлуатацію та амортизацію обладнання	0,8
	Технологічна собівартість	36,48
13	Загальновиробничі витрати: - постійні (40%) - змінні (60%)	-
14	Виробнича собівартість	49,28
15	Перозподілені постійні загальновиробничі витрати	3,45
16	Понаднормативні виробничі витрати	2,46
17	Собівартість реалізованої продукції	55,19
18	Операційні витрати: - адміністративні - витрати на збут	7,39 2,46
19	Повна собівартість	65,04
20	Інші операційні витрати	0,98
21	Норма прибутку	7,39
22	Оптова ціна	73,42
23	Податок на додану вартість	14,68
24	Відпускна ціна з ПДВ	88,10

6.8 Висновки

Браховуючи до уваги, що ціна нового поршня на двигун ЯМЗ-236 становить (за даними « Укравтозапчастини ») 187,5 грн , а ціна відновленого складає всього 88,10 грн., то дана технологія може бути конкурентноздатною .

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто існуючі методи відновлення поршнів дизельних двигунів, дефекти та рівні зносу робочих поверхонь поршнів.

2. Проаналізувавши досвід ремонту поршнів двигунів на провідних авторемонтних підприємствах, зроблено висновки щодо основних дефектів, які виникають в процесі експлуатації, частоти їх повторення та розподілу зносу. Визначено найбільш повторювані дефекти поршнів: спідниця, отвір під поршневий палець та канавки під перше та друге компресійні кільця.

3. Розроблено технологію відновлення поршнів.

4. Проведено розрахунок техніко-економічних показників та ефективності проектних рішень, які показали прийнятність запропонованого способу відновлення поршня двигуна ЯМЗ-236.

5. Після апробації запропонованого методу можливе застосування технології відновлення поршнів дизельних двигунів на різних заводах та авторемонтних підприємствах, включаючи можливість використання даної технології для відновлення поршнів інших моделей двигунів.

СПИСОК ИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Запобігання аварійності і травматизму у сільському господарстві / С. Д. Лехман, В. І. Рубльов, Б. І. Рябцев та інші. - К. : Урожай, 1993.-272 с.

2. Кринецький І. І. Основи наукових досліджень: Навч. посібник для ВУЗів. - Київ - Одеса: Вища школа, 1981. - 208 с.

3. Малахов В. С., Ружи́ло З. В. Оцінка пошкоджень деталей вакуумних насосів типу УВБ і РВН // Праці ювілейної наукової конференції викладачів, наукових співробітників та аспірантів, присвяченої 65-річчю факультету МСГ. - К.: НАУ. - 1994. - С. 51.

4. Ремонт сільськогосподарської техніки. Довідник. / за ред. О. І. Сідашенка, О. А. Науменка. - К. : Урожай, 1992. - 304 с.

5. Ружи́ло З. В. Види пошкоджень деталей вакуумних пластинчато- роторних насосів та їх кількісна оцінка // Механізація сільськогосподарського виробництва. - Том III. : К. - НАУ, 1997. - С. 74-76.

6. Надійність сільськогосподарської техніки/ В.В. Аулін, С.Г. Гранкін, М.І.Черновол, В.Ю.Черкун; За ред. М.І.Черновола. – К.: Урожай, 2010. – 242 с.

7. Сідашенко О.І. Ремонт машин і обладнання: підручник / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко, Т.С. Скобло та ін.; за ред. проф. О.І. Сідашенка, О.А. Науменка. – К.: Аграр Медіа Груп, 2018. – 632 с.

8. Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Новицький А. В., Ружи́ло З. В. Кваліметрія: навчальний посібник. Київ : Прінтеко, 2022. 201 с.

9. Надійність сільськогосподарської техніки/ С.Г.Гранкін, В.С. Малахов, М.І.Черновол, В.Ю.Черкун; За ред. В.Ю.Черкуна. – К.: Урожай, 1988. – 208 с.

10. Надійність техніки. Системи технологічні. Терміни та визначення. ДСТУ 2470-94. - [Чинний від 01.01.95] – К.: Держспоживстандарт України. 1994.

11. Дзюба Л., Зима Ю., Лютий Є. Основи надійності машин. – Львів, Логос. 2003. 203 с.

12. Ремонт машин / О.І.Сідашенко, О.А.Науменко, А.Я. Поліський та ін., За ред. О.І.Сідашенка – К.: Урожай, 1994.- 400 с.

13. Практикум з ремонту машин. Загальний технологічний процес ремонту та технології відновлення і зміцнення деталей машин. Том 1: Навчальний посібник / [Сідашенко О. І., Тіхонов О. В., Скобло Т. С., Мартиненко О. Д., Гончаренко О. О., Сайчук О. В., Аветісян В. К., Автухов А. К., Рибалко І. М., Сиромятніков П. С., Бантковський В. А., Маніло В. Л.] / За ред. О.І. Сідашенко, О.В. Тіхонова. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 416с.

14. Практикум по ремонту машин / О.І. Сідашенко, О.А. Науменко.; За ред. О.І. Сідашенка - Харків.: Прапор, 1992. – 380с.

15. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З. В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБІПУ, 2017. 221 с.

16. Новицький А. В., Карабиньош С. С., Ружило З. В. Організація сервісного виробництва. К.: НУБІПУ, 2017. 221 с.

17. Надійність сільськогосподарської техніки: Підручник. / М.І. Черновол, В.Ю. Черкун, В.В. Аулін та ін.; За заг. ред. М.І. Черновола. Кіровоград: ТОВ «КОД», 2010. 320 с.

18. Ревенко Ю. І., Бистрий О. М., Мельник В. І., Новицький А. В., Ружило З. В. Кваліметрія: навчальний посібник. Київ : Прінтеко, 2022. 201 с.

19. Технічний сервіс в АПК: навчально-методичний посібник для самостійної роботи студентів / Ю. Г. Сорваніді, Д. П. Журавель, А. М. Бондар, О. Ю. Новік. Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2021. 157 с.

20. Сукач М.К. Технічний сервіс машин : навч. посібник. Київ : Вид. «во Ліра» К, 2017. 290 с.

21. ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВІ ЗВ'ЯЗКИ ПАРАМЕТРІВ ...
Житомирська політехніка <https://conf.ztu.edu.ua/uploads/2022/12/>

22. Байрачний Б.І., Орехова В.В., Харченко Э.П. та інші. Довідник гальванщика. – Харків: Прапор, 1988. – 180 с.

23. Покропивний С.Ф. Ефективність ремонту машин. Київ: Техніка, 1995. 254 с.

24. Пилипчук В.А., Ружи́ло З.В. Аналіз способів відновлення поршнів
двигунів ЯМЗ. Збірник наукових публікацій студентів факультету конструювання
та дизайну. – Київ: 2015. – с. 17-18.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України