

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Технологічні засоби відновлення і підвищення зносостійкості робочих поверхонь гільз циліндрів автомобільного двигуна з дослідженням трибоспряження з визначенням параметрів моделі зношування*

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МАм-62
спеціальності 274

«Автомобільний транспорт»

(шифр і назва спеціальності)

Олег НИЧИК

Роман НЕЧИПОРЕНКО

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

Андрій ГУПКА

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

Михайло ЛЕВКОВИЧ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Зав. кафедри

Олег ЦЬОНЬ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ничику Олегу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Технологічні засоби відновлення і підвищення зносостійкості робочих поверхонь гільз циліндрів автомобільного двигуна з дослідженням трибоспряження з визначенням параметрів моделі зношування*

Керівник роботи Гупка А.Б., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-972.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи *Конструкція циліндро-поршневої групи та гільз циліндрів автомобільних двигунів (геометричні параметри, матеріали, режими роботи). Технічна та ремонтна документація на двигуни типових автомобілів (каталоги деталей, допуски й технічні умови на гільзи циліндрів, вимоги до шорсткості та твердості робочих поверхонь).*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Гільза, шток – 1 лист А1

Графотехнологія – 1 лист А1

Калібр-пробка. Контроль розміру – 1 лист А1

Установка для випробування по схемі перехресних циліндрів – 1 лист А1

Схема пристрою для фінішної антифрикційної без абразивної обробки – 1 лист А1

Схема контролю внутрішньої поверхні гільзи – 1 лист А1

[illegible][illegible]

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Інженерії машин, споруд та технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Автомобілів

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Цьонь О.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«14» листопада 2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 274 Автомобільний транспорт

(шифр і назва спеціальності)

студенту Нечипоренку Роману Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Технологічні засоби відновлення і підвищення зносостійкості робочих поверхонь гільз циліндрів автомобільного двигуна з дослідженням трибоспряження з визначенням параметрів моделі зношування*

Керівник роботи Гупка А.Б., к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «14» листопада 2025 року № 4/7-972.

2. Термін подання студентом завершеної роботи 22 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до роботи *Конструкція циліндро-поршневої групи та гільз циліндрів автомобільних двигунів (геометричні параметри, матеріали, режими роботи). Технічна та ремонтна документація на двигуни типових автомобілів (каталоги деталей, допуски й технічні умови на гільзи циліндрів, вимоги до шорсткості та твердості робочих поверхонь).*

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Загально-технічний розділ. 2 Технологічний розділ. 3 Конструкторський розділ.

4 Науково-дослідний розділ. 5 Охорона праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Схема приладу К-69 для ТО стану ЦПГ двигун без розбирання – 1 лист А1

Пристрій для контролю – 1 лист А1

Поперечний розріз двигуна - 1 листа А1

Графотехнологія – 1 лист А1

Схема установки для хромування гільзи – 1 лист А1

[illegible][illegible]

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Актуальність роботи зумовлена жорсткими умовами експлуатації сучасних двигунів внутрішнього згорання, що супроводжуються високими тепловими, механічними й динамічними навантаженнями та призводять до інтенсивного зношування гільз циліндрів і погіршення показників паливної економічності та токсичності. Під дією газової корозії, абразивно-адгезійного зношування й змінних контактних напружень порушуються геометрія та трибологічний стан робочої поверхні гільз, що зумовлює необхідність застосування ефективних технологій їх відновлення.

Технологічна частина присвячена розробленню процесу відновлення робочих поверхонь гільз із застосуванням зносостійких покриттів, зокрема електролітичного хромування, а також операцій механічної обробки, фінішного хонінгування та контролю параметрів мікрорельєфу. Окрему увагу приділено обґрунтуванню технологічних режимів, підбору обладнання й спеціальних пристроїв для закріплення та обробки гільз, а також забезпеченню необхідної точності розмірів, шорсткості та твердості відновленого шару.

Експериментальна частина включає дослідження трибоспряження, що моделює контакт «гільза–кільце», з оцінюванням впливу контактного тиску, швидкості ковзання, стану мастильного середовища й структури поверхневого шару на інтенсивність зношування. За результатами випробувань визначено параметри моделі зношування, проведено порівняльний аналіз роботи базового матеріалу та відновлених поверхонь, встановлено раціональні режими навантаження і умови мащення, за яких забезпечується зниження інтенсивності зносу.

Наукова новизна роботи полягає в уточненні закономірностей зношування робочих поверхонь гільз циліндрів з хромовими та іншими зносостійкими покриттями в умовах, близьких до реального робочого процесу двигуна, та в удосконаленні підходів до параметризації моделі зношування трибоспряження «циліндр–кільця». Практична цінність полягає в тому, що запропонована технологія відновлення й результати трибологічних досліджень

можуть бути використані на ремонтних підприємствах автомобільного транспорту для підвищення ресурсу циліндро-поршневої групи, зниження витрат на капітальний ремонт двигунів і покращення їх екологічних та експлуатаційних показників.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	1
ЗМІСТ	3
ВСТУП	6
1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Аналіз умов роботи циліндро-поршневої групи двигуна	8
1.2 Циліндро-поршнева група двигуна	12
1.2.1 Гільза циліндра	12
1.2.2 Поршень і поршневі кільця	13
1.3 Система мащення двигуна	17
1.4 Визначення сил і контактного тиску у вузлі тертя	19
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	24
2.1 Контрольний огляд при діагностиці технічного стану двигуна і заміна його деталей	24
2.2 Контрольний огляд циліндро-поршневої групи	26
2.3 Перевірка компресії в циліндрах двигуна	29
2.4 Діагностика поршневих кілець	31
2.5. Визначення технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна без його розбирання	33
2.6 Аналіз технічних умов на відновлення поверхні гільзи циліндра і методи їх забезпечення	34
2.7 Розробка технологічного процесу відновлення гільзи циліндра	35
2.8 Порядок розрахунку величин припусків	36
2.9 Загальний принцип вибору основних методів для підготовки даної поверхні під процес відновлення	39
2.10 Розрахунок та вибір режимів обробки і відновлення поверхні деталі	39
2.11 Аналітичний розрахунок складових норм часу технологічного процесу хромовання поверхні деталі	42

2.12 Призначення режимів різання на обробку поверхні після відновлення за нормативами	44
3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	50
3.1 Пристрої для відновлення поверхні гільзи циліндра хромуванням	50
3.2 Фінішні методи обробки відновленої поверхні	56
3.3 Вибір технологічного обладнання та пристроїв для виконання технологічної операції	59
3.4 Розрахунок і проектування вимірювального інструмента	60
3.5 Пристосування для випресовки гільз циліндрів двигуна	61
3.6. Порядок розрахунку та вибір гвинтового механізму	62
4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ	70
4.1 Досліджування на зношування. Метод досліджування та його переваги	70
4.2 Будова та принцип роботи стенду для проведення лабораторних досліджень на зношування. Методика дослідження	73
4.3 Результати випробувань і визначення параметрів моделі зношування	75
4.3.1 Порядок визначення основних параметрів прийнятої моделі зношування для гільзи циліндра після хромування	76
4.3.2 Визначення параметрів моделі зношування спеціального чавуну	77
4.4 Визначення інтенсивності зношування	79
4.5 Метод випробувань деталей типу циліндр та параметри моделі їх зношування	80
4.6 Розподіл величин зносу по поверхнях деталей пар тертя	87
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	94
5.1 Аналіз та характеристика потенційних небезпек і шкідливих умов в проєктованому цеху	94
5.2 Характеристика стихійних лих, аварій, катастроф та їх наслідки	100
5.3 Закон про захист населення та території від надзвичайних ситуацій	105

ВИСНОВКИ	114
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	116

ВСТУП

Сучасні автомобільні двигуни внутрішнього згоряння працюють у складних умовах високих теплових, механічних та динамічних навантажень, що визначає підвищені вимоги до довговічності деталей циліндро-поршневої групи, зокрема гільз циліндрів. Саме ці елементи формують герметичність робочої камери, забезпечують стабільність параметрів згоряння та значною мірою визначають ресурс силового агрегата. Під дією газової корозії, абразивного та адгезійного зношування, а також змінних контактних навантажень поверхня гільз поступово втрачає свої геометричні та трибологічні характеристики, що супроводжується падінням компресії, зниженням потужності, збільшенням витрат мастила і токсичності відпрацьованих газів.

У цих умовах актуальною є проблема відновлення працездатності гільз циліндрів методами, які забезпечують підвищення їхньої зносостійкості та відновлення геометричної точності. Особливого значення набувають технології зміцнення поверхні у вигляді електролітичного хромування, що дозволяє формувати робочий шар з високою мікротвердістю, низьким коефіцієнтом тертя та підвищеною корозійною стійкістю. Застосування таких покриттів забезпечує збільшення ресурсу гільз, покращення трибологічних властивостей та підвищення надійності всієї циліндро-поршневої групи.

Разом з технологічними аспектами ремонту важливим є наукове обґрунтування закономірностей зношування поверхонь тертя. Дослідження моделі зношування дозволяє кількісно оцінити інтенсивність руйнування матеріалу, визначити ключові параметри контактної взаємодії та прогнозувати залишковий ресурс деталі. У дипломній роботі проведено експериментальні дослідження поведінки зразків, що імітують робочу поверхню гільзи, визначено параметри моделі зношування та встановлено вплив технології відновлення на трибологічні властивості відремонтованої поверхні.

Метою роботи є підвищення ресурсу гільз циліндрів шляхом застосування технологічних методів відновлення та поглиблене дослідження процесів зношування в парі «циліндр–кільця». Для досягнення поставленої мети виконано аналіз умов роботи циліндро-поршневої групи, розроблено

технологічний процес відновлення поверхні гільзи хромуванням, промодельовано контактні навантаження та проведено експериментальні випробування, за результатами яких визначено параметри моделі зношування.

Наукова та практична цінність роботи полягає в поєднанні глибокого трибологічного аналізу, технологічного забезпечення процесу відновлення та обґрунтування конструкційних рішень спеціальних пристроїв, що забезпечують якісне проведення ремонтних операцій. Результати досліджень можуть бути використані у виробничих та ремонтних підприємствах автомобільного транспорту, а також у подальших наукових розробках у сфері триботехніки та підвищення довговічності робочих поверхонь двигунів.

1 ЗАГАЛЬНО-ТЕХНІЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Аналіз умов роботи циліндро-поршневої групи двигуна

Сучасний комбінований двигун внутрішнього згоряння є складним технічним агрегатом, який включає сукупність взаємопов'язаних механізмів, систем і допоміжних пристроїв. Кожен із цих елементів, у свою чергу, структурно поділяється на вузли та групи деталей, що здебільшого виконуються як самостійні складальні одиниці. Відповідно, у конструкції двигуна доцільно виділяти основні механізми та системи, що забезпечують перетворення енергії згоряння палива у корисну механічну роботу.

Кривошипно-шатунний механізм об'єднує рухомі деталі, які сприймають тиск газів у циліндрі та забезпечують перетворення поступального руху поршня в обертальний рух колінчастого вала. Одночасно він виконує функцію передачі робочих зусиль до вихідної ланки приводу, пов'язаної з муфтою, гвинтом або іншим елементом відбору потужності. До складу кривошипно-шатунного механізму належать поршневі комплекти, шатуни (у низці конструкцій — крейцкопфні вузли), колінчастий вал і маховик.

Остов (корпус) двигуна формується нерухомими деталями, призначеними для базування та підтримання елементів кривошипно-шатунного механізму і забезпечення необхідної жорсткості конструкції. До основних елементів остова відносять фундаментну раму або піддон, картер, циліндри та кришку (головку) циліндрів. До пристроїв продувки й наддуву, що забезпечують зарядку циліндрів робочим тілом, відносять продувочний насос (для двотактних двигунів), наддувочний агрегат, елементи його приводу, ресівер продувочного та наддувочного повітря, охолоджувач повітря і повітряний фільтр.

Механізм газорозподілу призначений для організації газообміну в циліндрі шляхом випуску продуктів згоряння та впуску свіжого заряду. Він включає випускні та впускні органи, а також кінематичний привід, що передає рух від колінчастого вала до елементів керування клапанами. Типово до складу

механізму належать розподільний вал, шестірні приводу, штовхачі, штанги та коромисла.

Система живлення (паливна система) є сукупністю елементів, що забезпечують підготовку палива, його дозування та формування паливоповітряного заряду відповідно до режимів роботи двигуна. Для дизельних двигунів до складу системи живлення, як правило, входять паливні баки, паливопідкачувальний насос низького тиску, фільтри очищення, компресор (за наявності пневматичних систем), паливний насос високого тиску, форсунки та паливопроводи. У системах із зовнішнім сумішоутворенням застосовуються паливний бак, насос, фільтри, карбюратор або змішувальний пристрій і відповідні трубопроводи.

Система мащення об'єднує пристрої, призначені для подавання мастильного матеріалу до пар тертя з метою зменшення механічних втрат, зниження інтенсивності зношування та відведення теплоти від навантажених поверхонь. До її складу належать масляні насоси, фільтри, маслозбірники, охолоджувачі масла та елементи подачі мастила до відповідальних вузлів.

Система охолодження призначена для підтримання допустимого теплового стану деталей, що контактують із високотемпературними газами, та запобігання їх термічному перевантаженню. Відведення теплоти може здійснюватися рідинним або повітряним способом, а в окремих конструкціях — також маслом чи паливом, зокрема під час охолодження поршнів і елементів паливної апаратури (насос-форсунок). Залежно від прийнятої схеми охолодження до цієї системи входять пристрої підведення охолоджувача до теплонавантажених зон, а також теплообмінники, що забезпечують інтенсивний тепловідвід до навколишнього середовища.

Поряд із базовими механізмами та системами в конструкції двигуна можуть застосовуватися додаткові підсистеми, зумовлені типом робочого процесу й умовами експлуатації. До них відносять систему запалення (для двигунів із запалюванням від стороннього джерела), а також пристрої пуску, реверсу, контролю параметрів, керування та утилізації відхідної теплоти.

Наявність таких пристроїв підвищує функціональність силового агрегату, однак одночасно ускладнює конструкцію та висуває підвищені вимоги до надійності й технічного обслуговування.

До ключових експлуатаційних вимог до поршневих двигунів відносять рівномірність ходу та врівноваженість. Рівномірність ходу визначає характер зміни крутного моменту в часі; за її порушення елементи трансмісійної передачі працюють у режимі ударних навантажень, що спричиняє прискорене зношування та підвищує імовірність відмов. Врівноваженість двигуна обумовлюється наявністю вільних сил і моментів інерції, що виникають при обертальному та зворотно-поступальному русі мас кривошипно-шатунного механізму і передаються на опори силового агрегату. При цьому нерівномірність ходу та неврівноваженість є різними явищами і не повинні ототожнюватися.

У врівноваженому двигуні під час роботи на сталому режимі навантаження на опори має переважно сталий характер. У разі недостатньої врівноваженості змінні інерційні навантаження викликають інтенсивні вібрації, які передаються на фундамент або моторну раму. Такі коливання призводять до додаткового навантаження підшипникових опор, послаблення різьбових та посадкових з'єднань, руйнування трубопроводів, погіршення точності показів контрольно-вимірювальних приладів і ускладнюють експлуатацію агрегату в цілому.

Найбільш виражені прояви нерівномірності ходу та неврівноваженості характерні для одноциліндрових чотиритактних двигунів. Підвищення рівномірності обертання колінчастого вала за рахунок встановлення маховика є прийнятним переважно для стаціонарних двигунів, що працюють при близько сталому числі обертів. Для транспортних двигунів, які функціонують у широкому діапазоні частот обертання, застосування маховика великої маси є небажаним через збільшення габаритів і маси силового агрегату та зниження його здатності швидко змінювати частоту обертання, тобто погіршення прийомистості. З цієї причини одноциліндрові транспортні двигуни зазвичай

виконуються відносно малої потужності, що відповідає умовам їх застосування, зокрема в мотоциклетній техніці.

Зниження зазначених недоліків досягається шляхом переходу до багатоциліндрових схем. Зі збільшенням кількості циліндрів поліпшується рівномірність обертання колінчастого вала і зменшується потреба у важкому маховику. Крім того, добір раціонального взаємного розташування колін колінчастого вала дозволяє частково або повністю зрівноважити сили інерції, що знижує навантаження на підшипники та опори. Разом із тим при окремих схемах можуть виникати інерційні моменти, які створюють тенденцію до “перекидання” двигуна, тому оптимальними є такі компоновки, для яких сума інерційних сил і сума моментів цих сил наближаються до нуля.

На рівномірність обертання колінчастого вала та рівень врівноваженості силового агрегату істотно впливає послідовність протікання робочих процесів у циліндрах багатоциліндрового двигуна. Черговість виконання однойменних тактів у різних циліндрах визначається порядком роботи двигуна, який задає часовий розподіл робочих ходів у межах циклу та, відповідно, характер зміни крутного моменту на валу.

Порядок роботи багатоциліндрового двигуна зумовлюється кутовим взаємним розташуванням кривошипів колінчастого вала. Значення кута між кривошипами визначається тактністю двигуна та кількістю циліндрів, оскільки саме ці параметри формують частоту настання робочих ходів і рівномірність їх розподілу по куту повороту вала. Зокрема, для забезпечення максимально рівномірної роботи циліндрів у чотиритактному двигуні кут між кривошипами має відповідати умовам рівномірного чергування робочих тактів протягом 720° повороту колінчастого вала $\varphi = \frac{720^\circ}{i}$ у двотактних двигунах $\varphi = \frac{360^\circ}{i}$.

Де: 720° і 360° — тривалість циклу, i - число циліндрів.

Багатоциліндрові двигуни мають ще перевагу перед одноциліндровими у тому, що застосування декількох циліндрів малого діаметру замість одного великого завдяки зменшенню рухомих мас кривошипно-шатунного механізму дозволяє підвищити число оборотів двигуна, а отже, і його потужність.

По розташуванню і угрупованню циліндрів багатоциліндрові двигуни можна розділити на рядні, V-подібні і зіркоподібні. У рядних двигунах циліндри розташовані в один або декілька рядів уздовж колінчастого валу. З рядних двигунів найбільш поширені однорядні і дворядні з У-подібним або протилежним розташуванням циліндрів.

1.2 Циліндро-поршнева група двигуна

1.2.1 Гільза циліндра

Гільза циліндра двигуна це порожнистий циліндр з внутрішнім діаметром $130+0,025$ мм, зовнішнім діаметром 149 мм і завдовжки $285 -0,34$ мм. Гільзу циліндра виготовляють із спеціального чавуну. Хімічний склад і фізико-механічні властивості чавуну приведені в таблицях 1.1 і 1.2.

Таблиця 1.1 -. Хімічний склад чавунів (мас. %)

Марка матеріалу	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Призначення
Чавун спеціальний	3,1–3,6	2,0–2,4	0,7–0,9	0,02–0,07	<0,18	0,20–0,50	0,35–0,50	–	0,10–0,14	Деталі зносостійкі
Чавун легований Cr	3,0–3,4	1,8–2,2	0,6–1,0	<0,05	<0,15	0,8–1,4	–	–	–	Робота при абразивному зношуванні
Чавун Ni-резист	3,0–3,5	1,0–2,0	0,4–0,8	<0,03	<0,15	–	4,0–4,5	–	–	Корозійно-стійкі деталі
Високоміцний ВЧ50	3,4–3,8	2,3–2,8	0,3–0,6	<0,02	<0,08	–	–	0,05–0,1	0,2–0,4	Вали, шестерні, корпуси

Таблиця 1.2 - Фізичні та механічні властивості чавунів

Марка	Густина ρ , г/см ³	Теплопровідність λ , Вт/(м·К)	$\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/К	Тимчасовий опір $\sigma_{0.2}$, МПа	Межа пластичності $\sigma_{0.2}$, МПа	Ударна в'язкість КСУ, кДж/м ²	Твердість, НВ / НВ	Мікроструктура
Чавун спеціальний	7,1–7,35	45–55	9–13	210–240	120–150	0,45–0,95	НВ 180–250	Перліт + карбіди
Cr-	7,0–	35–42	10–	350–	230–	0,25–	НВ 220–	Перліт +

легований	7,25		12	420	260	0,45	300	M ₇ C ₃
Ni-резист	7,2–7,5	25–30	12–14	260–340	150–200	0,4–0,7	НВ 200–260	Аустеніт + карбіди
ВЧ50	7,1–7,3	45–55	11–12	500	350	7–10	НВ 160–220	

1.2.2 Поршень і поршневі кільця

Поршні для сучасних двигунів відливають із спеціальних високоміцних, жаростійких алюмінієвих сплавів, що містять кремній. В цілях кращого припрацювання поршнів їх бічні поверхні покривають тонким шаром олова. Надійне ущільнення між поршнем і циліндром забезпечується установкою на поршень пружних компресійних кілець. Компресійні поршневі кільця повинні прилягати до стінки циліндра без просвіту, а їх торці — щільно входити в канавки поршня. Для виготовлення поршневих кілець карбюраторних двигунів звичайно застосовується сірий чавун індивідуального відливання. Поршневі кільця для дизеля (238) виготовлені із спеціального легованого чавуну, що містить кремній, нікель, марганець і ін. У найважчих умовах працює верхнє поршневе кільце, тому що воно ближче за всіх знаходиться до гарячої зони, з нього найінтенсивніше вигоряє мастило, і, коли поршень знаходиться у верхній мертвій крапці, воно виходить із зони охолоджуючої сорочки гільзи циліндра. Для підвищення зносостійкості верхнього кільця його поверхню звичайно хромують.

Зовнішній поверхні нижнього компресійного кільця 17 поршня двигуна надається конічна форма, що покращує її прироблення до циліндра, і крім того, гостра кромка кільця забезпечує при його русі вгору подачу мастила на дзеркало циліндра, а при русі вниз - зняття мастила з дзеркала (рис. 1.1)

При установці компресійних кілець виточки, що є на їх внутрішніх поверхнях, повинні бути обернуті вгору, а замки розведені по колу під кутом 120—180° (залежно від кількості кілець на поршні).

Верхнє компресійне кільце дизеля покрите тонким шаром хрому, а друге і нижнє для кращого прироблення мають кільцеві канавки, покриті шаром олова. Аналогічні канавки є на ущільнюючій частині поршня.

Маслоз'ємні поршневі кільця запобігають попаданню масла в камеру згорання. На поршні двигуна (238) встановлюють два маслоз'ємних кільця. На поршні встановлюють одне розбірне пружинне маслоз'ємне кільце. Воно складається з двох розрізних дисків 14, між якими закладений осьовий пружинний розширювач 16, притискуючий їх до верхньої і нижньої стінок канавки поршня. Притиснення дисків до дзеркала циліндрів забезпечується встановленням радіального пружинного розширювача 15.

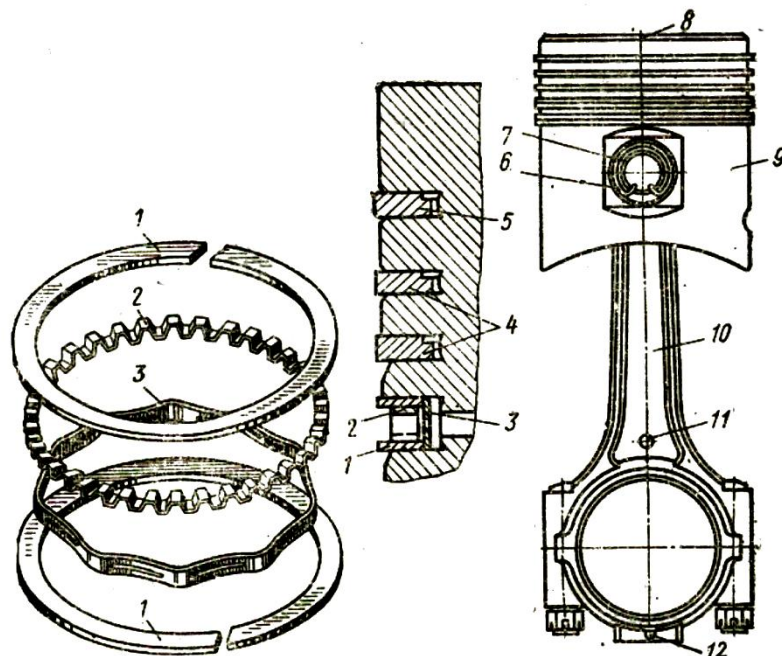


Рисунок 1.1 – Поршень і поршневі кільця:

а - поршень; б - поршневі кільця; в - установка поршневих кілець;

1 — компресійні розрізні кільця (верхнє та друге); 2 — рейки маслознімного трикомпонентного кільця (верхня й нижня); 3 — пружина-розширювач (хвилястий дистанційний елемент) маслознімного кільця; 4 — гільза (дзеркало) циліндра в перерізі 5 — поршень (тіло поршня, сорочка/юбка); 6 — канавки під поршневі кільця; 7 — канавка під маслознімне кільце з дренажними отворами; 8 — днище поршня; 9 — поршковий палець; 10

— шатун (стержень); 11 — нижня головка шатуна з вкладишами підшипника; 12 — кришка нижньої головки (болти/шпильки кріплення).

При роботі двигуна його поршні сприймають значні механічні, ударні і теплові навантаження. Нагрів поршнів посилюється внаслідок передачі через них тепла, що виникає в результаті тертя поршнів об стінки циліндрів. Втрати на тертя в поршневій групі звичайно складають 45—65% від сумарних втрат на тертя в двигуні.

Поршні, поршневі кільця і гільзи циліндрів випускаються з номінальними і ремонтними розмірами і підбираються за необхідними розмірами. Поршні і гільзи двигуна підрозділяються на чотири групи: АААА, ААА, АА і А, відповідно відмінні по діаметру на 0,01 мм, при цьому діаметри отворів гільз змінюються від 130,00 до 130,040 мм.

Підбір і установка поршнів і гільз проводиться по буквених мітках розмірних груп. На поршнях є ще настановна лиска. Бічна поверхня поршня ID-53 (у бобишки) має напис «перед». На днищі поршня є мітки «ЛР» або «ПР», що позначають ліву і праву групи (ряди) циліндрів, і стрілки, направлені до передньої частини двигуна; крім того, ці поршні повинні встановлюватися так, щоб камера згорання, що знаходиться в поршні, зміщувалася у бік осі двигуна.

Для перевірки правильності підбору поршня до гільзи між ними закладають стрічку-щуп завтовшки 0,05 мм для двигунів ID і 0,08 мм для і переміщують стрічку за допомогою динамометра. При цьому зусилля повинне бути в межах 3,5-4,5 кГ. Комплект поршнів для одного двигуна також повинен бути підібраний по вазі. В цілях підгонки поршнів по вазі знімається шар металу на внутрішній стінці спідниці поршня під бобишкою. Комплект поршнів для одного двигуна підбирається з точністю ± 2 г. Вага поршня ID-53 підбирається з точністю 535 ± 2 г.

Хромування кілець. Після механічної обробки поршневі кільця вказаних раніше двигунів піддаються пористому хромуванню по наступному технологічному процесу:

- кріплення кілець на підвіску на одну підвіску кріпляться 50 кілець (рис. 1.2);
- підготовка і установка свинцевого замку;
- затиск кілець в пристосуванні, зачистка замку і кріплення фіксаторів;
- знежирення віденським вапном;
- промивка в проточній воді;
- декапіровання в плавиковій кислоті;
- промивка в холодній воді;
- промивка в гарячій воді;
- хромування у ванні - склад: Cr_3 250 г/л; H_2SO_4 2,5 г/л при $\text{Oк} \sim = 50$ а/дм²; (5000 а/л²); $T=52-60^\circ\text{C}$; одночасно завантажується у ванну шість підвісок (300 кілець); товщина осаду 0,14-0,15 мм; тривалість хромування 3,5 год;
- дехромування у ванні того ж складу при $\text{Oк} = 40$ а/дм² (4000 а/м²) протягом 7 хв;
- промивка в холодній воді;
- зняття фіксаторів;
- промивка в гарячій воді;
- обдування стислим повітрям;
- зняття кілець;
- нагрів в машинному маслі протягом 2 год;
- стікання масла;
- ручне притирання;

Перед хромуванням струм протягом 1-2 хв надається в 2-2,5 рази більше обумовленого режимом хромування, встановленим технологічним процесом. Після покриття кілець відбувається десятихвилинне притирання їх на спеціальній установці із змінними чавунними гільзами. Для притирання застосовується суміш абразивного порошку (корунд, зернистість 180) з гасом у вигляді кашки, яка покриває стінки гільзи 2-3 рази за час притирання. Після

цього, поршні промиваються в гасі, потім в гарячій содовій воді і обдуваються стислим повітрям.

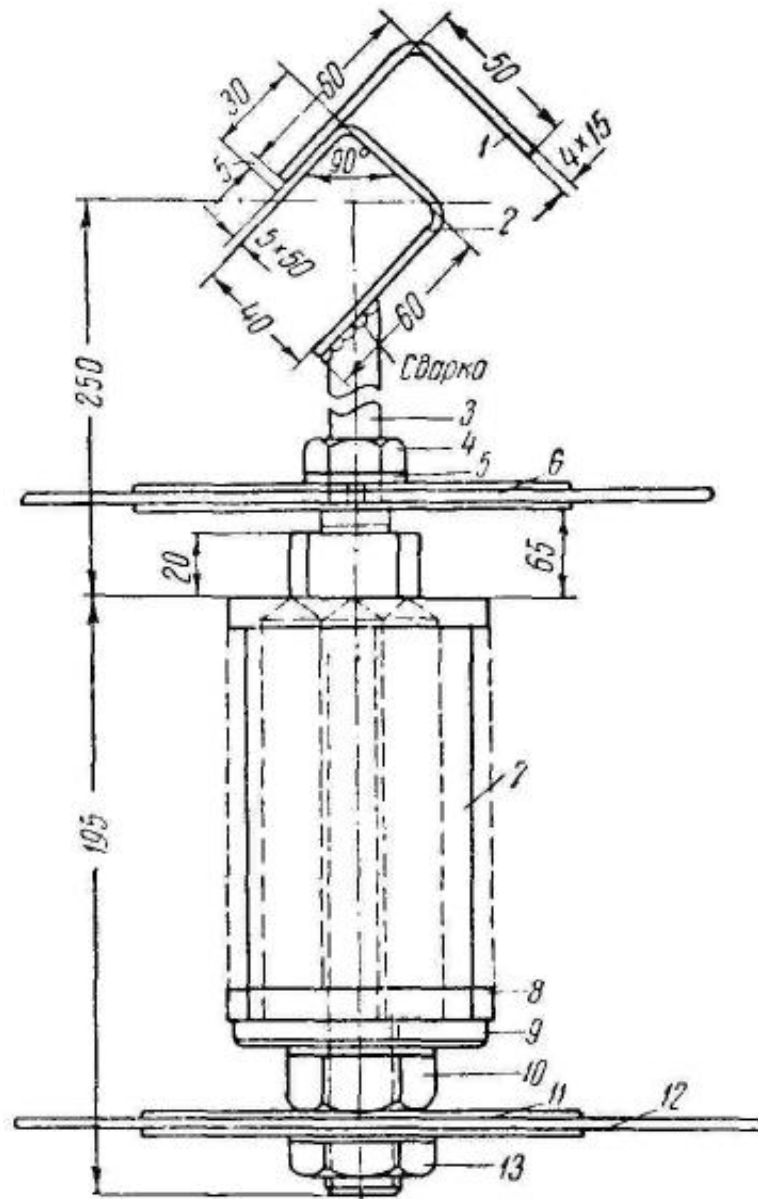


Рисунок 1.2 – Пристрій для хромування кілець

1.3 Система мащення двигуна

Система мащення призначена для розміщення, очищення й охолодження масла, подачі очищеного й охолодженого масла до поверхонь тертя деталей двигуна з метою зменшення їхнього тертя, зношування, нагрівання та видалення продуктів, що утворюються при цьому. За принципом подачі масла до поверхонь тертя система мащення комбінована: частина поверхонь тертя

деталей змащується під тиском, частина - розбризкуванням, частина - самопливом. Масло під тиском подається до найбільш навантажених поверхонь тертя деталей: корінним і шатунним підшипникам колінчатого вала, підшипникам розподільного вала, втулкам коромисел, гідromуфті приводу вентилятора, паливному насосу високого тиску і компресору. Передбачено пульсуючу подачу масла до верхніх сферичних опор штанг штовхальників. Інші поверхні тертя деталей змащуються розприскуванням і стікаючого з різних поверхонь маслом. Основна частина масла розміщується в піддоні двигуна «мокрый картер».

Циркуляція масла в системі здійснюється масляним насосом при номінальному тиску 400-550 кПа і припустимому його зниженні до 150 кПа на малих частотах обертання колінчатого вала. Очищення масла спочатку відбувається в сітчастому фільтрі маслоприймача, потім, у повнопоточному фільтрі тонкого очищення й у паралельно включеному відцентровому фільтрі додаткового очищення масла. Охолодження масла здійснюється в радіаторі потоком повітря, створюваним вентилятором системи охолодження. Вентиляція картера (видалення відпрацьованих газів і пар палива, що проникають у картер двигуна й погіршують якість масла) відбувається через сапун лабіринтового типу (рис. 1.3).

Контроль за станом системи мащення здійснюється по показчику тиску і лампі, що сигналізує про аварійне падіння тиску масла. Передбачено установку лампи, що сигналізує про засмічення фільтра тонкого очищення масла.

У системі мащення використовується: літом при температурі вище плюс 5° С масло М-10М₂К, взимку при температурі нижче плюс 5° С масло М-8М₂К. Замінник (всесезонне) - масло Дв-АСЗп-10В.

Система мащення включає піддон двигуна, маслозаборник, насос, повнопоточний з відцентровим фільтром очищення масла, радіатор, заливний патрубок, показчик рівня масла, сапун, контрольно-вимірювальні прилади, магістралі і трубопроводи.

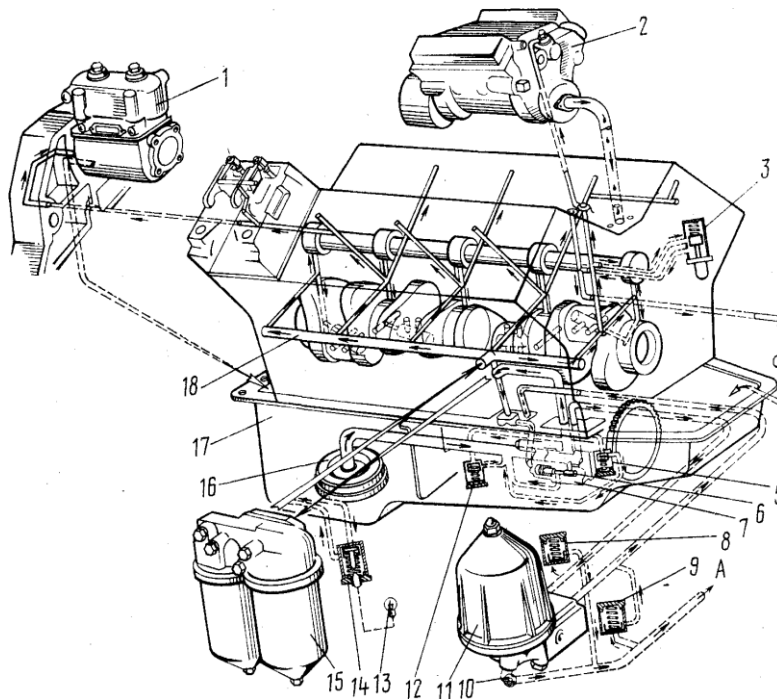


Рисунок 1.3 – Система мащення двигуна

1 — масляний насос приводу системи мащення; 2 — масляний фільтр тонкого очищення (знімний картриджного типу); 3 — блок циліндрів двигуна; 4 — головна магістраль системи мащення; 5 — канал подачі мастила до корінних підшипників колінчастого вала; 6 — канал подачі мастила до коромисел і клапанного механізму; 7 — контрольний канал (датчик тиску мастила); 8 — масляний картер (піддон картера); 9 — перегородка або маслоуловлювач в картері; 10 — датчик температури мастила; 11 — масляний фільтр грубого очищення; 12 — зливний клапан або патрубок зливу мастила; 13 — трубопровід мастила низького тиску; 14 — зворотна лінія подачі мастила; 15 — кронштейн або опора фільтра; 16 — перепускний клапан (захист від надлишкового тиску); 17 — масляний радіатор (теплообмінник); 18 — привод до масляного насоса (зрушення через розподільний вал або шестерний привід).

1.4 Визначення сил і контактного тиску у вузлі тертя

В процесі розрахунку деталей машин розрізняють робочі, граничні і допустимі напруження. Робочі, або дійсні напруження, - це напруження, яких

зазнає деталь в процесі роботи. Граничними напруженнями називаються напруження, що виникають в процесі механічних випробувань спеціальних зразків різних матеріалів при яких з'являються ознаки крихкого руйнування або істотні пластичні деформації матеріалу, передуючі руйнуванню випробовуваного зразка. До граничних відносяться наступні напруження: межі текучості матеріалу при розтягуванні σ_T і зрізі τ_T ; межі міцності (або тимчасовий опір розриву) при розтягуванні σ_B , зрізі або крученні τ_B ; межі витривалості, визначені при знакозмінному вигині σ_{-1} або крученні зразка τ_{-1} .

Яку з механічних характеристик матеріалу деталі прийняти як граничне напруження, залежить як від властивостей матеріалу (пластичний або крихкий), виду деформації (розтягування, стиснення, кручення, зріз), так і від характеру зміни напруження за часом.

Розглянемо три характерні випадки зміни напружень залежно від часу. Постійний (статичний) цикл напружень; при дії на деталь статичних навантажень в ній виникають постійні напруження. Пульсуючий цикл напружень - в цьому випадку напруження змінюються періодично від нуля до максимуму, від максимуму до нуля. Пульсуючі напруження позначаються σ_0 . Симетричний цикл напружень - напруження змінюються від нуля до максимуму, потім від максимуму до нуля, від нуля до мінімуму. При змінних напруженнях такого роду граничним напруженням будуть межі витривалості σ_{-1} та τ_{-1} . Допустимі, або розрахункові напруження. Вибір допустимих напружень є відповідальною і складною задачею, правильне рішення якої в значній мірі визначає можливість отримання при проектуванні надійних і у той же час легких і економічних конструкцій.

Теоретичні основи визначення допустимих напружень диференціальним методом. Допустима напруження, в загальному вигляді, рівне граничному напруженню поділеному на коефіцієнт запасу міцності і на відміну від дійсних напружень позначається буквою в квадратних дужках (нормальні $[\sigma]$ і дотичні $[\tau]$)

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{пред}}{n} \quad \text{або} \quad [\tau] = \frac{\tau_{пред}}{n}$$

Де: n - коефіцієнт запасу міцності, який можна визначити, як добуток трьох коефіцієнтів запасу міцності: $n = n_1 n_2 n_3$.

Де: n_1 – коефіцієнт, залежний від точності вибраного методу розрахунку або точності визначення діючих навантажень, точності розрахункової схеми.

При порівняно точному методі розрахунку $n_1 = 1—1,5$. При менш точному методі розрахунку $n_1 = 2—3$. n_2 – коефіцієнт, залежний від ступеня пластичності матеріалу, який визначається відношенням σ_T / σ_B . n_3 – коефіцієнт додаткового запасу міцності для відповідальних деталей. Залежно від ступеня відповідальності деталі $n_3 = 1,1—1,5$ і більше.

Визначення сил і контактного тиску між кільцем і гільзою циліндра є однією з складних задач. В цілому, тиск кільця на гільзу залежить від тиску газів в камері згоряння. Як відомо тиск під верхнім компресійним кільцем становить близько 75 % від тиску газів у циліндрі, а під нижнім кільцем лише 7,5 %, тобто в 10 разів менший (рис. 1.4).

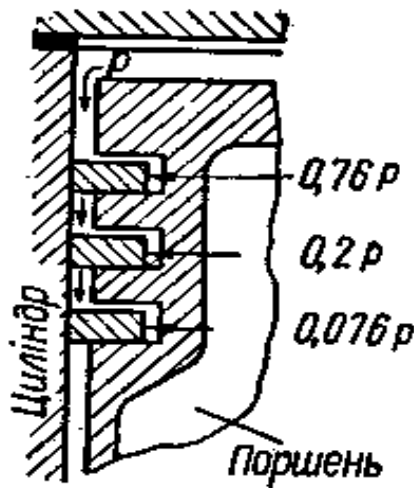


Рисунок 1.4 – Значення контактних тисків в парі тертя циліндр-поршень

Величина компресії двигуна повинна бути не нижчою 30 кг/см^2 , що є досить великим значенням і тому тиск в контакті пари тертя гільза – кільце становитиме $\sigma = 0,76 \cdot 30 = 22,8 \text{ кг/см}^2$. Окрім тиску від газів, ще існує тиск від пружності кілець.

Розглянемо контакт деталей циліндро-поршневої групи (рис. 1.5). У момент спалаху палива в камері згорання утворюється тиск газів P , іншими словами компресія, яка діє на гільзу циліндра 2, поршень 4 і верхнє компресійне кільце 3 (також і на решту кілець). Тиск діє на головку поршня і виступи кільця, що у результаті мають діаметр $D=130$ мм. Слід зазначити, що кільце прилягає до канавки поршня з деяким зазором, допустима межа якого складає 0,098 мм (для двигуна). Саме через цей зазор велика частина газів проривається в картер. Проте, попадання газів в картер здійснюється ще і через зазор на стиках кільця. Для двигуна максимально допустимий зазор в стику кільця 0,65 мм.

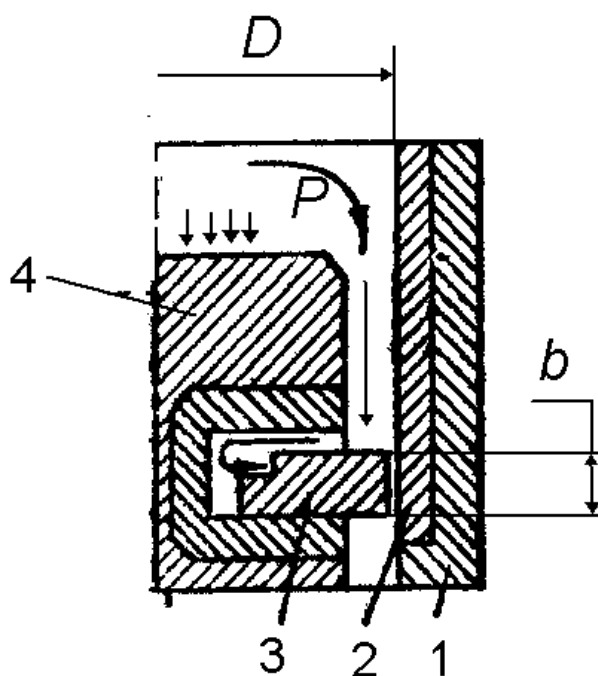


Рисунок 1.5 - Схема дії газів в камері згорання двигуна

1 – гільза циліндра; 2 – вставка гільзи циліндра; 3 – верхнє компресійне кільце; 4 – поршень.

Також, кільця характеризуються своєю пружністю, значення якої різне для кілець кожної марки двигунів. Сила пружності компресійного кільця ДВЗ

$$\sigma_{\text{пру}} = \frac{P_{\text{пру}}}{S}$$

$P_{\text{пру}}=3.1$ кг. Визначимо контактний тиск, який утворюється тільки від пружності кільця шириною $b= 3$ мм. за формулою:

Де: S - площа контакту між гільзою і кільцем.

В даному випадку контакт здійснюється по зовнішній поверхні кільця, тоді: $S = \pi D \cdot b = 3.14 \cdot 130 \cdot 3 = 12246 \text{ мм}^2$. Визначимо тиск від пружності кільця:

$$\sigma_{\text{пру}} = \frac{3,1}{12,246} = 0,253 \text{ кг/см}^2.$$

Загальний робочий тиск між кільцем та гільзою становитиме:

$$\sigma_p = \sigma + \sigma_{\text{пру}} = 22,8 + 0,253 = 23,05 \text{ кг/см}^2.$$

Визначення сили тиску, яка діє на поршень і кільця:

$$Q = \pi D P$$

Отже, через циліндро-поршкову систему передається зусилля 12654 Н.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Контрольний огляд при діагностиці технічного стану двигуна і заміна його деталей

Під час експлуатації двигун піддається поступовому зношуванню, що призводить до зниження його потужності, надійності й паливної економічності; при надмірному спрацюванні з'являються сторонні шуми, посилене димлення, зростає ймовірність відмов і аварійних поломок, тому контроль технічного стану та своєчасне усунення дефектів є критично важливими для забезпечення довговічності агрегату. Натомість передчасне розбирання силового агрегата без обґрунтованої необхідності є недоцільним, оскільки порушує сформовані поверхневі приработки деталей, скорочує їх ресурс, призводить до зайвих витрат матеріальних і трудових ресурсів, а також збільшує період простою транспортного засобу.

Технічно справний двигун внутрішнього згоряння має забезпечувати стабільну роботу на холостому ходу, розвивати номінальну потужність у режимі повного навантаження, не перегріватися, не допускати надмірного димлення та витоків мастила через ущільнення. Найбільш інтенсивному спрацюванню піддаються елементи циліндро-поршневої групи та кривошипно-шатунного механізму — циліндри, поршневі кільця, поршні, колінчастий вал і підшипники, а технічний стан саме цих складових визначає подальшу можливість безпечної експлуатації або необхідність ремонтного втручання.

У сучасних рядних і V-подібних двигунах, що застосовуються на автомобілях таких марок як Volkswagen (TSI/TDI), Renault/Nissan (H/HR, K9K), Mercedes-Benz (OM-серія), Ford EcoBoost, Toyota (DZ, GD), BMW (B-серія), MAN/Scania для вантажних автомобілів, широко використовуються блоки циліндрів зі змінними вставними мокрими або сухими гільзами, що істотно спрощує відновлення геометрії циліндрів і покращує ремонтпридатність силового агрегата. Для підвищення зносостійкості поверхонь циліндрів, особливо у верхній зоні, яка працює при підвищених температурах і тисках,

застосовують гільзи зі сплавів з високою жаро- та корозійною тривкістю, таких як леговані нірезистові або сучасні високоміцні чавуни з модифікованою структурою, а також технології зміцнення — плазмове напилення, хромування, никелювання та лазерно-індукційне упрочнення, що забезпечує суттєве підвищення ресурсу двигуна в умовах інтенсивних навантажень сучасної автомобільної техніки.

Таблиця 2.1 - Види зношування та допустимі параметри технічного стану сучасних двигунів внутрішнього згоряння

Деталі двигуна внутрішнього згоряння	Основні види зношування	Нормований параметр стану	Допустиме значення (після припрацювання)	Критичне значення (необхідний ремонт)	Примітка
Циліндри (гільзи)	Абразивне, корозійне, адгезійне, овальність, конусність	Овальність /конусність	$\leq 0,03-0,05$ мм	$> 0,10$ мм	При мокрих гільзах можливе хромування або заміна
Поршневі кільця	Абразивне, адгезійне, зменшення пружності	Зазор у замку кільця	$0,2-0,6$ мм	$> 1,2$ мм	Перевірка у верхній зоні гільзи
Поршень	Теплове та механічне спрацювання, задирки	Діаметр спірної поршня	Зменшення $\leq 0,05$ мм	$> 0,10$ мм	Важливо враховувати теплове розширення
Колінчастий вал	Втомне, абразивне, фретінг	Зменшення діаметра шийок	$\leq 0,03$ мм	$> 0,10$ мм	Можливе шліфування під ремонтний розмір
Корінні та шатунні підшипники	Втомне, корозійне, абразивне	Радіальний зазор	$0,03-0,10$ мм	$> 0,15$ мм	Важлива чистота оливи
ГРМ (розподільний вал, штовхачі)	Зношування профілю кулачків	Зменшення висоти кулачка	$\leq 0,10$ мм	$> 0,30$ мм	Впливає на фазування

Клапанний механізм (напр. втулки клапанів)	Абразивне + ударне	Збільшення зазору стержня в втулці	$\leq 0,05-0,10$ мм	$> 0,15$ мм	Викликає димність і шум
Турбокомпресор (якщо є)	Ерозійне, фретинг, втомне	Радіальний люфт ротора	$\leq 0,10$ мм	$> 0,20$ мм	Критично для мастила і ресурсу

2.2 Контрольний огляд циліндро-поршневої групи

У процесі тривалої експлуатації двигуна найбільш інтенсивно зношується внутрішня робоча поверхня гільзи циліндра, де можуть виникати задирні пошкодження, глибокі подряпини, локальні вм'ятини та заусениці на торцевих поверхнях, що погіршує герметичність газового стику та спричиняє зниження компресії й потужності двигуна; при незначних пошкодженнях окремі ризики можна ліквідувати шляхом локального зачищення абразивною шкуркою із зернистістю 80–120, однак за наявності значного спрацювання поверхні виконується розточування гільзи під ремонтний розмір з подальшим доведенням дзеркала циліндра, оскільки показники шорсткості мають відповідати не нижче 9-го класу чистоти за вимогами сучасних стандартів; з метою формування оптимального мікрорельєфу та забезпечення утримання мастильної плівки застосовують фінішні операції: хонінгування, розкочування, суперфінішування, притирання, шліфування та полірування, а у сучасних високонавантажених двигунах — також плато-хонінгування із створенням багаторівневої структури поверхні.

Герметичність стику гільзи з блоком і щільність водяної сорочки забезпечуються встановленням еластомерних ущільнювальних елементів, найчастіше у вигляді термостійких гумових кілець або армованих металокомпозитних прокладок, причому підбір товщини ущільнення здійснюється таким чином, щоб гільза виступала над площиною блока на величину, яка гарантує правильне обтискання та надійну герметизацію; у сучасних силових агрегатах провідних автовиробників — Volkswagen (EA888, EA189), Renault/Nissan (K9K, H4M), Mercedes-Benz (OM654), BMW (B47),

Toyota (GD-серія), MAN і Scania — даний виступ становить, як правило, 0,03–0,15 мм залежно від конструкції і класу теплонапруженості двигуна, що дозволяє забезпечити стабільність параметрів згоряння, рівномірне навантаження на прокладку головки блока та високий ресурс циліндро-поршневої групи.

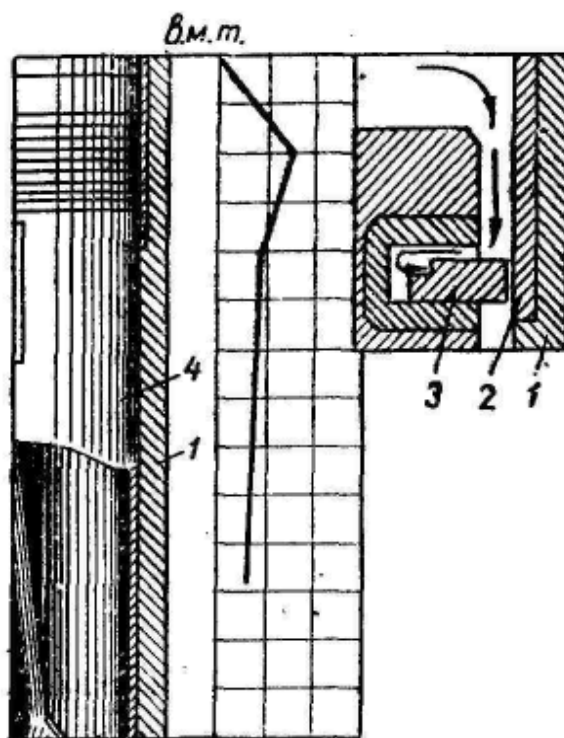


Рисунок 2.1 – Характер зносу циліндра двигуна по висоті:

1 - циліндр двигуна (гільза циліндра); 2 - коротка зносостійка гільза циліндра; 3 - верхнє компресійне кільце; 4 - поршень.

У конструкції циліндро-поршневої групи мінімальні монтажні зазори між поршковими кільцями й канавками є критично важливими для забезпечення герметичності робочої камери та зменшення прориву газів у картер, тому під час складання сучасних двигунів, таких як Volkswagen TSI, Renault/Nissan dCi, Toyota D-4D, BMW B-серії чи Mercedes-Benz OM-ряд, верхні компресійні кільця встановлюють із зазорами у канавках в середньому 0,040–0,080 мм, а допустимий зазор у замку нових кілець становить 0,25–0,60 мм залежно від типу двигуна й діаметра циліндра; для маслознімних кілець типовими є зазори у межах 0,040–0,120 мм, а зазор у замку — 0,30–1,00 мм,

причому фактичні параметри визначаються тепловими навантаженнями та конструктивним виконанням циліндро-поршневої групи. У ході експлуатації внаслідок зношування збільшується зазор між кільцем і канавкою, що супроводжується зростанням насосної дії кілець, яка проявляється у підвищеному перенесенні оливи в камеру згоряння, збільшенні втрат оливи на чад, а також посиленому прориві високотемпературних газів у картер, що знижує компресію та ефективність перетворення енергії згоряння у корисну роботу.

Для зменшення шуму в зоні верхньої мертвої точки та зниження бічного тиску спідниці поршня на дзеркало циліндра у сучасних поршнях застосовується зміщення осі поршневого пальця відносно геометричної осі поршня в напрямку дії бічної сили робочого ходу, що мінімізує ударні навантаження й сприяє покращенню трибологічного режиму контакту; величина такого зміщення зазвичай знаходиться в межах 1–2 мм.

Поступове зношування кілець і стінок циліндрів призводить до помітного падіння компресії, збільшення тиску картерних газів і деградації мастильної плівки, що спричиняє перегрів, прискорене окиснення оливи, підвищення її в'язкості, а також витікання через сальники та місця ущільнень, внаслідок чого погіршується змащування корінних і шатунних підшипників, зростає ризик утворення задирів і виникає небезпека розвитку аварійного стану двигуна. Саме тому контроль і підтримання оптимальних монтажних зазорів поршневих кілець є ключовою умовою забезпечення ресурсу сучасних високонавантажених силових агрегатів.

У зоні верхньої мертвої точки поршня швидкість його поступального руху різко зменшується, внаслідок чого клиновидний шар мастильної плівки, що утримується між поршневими кільцями та дзеркалом циліндра, втрачає несучу здатність і частково видавлюється, особливо під дією високого тиску робочих газів, який у початковий момент робочого ходу набуває максимального значення і проникає у зазор між верхнім компресійним кільцем і стінкою поршневої канавки, додатково витісняючи мастило із зони контакту;

це призводить до того, що поверхня стінки циліндра у верхній частині працює в умовах граничного тертя або навіть сухого контакту, що інтенсифікує адгезійно-корозійні процеси руйнування при безпосередній дії гарячих газів на метал.

Саме тому найбільшому зношуванню піддається верхня зона циліндра, де переважають контактно-втомні і газово-корозійні механізми спрацювання. У міру збільшення зазорів між поршнем, кільцями та циліндром посилюється насосна дія поршневих кілець: під час циклічного руху вони переносять надлишок мастила в камеру згоряння, спричиняючи підвищену витрату мастила на чад, утворення твердих вуглецевих відкладень у камері згоряння, на днищах поршнів, у канавках кілець і на тарілках клапанів, що порушує теплообмін, викликає детонаційні явища, збільшує токсичність вихлопу та знижує загальний коефіцієнт корисної дії двигуна.

2.3 Перевірка компресії в циліндрах двигуна

Перевірку компресії в циліндрах двигуна, як правило, виконують під час технічного огляду. Перед проведенням вимірювань двигун необхідно прогріти до робочої температури, після чого викручують запальвальні свічки з усіх циліндрів. Гумовий конусний наконечник компресометра щільно встановлюють у свічний отвір головки блока того циліндра, який підлягає перевірці. Вимірювання компресії здійснюється під час прокручування колінчастого вала стартером при повністю відкритому дросельному клапані карбюратора (рис. 2.2).

Під час прокручування колінчастого вала зі швидкістю 180–200 об/хв протягом 10–12 оборотів стиснене повітря, що утворюється в циліндрі, відкриває клапан золотника та через гумовий шланг надходить до манометра компресометра. Після завершення вимірювання повітря випускають шляхом відкручування клапана скидання.

Різниця показників компресометра між окремими циліндрами не повинна перевищувати 68 646,6 – 98 066,5 Н/м².

Гранично допустимим значенням падіння компресії для зношеного однорядного двигуна є 539 366 – 588 399 Н/м², а для двигунів із V-подібним розташуванням циліндрів — 617 819 – 686 466 Н/м².

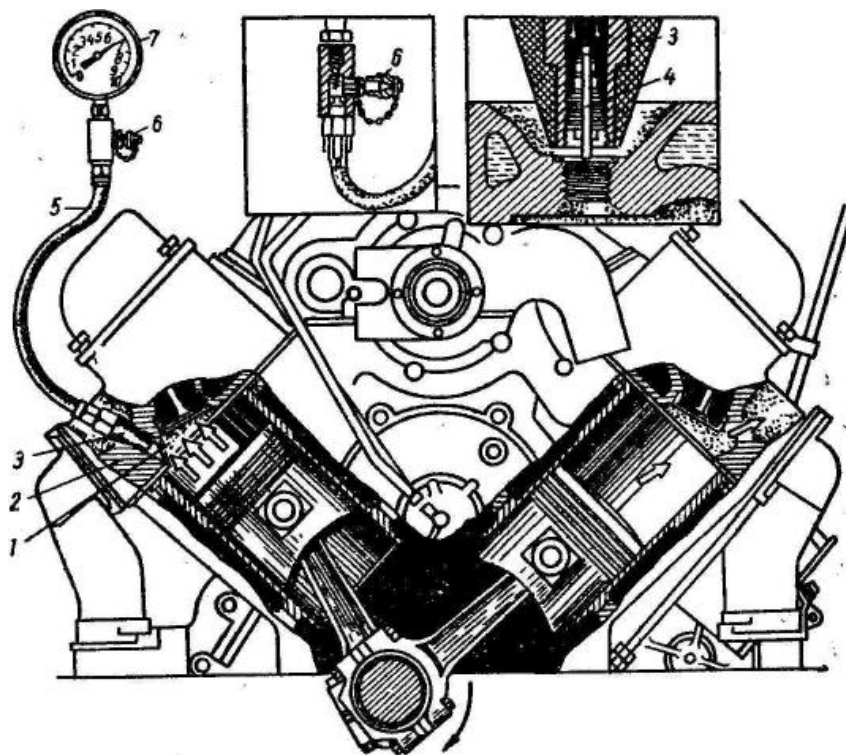


Рисунок 2.2 – Схема установки для перевірки величини компресії в циліндрах двигуна автомобіля:

1 – камера для згорання палива; 2 – блок циліндрів - головка; 3 – наконечник гумовий для компресометра; 4 - золотник; 5 – робочий шланг; 6 – випускний клапан повітря; 7 – контрольний манометр.

Причини зниження компресії можна встановити за напрямком виходу стисненого повітря, яке подається у циліндр через отвір під свічку від стаціонарного компресора або балона зі стисненим повітрям. Якщо повітря виходить через карбюратор або глушник, це свідчить про неповне прилягання клапанів до сідел. Вихід повітря через сапун указує на зношення циліндро-поршневої групи. Якщо ж повітря просочується назовні крізь стінки циліндра, то причиною є пошкодження прокладки головки блока. Додатковою ознакою спрацювання стінок циліндра або поршневих кілець є

короткочасне підвищення компресії після заливання у циліндр 20–25 мг моторної оливи.

Для перевірки компресії в дизельних двигунах застосовують спеціальний компресометр. На місце форсунки встановлюють адаптер, не демонтуючи інші форсунки. Після цього запускають двигун і вимірюють тиск у випробуваному циліндрі при частоті обертання колінчастого вала приблизно 500 хв^{-1} . У робочому режимі повітря в циліндрах дизельного двигуна стискається до тиску $3\,922\,660 - 4\,118\,790 \text{ Н/м}^2$.

Згідно з технічними вимогами, тиск стискання, виміряний компресометром, має бути не нижчим $2\,942\,000 \text{ Н/м}^2$, а різниця між показниками у різних циліндрах не повинна перевищувати $196\,133 \text{ Н/м}^2$.

2.4 Діагностика поршневих кілець

У сучасних високофорсованих двигунах внутрішнього згоряння для підвищення зносостійкості циліндро-поршневої групи зовнішні робочі поверхні верхніх компресійних кілець піддаються електролітичному хромуванню із формуванням багат шарового захисного покриття, де загальна товщина хромового шару зазвичай становить $0,10\text{--}0,15 \text{ мм}$, а товщина пористого поверхневого шару — близько $0,04\text{--}0,06 \text{ мм}$; пористість покриття забезпечує накопичення мастила у мікрокапілярах і покращує мастильні властивості у найбільш теплонавантаженій зоні циліндра. Другі компресійні та маслоснімні кільця в багатьох сучасних ДВЗ (Volkswagen EA888 TSI, Toyota D-4D, Renault/Nissan K9K, Mercedes-Benz OM654 тощо) покривають мідно-нікелевими, лудженими або молібденовими антифрикційними шарами товщиною після механічної обробки в межах $0,005\text{--}0,020 \text{ мм}$, що знижує коефіцієнт тертя та покращує умови припрацювання.

Поршневі кільця відносять до групи деталей із найвищою інтенсивністю зношування, оскільки вони працюють у контакті з гарячими продуктами згоряння, зазнаючи одночасного впливу високих температур, тиску, абразивних частинок і газової корозії; при цьому найбільшому спрацюванню піддається

верхнє компресійне кільце, яке є основним елементом, що забезпечує герметичність циліндра. У процесі експлуатації внаслідок зносу збільшуються зазори між кільцем і канавкою, а також зазор у замку кільця, що спричиняє зниження пружності й герметичності та викликає зростання прориву газів у картер, підвищену витрату мастила і падіння потужності силового агрегата.

Для оцінки придатності поршневих кілець використовують контроль монтажних параметрів, передусім величини стикового зазору та показника пружності при стисканні кільця до нормативного значення, які повинні відповідати технічним вимогам виробника двигуна, оскільки неправильний підбір або надмірне спрацювання цих параметрів неминуче призводять до істотного порушення ефективності роботи двигуна, збільшення токсичності відпрацьованих газів і передчасного виходу з ладу інших елементів циліндро-поршневої групи.

Ремонтні розміри поршневих кілець. Виготовляються поршневі кільця номінального і ремонтного розмірів. У таблиці 2.2. приводяться номінальні і ремонтні розміри поршневих кілець двигунів по зовнішньому діаметру при зазорі в стику, вказаному в таблиці 2.1.

Таблиця 2.2 – Пружність поршневих кілець та зазори для сучасних двигунів внутрішнього згоряння

Автомобіль / Двигун	Пружність кілець, Н	Зазори, мм
	Компресійного	Маслознімного
VW 1.8 TSI (EA888)	20–30	18–26
Toyota 2.0 Dynamic Force (M20A-FKS)	22–32	20–30
Renault/Nissan 1.5 dCi (K9K)	28–38	25–35
Mazda SkyActiv-G 2.0	18–25	16–23
BMW B48 2.0 TwinPower Turbo	30–40	28–38
Ford EcoBoost 1.0	15–22	14–20
Hyundai/Kia 1.6 GDi (G4FD)	23–33	21–30

Таблиця 2.3 – Номінальні та ремонтні розміри поршневих кілець сучасних двигунів внутрішнього згоряння

Автомобіль / Двигун	Номінальний діаметр, мм	1-й ремонт, мм	2-й ремонт, мм	3-й ремонт, мм
VW 1.4 TSI (EA211)	74,50	74,75	75,00	75,25

Toyota 1.6 Valvematic (1ZR-FAE)	80,50	80,75	81,00	—
Renault / Nissan 1.5 dCi (K9K)	76,00	76,25	76,50	—
Hyundai/Kia 1.6 GDi (G4FD)	77,00	77,25	77,50	—
Mazda SkyActiv-G 2.0	83,50	83,75	84,00	—
BMW B48 2.0 Turbo	82,00	82,25	82,50	82,75
Ford EcoBoost 1.0	71,90	72,10	—	—

2.5. Визначення технічного стану циліндро-поршневої групи двигуна без його розбирання

Оцінку технічного стану циліндро-поршневої групи і клапанів можливо провести вимірюванням втрат повітря з циліндрів за допомогою приладу К-69.

Стиснене повітря з магістралі під тиском $294200 - 588399 \text{ Н/м}^2$ проникає через вхідний вентиль 6, редуктор 8, калібровочний отвір 11, відкритий зворотній клапан 3, випробувальний кінцевик 1 та свічний отвір в випробувальному циліндрі 14 двигуна, поршень якого знаходиться в положенні верхньої мертвої крапки кінця такту стиснення.

Для підтримання постійного тиску повітря використовується редуктор 8, що регулюється на робочий тиск 196133 Н/м^2 , який вимірюється манометром 13. Стрілка вимірювального манометру фіксує втрату повітря у відсотковому відношенні.

Допустима втрата повітря через нещільності поршневої групи складає 25 – 28 %. При втраті повітря до 42 % слід замінити поршневі кільця, а при втраті 60 % - провести капітальний ремонт двигуна. Втрата повітря більше 60 % свідчить про руйнування поршневих кілець, зависанні клапанів, або прогоранні прокладки головки циліндрів.

Оцінку технічного стану циліндро-поршневої групи і клапанів можливо провести по втраті повітря, що пускається в циліндр при підвищеному тиску через вентиль 4 при закритому вентилі 6. Для прослуховування місць втрати повітря використовується стетофонендоскоп, що входить в комплект прибору.

2.6 Аналіз технічних умов на відновлення поверхні гільзи циліндра і методи їх забезпечення

Твердість матеріалу гільзи циліндра повинна бути в межах 42–50 HRC, що забезпечує необхідну опірність контактному навантаженню при взаємодії з поршковими кільцями. Внутрішня поверхня гільзи повинна мати високу чистоту обробки та відповідати вимогам точності за 6 квалітетом і шорсткості $R_a = 0,4$ мкм, що досягається шляхом фінішних операцій шліфування та хонінгування. Такі параметри поверхні забезпечують оптимальний режим мастильного шару й стабільні трибологічні характеристики вузла «циліндр–кільця–поршень».

До зовнішньої поверхні гільзи підвищених вимог не висувається, тому діаметр виконується за точністю H14 при шорсткості $R_a = 3,2$ мкм, оскільки дані параметри не впливають на працездатність деталі в експлуатації. Гільза піддається інтенсивному контактному-втомному зношенню внаслідок циклічного переміщення поршневих кілець вздовж дзеркала під дією високих температур та тисків робочого середовища. Допустима величина спрацювання гільзи не повинна перевищувати 0,06 мм, оскільки це призводить до зменшення компресії, підвищення витрат мастила та погіршення екологічних показників двигуна. Для відновлення працездатності та збільшення ресурсу деталі доцільним є нанесення зносостійких хромвмісних покриттів, які характеризуються високою твердістю, підвищеною стійкістю до корозії та покращеними трибологічними властивостями поверхонь тертя. Найбільш застосовуваними методами є дугова металізація, плазмове напилення та електролітичне хромування.

Дугова металізація забезпечує прийнятну товщину і адгезію покриття, проте складність доступу металізатора всередину гільзи малого діаметра та неможливість стабільного витримування оптимальної відстані і кута напилення негативно впливають на якість шару, тому цей метод не є раціональним для внутрішніх поверхонь. Електролітичне хромування базується на осадженні

атомів хрому з електролітного розчину (CrO_3 , H_2SO_4) при густині струму 20–30 А/дм², забезпечує високу мікротвердість покриття, рівномірність нанесення, низьку пористість і високу адгезію, що є критичним для відновлення гільзи. Основним недоліком хромування є екологічна шкідливість шестивалентного хрому та необхідність застосування спеціального обладнання для очищення та утилізації відходів.

Плазмове напилення можна розглядати як перспективну альтернативу, що дозволяє наносити щільні хромовмісні композиційні покриття з високою стійкістю до термомеханічного руйнування. Таким чином, аналіз методів відновлення показує, що найбільш ефективним способом відновлення внутрішньої поверхні гільзи є електролітичне хромування, яке забезпечує значне підвищення ресурсу деталі та її працездатності у складі циліндро-поршневої групи.

2.7 Розробка технологічного процесу відновлення гільзи циліндра

Зпропоновано технологічний процес відновлення даної деталі, який включає в себе операції підготовки поверхні деталі під відновлення та механічну обробку поверхні після віновлення.

Послідовність виконання технологічних операцій:

005 Очищувальна

Очистити деталь від мастила та бруду.

010 Мийна

Мити поверхні деталі.

015 Сушильна

Сушити деталь.

020 Контрольна

Провести контроль параметрів точності та якості деталі.

025 Внутрішліфувальна

Встановити, закріпити, зняти деталь.

Шліфувати поверхню під відновлення.

030 Відновлювальна

Встановити, закріпити, зняти деталь.

Відновити поверхню електrolітичним хромуванням.

035 Контрольна

Контролювати відновлену поверхню по відповідних параметрах.

040 Внутрішшліфувальна

Встановити, закріпити, зняти деталь.

Шліфувати відновлену поверхню.

045 Хонінгувальна

Встановити, закріпити, зняти деталь.

Хонінгувати відновлену поверхню.

050 Контрольна

Контролювати відновлену поверхню деталі.

2.8 Порядок розрахунку величин припусків

Порядок розрахунку величин припусків на механічну обробку отвору гільзи циліндра $\varnothing 130^{+0,025}$ мм включає в себе: встановлення гільзи циліндра в спеціальному пристрої при базуванні по зовнішній циліндричній поверхні; механічну обробку поверхонь гільзи циліндра хонінгуванням та шліфуванням після їх обробки хромуванням

Величина мінімального припуску при обробці отвору гільзи циліндра $2z_{\min}$, визначається за формулою:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_{y_i}^2}),$$

Де: $R_{z_{i-1}}$ – параметр мікронерівності отвору із врахуванням попередньої механічної обробки;

T_{i-1} – величина глибини поверхневого дефектного шару матеріалу гільзи циліндра після попередньої механічної обробки;

ρ_{i-1} – загальна сума всіх просторових відхилень поверхонь гільзи циліндра після попередньої механічної обробки;

ε_{yi} – величина похибки при встановленні гільзи циліндра на даній операції.

Сумарне значення величин мікронерівностей Rz_{i-1} поверхні та глибини дефектного поверхневого шару T_{i-1} вибраної заготовки гільзи циліндра для даної механічної операції вибирається із довідникової літератури у випадку, якщо дану механічну операцію прирівнюють до операції литва з використанням однієї напівформи.

Формула для визначення сумарного значення всіх просторових відхилень для даної поверхні гільзи циліндра при даній операції механічної обробки у порівнянні із базовою поверхнею:

$$\rho = \rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot l,$$

Де: Δ_k – величина кривизни поверхні при її формуванні методом литва в одній напівформі, $\Delta_k = 1,0 \text{ мкм/мм}$;

l – протяжність оброблюємої поверхні гільзи циліндра, $l = 285 \text{ мм}$.

$$\rho = 1,0 \cdot 285 = 285 \text{ мкм}.$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 - Результати розрахунку припусків на розмір $130^{+0,025} \text{ мм}$

Послідовність обробки	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, Z_{min} , мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск I_T , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мм	
	R_{z-i}	T_{i-}	ρ_i	ε_{yi}				min	max	$2z_{\text{min}}$	$2z_{\text{max}}$
$\varnothing 130^{+0,025}$ Заготовка	40	160	285	-	-	128,99 5	16 0	128,84	129,0	-	-

Шліфувати	10	20	-	-	$\frac{2 \cdot 485}{970}$	$\frac{129,96}{5}$	63	29,902	29,965	0,965	1,062
Хонінгувати	-	-	-	-	$\frac{2 \cdot 30}{60}$	$\frac{130,02}{5}$	25	30,000	30,025	0,06	0,098

На інші операції механічної обробки геометрична сума просторових відхилень буде незначною, тому нею можна знехтувати. Так як заготовка при шліфуванні встановлюється в трикулачковому патроні, а при хонінгуванні в спеціальному пристрої і обробка проводиться плаваючим інструментом то похибка установки дорівнює нулю.

Визначаємо припуск на виконуючі операції за формулами:

Шліфування

$$2z_{\min} = 2(40 + 160 + 285) = 2 \cdot 485 \text{ мкм.}$$

Хонінгування

$$2z_{\min} = 2(10 + 20) = 2 \cdot 30 \text{ мкм.}$$

Загальні припуски

$$2z_{\max 3} = \sum 2z_{\max_i},$$

$$2z_{\min 3} = \sum 2z_{\min_i}.$$

$$2z_{3 \max} = 1,062 + 0,098 = 1,16 \text{ мкм;}$$

$$2z_{3 \min} = 0,965 + 0,06 = 1,025 \text{ мкм;}$$

Перевірка правильності розрахунків:

$$2Z_{\max} - 2Z_{\min} = IT_3 - IT_Д,$$

$$1,16 - 1,025 = 0,160 - 0,025,$$

$$0,135 = 0,135.$$

Числові значення припусків визначені вірно.

Визначення дійсного розміру заготовки:

$$D_{\text{заг}} = 128^{+1,0}_{+0,84} \text{ мм.}$$

2.9 Загальний принцип вибору основних методів для підготовки даної поверхні під процес відновлення

Підготовка даної поверхні деталі для реалізації процесу хромування включає в себе послідовність виконання ряду операцій: очищення забруднених поверхонь деталі від наявних жирових плям та плівок, продуктів корозійних реакцій, наявності вологи; використання поверхнево-активних речовин для миття деталі після її очищення з метою її обезжирення. В подальшому, поверхні деталі, які хромуються, підлягають механічній обробці різанням для заданих параметрів точності та якості. В результаті механічної обробки усуваються нерівності поверхні, які утворилися в результаті процесу зношування даної поверхні та формується необхідна шорсткість поверхні для ефективного нанесення необхідного шару хрому і його надійного зчеплення з поверхнею деталі. Даний підхід забезпечує також необхідний захист інших поверхонь деталей, які контактують з даною поверхнею.

В даному випадку вибрано метод механічної обробки поверхні гільзи циліндра шліфуванням, як метод її підготовки до подальшого хромування. Даний метод обробки забезпечує шорсткість оброблюваної поверхні в межах $R_a = 12,5$ мкм, що технологічно достатньо для ефективного процесу хромування.

2.10 Розрахунок та вибір режимів обробки і відновлення поверхні деталі

Для підготовки поверхні деталі під відновлення використаємо метод шліфування, який є найбільш оптимальним, так як забезпечує необхідну шорсткість та розміри даної деталі.

Габаритні розміри деталі - $\varnothing 130 \times \varnothing 149 \times 285$ мм. Для механічної обробки приймаємо внутрішліфувальний верстат мод. 3K227B, спосіб

кріплення деталі – патрон трикулачковий. Матеріал заготовки - чавун, твердість 170 - 241 HB.

Вибираємо шліфувальний круг для обробки заданої поверхні. Для даного матеріалу і заданої твердості використовуємо шліфувальний круг - ПВ 24А63ПСМ23К8А 35м/с.

Встановлюємо діаметр D_k та висоту (ширину) B_k круга. При внутрішньому шліфуванні рекомендується $D_k / D_3 = 0,8 - 0,9$. Приймаємо це співвідношення 0,85. Тоді $D_k = 0,85D_3 = 0,85 \times 130 = 110,5$ мм. Приймаємо $D_k = 100$ мм. Висоту круга B_k для обробки отвору приймаємо меншою на 10 – 15 мм, тобто $B_k = 285 - 15 = 270$ мм. Розміри $D_k = 100$ мм і $B_k = 250$ мм передбачені стандартом і можуть використовуватись на прийнятому верстаті.

Призначаємо режими різання.

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

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 100} = 6687 \text{ хв}^{-1},$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо $n_k = 6000 \text{ хв}^{-1}$.

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

Визначаємо швидкість руху окружної подачі за формулою:

$$V_{S_{окр}} = \frac{\pi \cdot D_3 \cdot n_3}{1000} = \frac{3,14 \cdot 130 \cdot 200}{1000} = 81,6 \text{ м/хв.}$$

Визначимо швидкість руху повздовжньої подачі $V_{S_{повз}}$. Приймаємо $V_{S_{повз}} = S_M = 7000 \text{ мм/хв.}$

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

Тоді: $V_{S_{новз}} = 7000 \cdot K_{SM1} \cdot K_{SM2} = 7000 \cdot 0,77 \cdot 1,0 = 5390 \text{ мм/хв.}$

Визначаємо поперечну подачу круга, приймаємо $S_{t_{подв.ход}} = 0,004 \text{ мм/подв. хід.}$

Враховуємо поправочні коефіцієнти на поперечну подачу які визначаються за: $K_{S_{t_1}} = 1,0$; $K_{S_{t_2}} = 0,93$; $K_{S_{t_3}} = 1,0$; $K_{S_{t_4}} = 1,2$; $K_{S_{t_5}} = 1,0$; $K_{жс} = 1,0$; $K_1 = 1,0$.

$$S_{2x} = S_{t_{подв.хид}} = 0,004 \cdot K_{S_{t_1}} \cdot K_{S_{t_2}} \cdot K_{S_{t_3}} \cdot K_{S_{t_4}} \cdot K_{S_{t_5}} \cdot K_{жс} \cdot K_1,$$

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

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

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання за формулою:

$$N_{риз} = N_{табл} \cdot K_{N_1},$$

Де: $N_{табл}$ – табличне значення потужності різання при заданих режимах обробки, $N_{табл} = 3,3$ кВт;

K_{N_1} – поправочний коефіцієнт на потужність різання, $K_{N_1} = 1,16$,

Тоді: $N_{риз} = 3,3 \cdot 1,16 = 3,85$ кВт.

Перевіряємо достатність потужності приводу шліфувального шпинделя верстата. Для верстата 3К227В установлене значення потужності становить $N_{ун} = N_{д} \cdot \eta = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7$ кВт; $N_{риз} \leq N_{ун} (3,85 < 4,7)$, тобто обробка можлива.

Перевіряємо, чи виконується умова безцентрового шліфування за формулою:

$$N_{уд} = \frac{N_{риз}}{B_{\kappa}} = \frac{3,85}{35} = 0,11 \text{ кВт/мм.}$$

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

Основний час на операцію визначаємо за формулою:

$$T_o = \frac{2 \cdot L \cdot h}{V_{S_{пос}} \cdot S_{2x}},$$

Де: L – довжина ходу столу; при перебігу на кожную сторону $0,5B_{\kappa}$;

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

$$T_o = \frac{2 \cdot 285 \cdot 0,15}{5390 \cdot 0,004} = 3,96 \text{ хв.}$$

2.11 Аналітичний розрахунок складових норм часу технологічного процесу хромування поверхні деталі

Формула для визначення величини норми штучно-калькуляційного часу при підготовці поверхні деталі для її відновлення:

$$T_{ш.к} = T_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n},$$

Де: $T_{шт}$ - штучний час на виконання операції;

$T_{п.з}$ - величина підготовчо-заключного часу на виконання операції,

$T_{п.з} = 7$ хв;

n - прийнята кількість оброблюваних деталей в даній партії.

Формула для визначення необхідної кількості деталей в заданій партії:

$$n = \frac{N \cdot a}{F},$$

Де: a - рекомендований запас деталей для обробки, $a = 5$ шт.

$$n = \frac{5000 \cdot 5}{253} = 98 \text{ шт.}$$

Формула для визначення величини штучного часу на виконання операції:

$$T_{шт} = T_0 + T_{дон} + T_{обс} + T_{від},$$

Де: T_0 - величина основного часу на виконання операції;

$T_{дон}$ - величина допоміжного часу на виконання операції;

$T_{обс}$ - сумарний час на технічне та організаційне обслуговування одного робочого місця;

$T_{від}$ - сумарний час на відпочинок робітника та його особисті потреби, який визначається у заданих відсотках від величини оперативного часу.

Величина основного часу на виконання операції, $T_0 = 3,96$ хв.

Складові допоміжного часу на виконання операції механічної обробки: встановлення, зняття, кріплення заготовки (0,24 хв.); операції керування робочим верстатом – пуск та зупинка (0,01 хв.); підведення робочого

інструменту до зони обробки деталі (0,025 хв.); вимірювання геометричних параметрів оброблюваної поверхні деталі (0,07 хв.).

$$T_{\text{доп}} = 0,24 + 0,01 + 0,025 + 0,05 + 0,07 = 0,395 \text{ хв.}$$

Формула для визначення оперативного часу:

$$T_{\text{оп}} = T_0 + T_{\text{доп}},$$

$$T_{\text{оп}} = 3,96 + 0,395 = 4,355 \text{ хв.}$$

Формула для визначення часу на технічне обслуговування та особисті потреби робітника:

$$T_{\text{обс.від}} = \frac{T_{\text{оп}} \cdot P_{\text{обс.від}}}{100},$$

Де: $P_{\text{обс.від}}$ – відсоток оперативного часу, $P_{\text{обс.від}} = 6,5\%$.

$$T_{\text{об.від}} = \frac{6,5 \cdot 4,355}{100} = 0,283 \text{ хв.}$$

$$\text{Тоді: } T_{\text{шт}} = 3,96 + 0,395 + 0,283 = 4,638 \text{ хв.}$$

$$\text{Тоді: } T_{\text{ш.к}} = 4,638 + \frac{7}{98} = 4,7 \text{ хв.}$$

Формула для визначення норми штучно–калькуляційного часу для виконання операції плазмового напилення поверхні деталі:

$$T_{\text{ш.к}} = (T_0 + T_{\text{в1}} + T_{\text{в2}} + T_{\text{в3}}) \cdot [1 + 0,01(\alpha_{\text{обс}} + \alpha_{\text{від}})],$$

Де: T_0 – величина основного часу на дану операцію;

$T_{\text{в1}}$ – величина допоміжного часу для огляду і очищення поверхні деталі перед процесом напилення, $T_{\text{в1}} = 1,3 \text{ хв}$;

$T_{\text{в2}}$ – величина допоміжного часу, для обезжирення поверхні деталі перед процесом напилення, $T_{\text{в2}} = 2,5 \text{ хв}$;

$T_{\text{в3}}$ – величина допоміжного часу для встановлення та зняття деталі, $T_{\text{в3}} = 0,30 \text{ хв}$;

$\alpha_{\text{обс}}$ – величина часу для технічного обслуговування одного робочого місця, $\alpha_{\text{обс}} = 4\%$;

$\alpha_{\text{від}}$ – величина прийнятого часу для відпочинку та особистих потреб робітника, $\alpha_{\text{від}} = 5\%$.

Формула для визначення основного часу для виконання операції хромовання поверхонь деталей:

$$T_o = \frac{1,64 \cdot h}{D_k},$$

Де: h – оптимальне значення товщини напиленого шару, $h = 0,3$ мм;

D_k – щільність струму на катоді, $D_k = 30$ А/дм².

Отримуємо: $T_o = \frac{1,64 \cdot 0,3}{30} = 0,016$ хв.

Сумарне значення штучно-калькуляційного часу: $T_{ш.к} = (0,016 + 1,2 + 2,6 + 0,25)[1 + 0,01(4 + 5)] = 4,43$ хв.

В таблиці 2.4 приведені дані аналітичних розрахунків по основних складових норм часу.

Таблиця 2.4 – Розрахункові значення складових норм часу , хв

Номер та назва операції	T_0	$T_{доп}$			$T_{оп}$	$T_{об}$	$T_{шт}$	$T_{п.з}$	n	$T_{ш.к}$
		$T_{у.з}$	$T_{кер}$	$T_{вим}$		$+ T_{від}$				
025	3,96	0,24	0,08	0,07	4,35	0,28	4,63	7	98	4,7
Внутрішліфувал			5		5	3	8			
ьна	0,01	4,05		-				-	98	4,33
	6		-		4,06	0,24	-			
030					6	6				
Відновлювальна										

2.12 Призначення режимів різання на обробку поверхні після відновлення за нормативами

Після відновлення поверхні проводимо попереднє шліфування на внутрішліфувальному верстаті за допомогою абразивного круга, чистову

обробку проводимо хонінгуванням на хонінгувальному верстаті. Призначаємо режими різання для проведення попередньої обробки поверхні після відновлення.

Операція 040 Внутрішліфувальна.

Шліфувати відновлену поверхню деталі.

Габаритні розміри даної деталі: Ø130 x Ø149 x 285 мм, для механічної обробки приймаємо внутрішліфувальний верстат мод. 3К227В, спосіб кріплення деталі – патрон трикулачковий. Матеріал заготовки - чавун, твердість 170- 241 НВ.

Для заданого матеріалу деталі і його твердості приймаємо шліфувальний круг - ПВ 24А63ПСМ23К8А 35м/с.

Встановлюємо діаметр D_k та висоту (ширину) B_k круга. При внутрішньому шліфуванні рекомендується $D_k / D_3 = 0,8 - 0,9$. Приймаємо це співвідношення 0,85. Тоді $D_k = 0,85D_3 = 0,85 \times 130 = 110,5$ мм. Приймаємо $D_k = 100$ мм. Висоту круга B_k для обробки отвору приймаємо меншою на 10 – 15 мм, тобто $B_k = 285 - 15 = 270$ мм. Розміри $D_k = 100$ мм і $B_k = 250$ мм передбачені стандартом і можуть використовуватись на прийнятому верстаті.

Призначаємо режими різання.

Розраховуємо необхідну частоту обертання круга при встановленій швидкості різання $V = 35$ м/с

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 35}{3,14 \cdot 100} = 6687 \text{ хв}^{-1},$$

За паспортними даними верстата 3К227В приймаємо $n_k = 6000 \text{ хв}^{-1}$.

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

Далі визначаємо швидкість руху окружної подачі

$$V_{S_{окр}} = \frac{3,14 \cdot 130 \cdot 200}{1000} = 81,6 \text{ м/хв} (\approx 1,36 \text{ м/с}).$$

Розраховуємо швидкість повздовжньої подачі $V_{S_{повз}}$. Приймаємо $V_{S_{повз}} = S_M = 7000 \text{ мм/хв}$.

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

Тоді: $V_{S_{повз}} = 7000 \cdot 0,77 \cdot 1,0 = 5390$ мм/хв.

Розраховуємо швидкість повздовжньої подачі $S_{t_{повд.ход}} = 0,004$ мм/подв. хід.

З урахуванням поправочних коефіцієнтів на повздовжню подачу: $K_{S_{t1}} = 1,0$;
 $K_{S_{t2}} = 0,93$; $K_{S_{t3}} = 1,0$; $K_{S_{t4}} = 1,2$; $K_{S_{t5}} = 1,0$; $K_{жс} = 1,0$; $K_1 = 1,0$.

$S_{2x} = 0,004 \cdot 1,0 \cdot 0,93 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 45$ мм/подв.хід.

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

Визначаємо потужність, яка витрачається на різання

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

Перевіряємо відповідність доступної потужності приводу шліфувального шпинделя верстата. Для верстата 3К227В встановлена потужність становить
 $N_{ун} = N_o \cdot \eta = 5,5 \cdot 0,85 = 4,7$ кВт; $N_{різ} \leq N_{ун}$ ($3,85 < 4,7$), тобто обробка можлива.

Виконуємо перевірку умови безприпального шліфування

$$N_{yo} = \frac{3,85}{35} = 0,11 \text{ кВт/мм.}$$

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

Основний час на операцію при $h = 0,531$ мм.

$$T_o = \frac{2 \cdot 285 \cdot 0,531}{5390 \cdot 0,004} = 14 \text{ хв.}$$

Операція 045 Хонінгувальна.

Хонінгувати відновлену поверхню гільзи.

Вибираємо алмазні бруски для обробки заданої поверхні. Для заданого матеріалу і його твердості вибираємо алмазний брусок із наступною характеристикою: АСМ20М1 100 %.

Призначаємо режими різання.

Глибина різання $t = 0,046$ мм.

Швидкість руху окружної подачі $V_{сокр} = 60$ м/хв.

Швидкість руху зворотно-поступової подачі $V_{\text{СЗП}}$. Приймаємо $V_{\text{СЗП}} = 20$ мм/хв.

Тиск на бруски $P = 0,5$ МПа.

Частота обертання хонінгувальної головки $n = 100$ хв⁻¹.

Основний час на операцію визначається за формулою:

$$T_o = \frac{n_n}{n_2};$$

Де: n_n – повне число подвійних ходів необхідних для зняття припуску,

$$n_n = \frac{1000 \cdot V_2}{2 \cdot S} = \frac{1000 \cdot 20}{2 \cdot 285} = 35 \text{ подв. ход.}$$

n_2 – число подвійних ходів хонінгувальної головки,

$$n_2 = \frac{10 \cdot a}{b} = \frac{10 \cdot 0,046}{0,0046} = 100 \text{ подв.ход.}$$

Отримуємо: $T_o = \frac{35}{100} = 0,35 \text{ хв.}$

Отримані данні зводимо в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 – Основні показники режимів

Найменування операції, переходу, позиції.	t, мм	$\frac{\ell_{pi3}}{\ell_{p.x}}$ мм	λ	$\frac{T_m}{T_p}$, хв	$\frac{S_p}{S_{np}}$, $\frac{\text{мм}}{\text{подв.хид}}$	$\frac{n_p}{n_{np}}$, хв ⁻¹	$\frac{V_P}{V_{np}}$, м/с	T _о , хв	$\frac{Np}{Nwn}$ кВт
040 Внутрішліфувальна 1. Шліфувати відновлену поверхню	0,531	$\frac{285}{285}$	1,0	$\frac{30}{30}$	$\frac{0,0045}{0,004}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{35}{35}$	14	$\frac{3,85}{4,7}$
045 Хонінгувальна 1.Хонінгувати відновлену поверхню	0,046	$\frac{285}{285}$	1,0	$\frac{30}{30}$	-	$\frac{100}{100}$	$\frac{1,0}{1,0}$	0,35	-

Визначаємо норму штучно–калькуляційного часу на проведення операції 040.

Величина основного часу на проведення даної операції становить, $T_0 = 15$ хв.

Визначаємо величину допоміжного часу на проведення операцій: встановлення, закріплення та зняття заготовки - 0,25 хв.; процеси керування верстатом – включення та виключення верстата - 0,01 хв.; підведення робочого інструменту в зону обробки та його відвід - 0,025 хв; період часу повної зупинки шпинделя верстата - 0,05 хв; операції контрольного вимірювання геометричних параметрів поверхні деталі - 0,06 хв.

$$T_{\text{доп}} = 0,24 + 0,01 + 0,025 + 0,05 + 0,07 = 0,395 \text{ хв.}$$

Величина оперативного часу на проведення операції становить:

$$T_{\text{оп}} = 14 + 0,395 = 14,395 \text{ хв.}$$

Витрати часу на технічне обслуговування та особисті потреби робітника:

$$T_{\text{об.від}} = \frac{6,5 \cdot 14,395}{100} = 0,935 \text{ хв.}$$

Отримуємо: $T_{\text{шт}} = 14 + 0,395 + 0,935 = 15,33 \text{ хв.}$

Отримуємо: $T_{\text{ш.к}} = 15,33 + \frac{7}{98} = 15,4 \text{ хв.}$

Порядок визначення основних складових штучно–калькуляційного часу на проведення операції 045.

Величина основного часу на проведення операції 045 становить, $T_0 = 0,35$ хв.

Визначаємо величину допоміжного часу на проведення операції 045, яка включає в себе встановлення, закріплення та зняття заготовки - 0,24 хв

Визначаємо величину допоміжного часу на керування верстатом, який включає в себе наступні операції: включення та виключення верстата - 0,01 хв, підведення робочого інструменту в зону обробки та його відвід - 0,025 хв; період часу повної зупинки шпинделя верстата - 0,06 хв.; тривалість часу на контроль геометричних параметрів - 0,08 хв.

$$T_{\text{доп}} = 0,24 + 0,01 + 0,025 + 0,05 + 0,07 = 0,395 \text{ хв.}$$

Величина оперативного часу на проведення операції становить:

$$T_{\text{оп}} = 0,35 + 0,395 = 0,745 \text{ хв.}$$

Сумарні витрати часу на технічне обслуговування робочого місця та особисті потреби робітника:

$$T_{\text{об.від}} = \frac{6,5 \cdot 0,745}{100} = 0,049 \text{ хв.}$$

$$\text{Отримуємо: } T_{\text{шт}} = 0,35 + 0,395 + 0,049 = 0,794 \text{ хв.}$$

$$\text{Отримуємо: } T_{\text{ш.к}} = 0,794 + \frac{7}{98} = 0,865 \text{ хв.}$$

Отримані данні приведені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Складові норм часу на проведення операцій, хв

Порядковий номер та назва виконуваної операції	T_0	$T_{\text{доп}}$			$T_{\text{оп}}$	$T_{\text{об}} + T_{\text{від}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{п.з}}$	n	$T_{\text{ш.к}}$
		$T_{\text{у.з}}$	$T_{\text{кер}}$	$T_{\text{вим}}$						
040 Внутрішліфувальна	14,0	0,24	0,08 5	0,07	14,3 9	0,93 5	15,3 3	7	98	15,4
045 Хонінгувальна	0,35	0,24	0,08 5	0,07	0,74 5	0,04 9	0,79 4	7	98	0,865

3 КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Пристрої для відновлення поверхні гільзи циліндра хромуванням

У процесі електроосадження шаруватих та композиційних комбінованих електролітичних покриттів необхідно забезпечувати стабільність струмового режиму, як за величиною робочого струму, так і за показниками його нестационарності, оскільки будь-які пульсації струму призводять до нерівномірного росту осаду, зміни структури та властивостей покриття. Для формування рівномірної мікроструктури, підвищення щільності та адгезії шару доцільним є застосування керованих режимів електролізу, зокрема імпульсного живлення, реверсування полярності або зміни форми кривої струму за спеціально заданою програмою.

Відомо, що отримання високоякісних комбінованих покриттів при коефіцієнті пульсацій випрямленого струму понад 20% практично неможливе, оскільки у цьому випадку різко знижується рівномірність перенесення іонів на катод і зростає ризик формування пористої, грубозернистої поверхні. Тому для забезпечення високої стабільності осадження необхідно застосовувати згладжуючі фільтруючі пристрої, що зменшують пульсації струму або напруги. У промисловій практиці ефективно використовуються згладжувальні схеми, які поєднують індуктивні та ємнісні елементи; подібний пристрій, представлений на рисунку 3.1, дозволяє не лише суттєво знизити рівень пульсацій, але й регулювати форму та тривалість електричних імпульсів шляхом зміни величини індуктивності та загальної ємності кола, що забезпечує оптимізацію процесу осадження та стабільні властивості композиційного покриття.

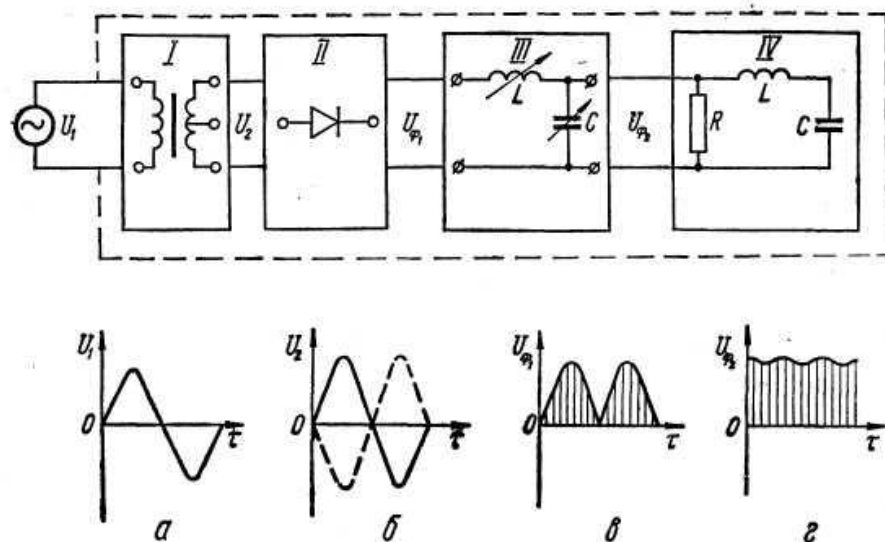


Рисунок 3.1. – Принципова блок-схема використання випрямного пристрою із спеціальним фільтром

Однак для забезпечення стаціонарного режиму електроосадження комбінованих композиційних електролітичних покриттів необхідно підтримувати не лише стабільний коефіцієнт пульсацій випрямленого струму, але й постійну щільність струму, що підводиться до робочої ванни, оскільки будь-які коливання струму призводять до зміни швидкості осадження, неоднорідності структури та механічних властивостей покриття. З цією метою використовуються прилади автоматичного регулювання, принцип роботи яких базується на безперервному порівнянні величини струму, що подається до ванни, зі струмом, що визначається на катоді.

Найбільшого поширення набули автомати щільності струму, які забезпечують регулювання в діапазоні 0,2–5 А/дм² при сумарній силі струму до 200 А, що дозволяє підтримувати стабільний режим електролізу навіть при зміні площі катода чи складу електроліту. Окрім струмового режиму важливо забезпечити підтримку температури електроліту в строго встановлених межах, оскільки її зміна більш ніж на $\pm 0,5$ °С при стаціонарному процесі є неприпустимою і призводить до різкої зміни кінетики осадження та морфології поверхні. Для цього застосовуються автоматизовані системи регулювання, які

забезпечують точне та швидкодієне коригування температури ванни, схема однієї з таких систем наведена на рисунку 3.2.

У гальванічному виробництві найбільш універсальними засобами температурного контролю є ртутні контактні термометри типів ТК-6 і ТК-8, а також термометри опору ЕТМ-Х, ЕТМ-ХІV, ММТ-1, ММТ-4, ЕМР-209 і манометричні термосигналізатори типу ТС, які у поєднанні з проміжними реле МКУ-48, ЕП-100 та різними силовими пускачами забезпечують точне керування нагрівом. Схеми автоматичного регулювання температури можуть бути реалізовані на стандартних промислових блоках або виконані індивідуально з використанням електронних компонентів на базі напівпровідників і тиристорних елементів; як функціональні аналоги можуть застосовуватися системи типу РТК-1, ЕМД, ЕМП, ЕМВ, ЕМРР-60, 5ЕП, ЛР-53, ЛР-1, що забезпечують необхідну точність і надійність у процесі нанесення покриттів.

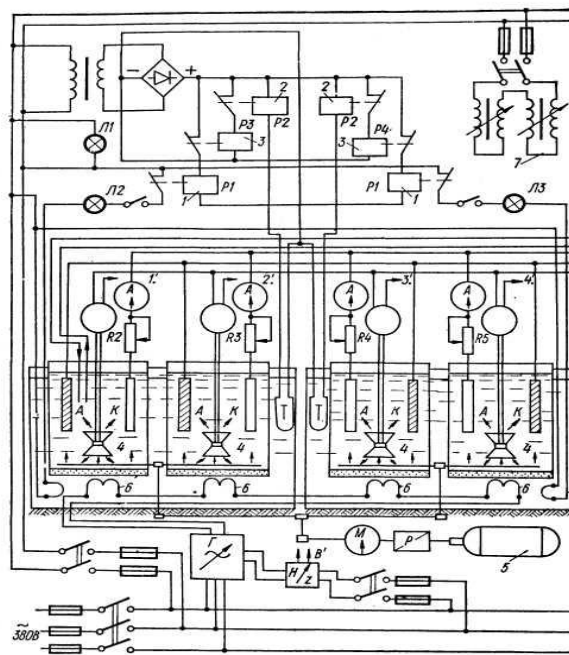


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення спеціальної лабораторної установки для реалізації процесу хромування деталей

Можливе застосування й інших схем автоматичного регулювання температури, причому система може обслуговувати як одну, так і декілька гальванічних установок одночасно. При отриманні шаруватих покриттів

необхідно забезпечити, щоб час зміни параметрів електролізу не перевищував тривалості формування епітаксiального шару, яка зазвичай становить від часток секунди до 5 хвилин. Враховуючи доцільність проведення процесу в одній ванні, система регулювання температури повинна спрацьовувати швидко, забезпечуючи зміну температури електроліту у встановлених межах при максимально можливому перепаді 40–50 °C для процесів хромування і 10–15 °C для інших електролітів, що необхідно для стабілізації морфології покриття.

Це завдання реалізується за рахунок роботи потужних систем нагріву й охолодження ванни та перемішування електроліту, що інтенсифікує тепловідвід та виключає локальні перегріву. У випадку нагріву теплоносієм у вигляді пари та охолодження водопровідною водою або стисненим повітрям ванна повинна бути оснащена високоефективним теплообмінником, розташованим уздовж бічних стінок у вигляді радіаторних панелей, а також розгалуженою системою повітроводів.

Гідродинамічний режим електролізу суттєво впливає на рівномірність структури та продуктивність процесу, оскільки збільшення турбулентності електроліту зменшує товщину прикатодного дифузійного шару, покращує відновлення активної поверхні катода, прискорює тепло- і масообмін, сприяє безперервному відтоку газових продуктів електролізу та вирівнює концентраційні й температурні градієнти у робочому об'ємі. Такі процеси позитивно позначаються на формуванні щільного, однорідного й зносостійкого покриття.

Способи перемішування електроліту класифікують за видом впливу на середовище: природна конвекція і газовиділення при електролізі, механічне перемішування за допомогою мішалок, пневматичне перемішування введенням стисненого повітря або інертного газу, а також циркуляція електроліту по трубопроводах за допомогою насосів чи сопел. Основними критеріями оцінки перемішувальних пристроїв є ефективність, що визначається рівномірністю розподілу фаз в об'ємі, та інтенсивність, яка залежить від часу досягнення

заданих параметрів, розміру і продуктивності установки, а також енергетичних витрат.

Механічне перемішування реалізують мішалками, яким надається обертальний рух від електродвигуна безпосередньо або через варіатор чи передачу; за конструкцією вони поділяються на лопатеві, пропелерні, турбінні та спеціальні, а за напрямком руху потоку – на тангенціальні, радіальні, осьові й комбіновані, забезпечуючи відповідну інтенсивність циркуляції електроліту залежно від вимог технологічного процесу.

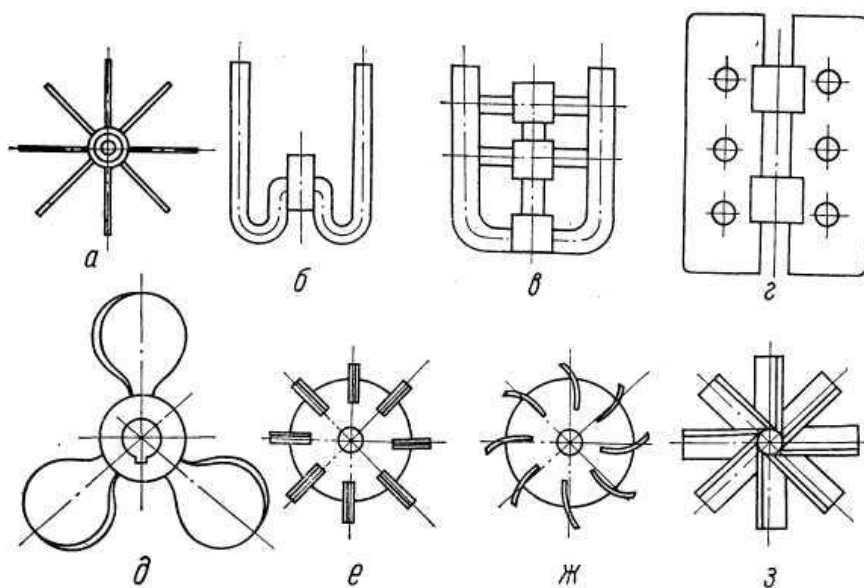


Рисунок 3.3 – Конструктивні схеми механічних мішалок:

а – принцип роботи лопатевого типу перемішування, б – принципова схема якорного перемішування, в – конструктивна схема рамного перемішування, г – схема листового перемішування, д – схема пропелерного перемішування без дифузора та з дифузоров, е – схема турбінного перемішування з використанням відкритих лопаток, ж – схема турбінного перемішування з криволінійним профілем лопатей, з – принцип турбінного перемішування з накладними лопатками, які відрізняються характером руху потоку електроліту та інтенсивністю масообміну.

У процесі проектування ванн та обладнання для електролітичного осадження виникає необхідність моделювання гідродинаміки робочого середовища, що потребує дотримання основних умов подібності: математичний опис процесу в моделі та реальній установці повинен ґрунтуватися на однакових диференціальних рівняннях руху, модель має бути геометрично подібною оригіналу, початкові та граничні умови, виражені в безрозмірній формі, мають збігатися, а всі критерії подібності в кожній відповідній точці простору моделі та натурального зразка повинні бути однаковими. Лише за таких умов результати моделювання можна вважати коректними та використовувати для оптимізації технологічних режимів. Для процесу нанесення зносостійких хромових покриттів на внутрішні поверхні гільз циліндрів найбільш доцільним обладнанням є установка анодно-струминного хромування, що забезпечує спрямований транспорт іонів та інтенсифікований масообмін у зоні катодного осадження, підвищуючи рівномірність і якість сформованого шару (рис. 3.4).

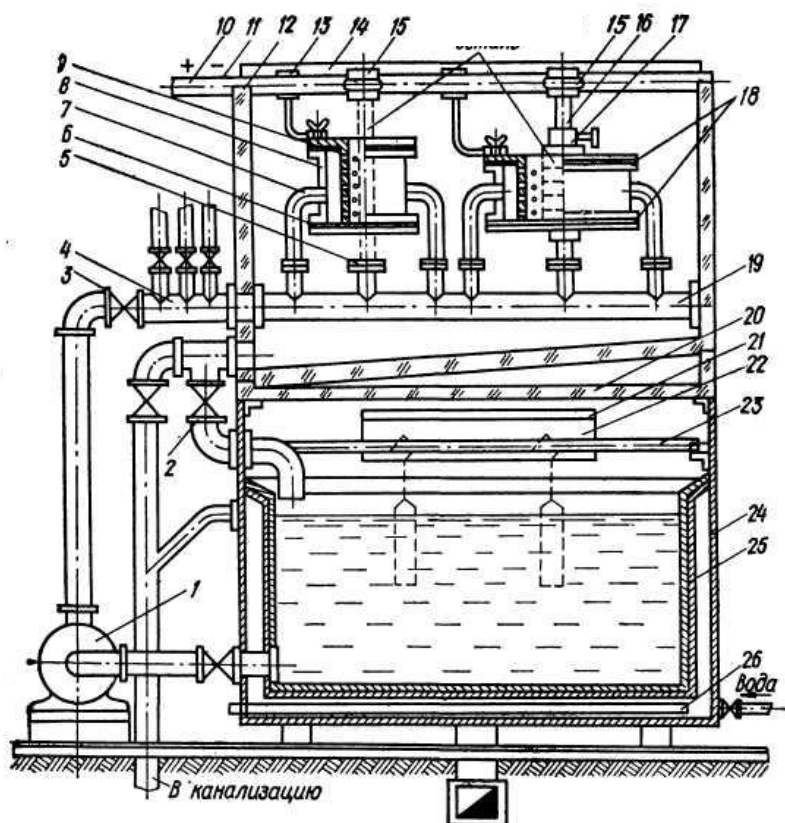


Рисунок 3.4 – Принципова схема будови установки для реалізації процесу анодно-струминного хромування поверхонь деталей:

1- робочий насос; 2, 3, 4, 5, 7 – запірні арматури; 6 – регулююче дно; 8 – осередок; 9 – анод циліндричної форми; 10, 11 – робочі штанги; 12 – ванна для розміщення деталей; 13, 15 – затискні механізми; 14 – бортовий укіс; 16 – струмопровід; 17 – прижимна втулка; 18 – прокладка із фторопласта; 19 – колектор; 20, 21, 22 – облицювання; 23- подаюча штанга; 24 – робочий корпус; 25 – ванна для відстоювання; 26 – нагрівальний елемент

В таблиці 3.1 приведені основні елементи режимів хромування поверхонь деталей.

Таблиця 3.1 – Основні елементи режимів хромування поверхонь деталей.

Оброблюваний матеріал	Параметр твердості матеріалу деталі, HRC	Елементи режимів хромування поверхонь деталей			Параметр мікротвердості отриманого покриття
		марка електроліту	робоча температура °C	величина щільності струму, а/дм ²	МН/м ²
Чавун спеціального призначення	45-55	Універсального призначення	95	25 - 35	650 – 950

При відновленні деталей необхідно врахувати умови їх експлуатації і витримувати технологічний процес хромування, використовувати найбільш прогресивні режими процесу електролізу.

3.2 Фінішні методи обробки відновленої поверхні

До фінішних методів обробки відносяться: шліфування, полірування, хонінгування та ін. Для отримання заданої шорсткості та точності поверхні відновлюваної деталі в якості фінішного методу обробки поверхні приймаємо

хонінгування. При обробці внутрішньої поверхні деталі використовується внутрішшліфувальний верстат високої точності моделі 3K227B і хонінгувальний верстат моделі 3Г833. Точність верстата 0,005 мм. Шорсткість поверхні, яку можна отримати на цьому верстаті $Ra = 0,2$ мкм. Такі параметри верстата задовольні так як, при обробці поверхні необхідно отримати шостий квалітет точності і шорсткість поверхні $Ra = 0,4$ мкм.

Фінішна антифрикційна безабразивна обробка гільзи циліндра (ФАБО) є ефективною технологією формування тонкого антифрикційного шару на дзеркалі циліндра і суттєво відрізняється від процесу вибіркового переносу, який спостерігається при терті пар металів, наприклад бронзи і сталі. Під час вибіркового переносу відбувається розчинення легуючих елементів у мастильному середовищі та сепарація атомів міді, які, об'єднуючись у мікрогрупи, переносяться на поверхню сталі й утворюють нерівномірний по товщині шар. На відміну від цього, при ФАБО перенос металу здійснюється мікрочастинками вихідного матеріалу, хімічний склад яких повністю відповідає складу покритого шару, а між частинками формується міцний металічний зв'язок, що забезпечує високу адгезію та стабільність антифрикційних властивостей.

Товщина сформованого покриття становить для латуні 2–3 мкм, для бронзи та міді 1–2 мкм, що дозволяє зберігати геометричну точність робочої поверхні та забезпечує поступове припрацювання поршневих кілець. При цьому на шорстких поверхнях ФАБО сприяє зменшенню мікронерівностей, тоді, як при початковій малій шорсткості поверхні вплив на параметр Ra незначний, що гарантує стабільність мастильної плівки у зоні контакту. Перед проведенням ФАБО поверхня гільзи повинна бути попередньо оброблена традиційними методами — шліфуванням, розточуванням і хонінгуванням, причому кінцеве значення шорсткості має бути не гіршим за $Ra = 2,5$ мкм, що забезпечує оптимальні умови для формування якісного антифрикційного шару. На рисунку 3.5 показана схема пристрою для ФАБО гільзи циліндра.

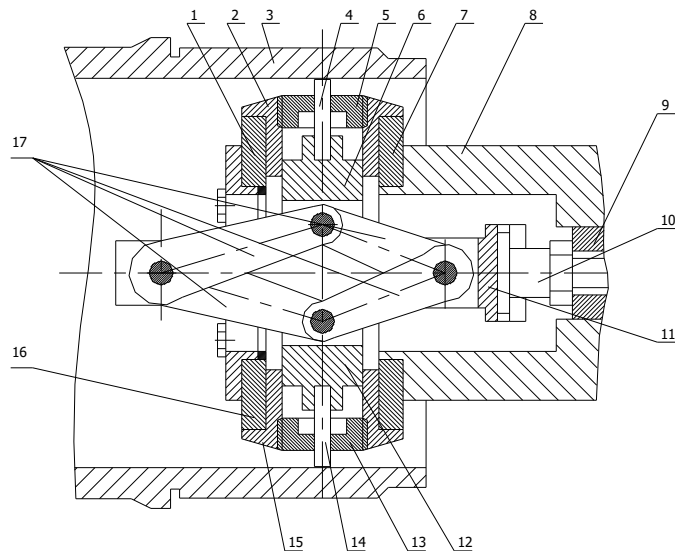


Рисунок 3.5 – Схема пристрою для ФАБО гільзи циліндра

Пристрій встановлюється в різцетримач токарного верстата. Передня частина пристрою має головку 8 зі стаканами 7 та 16; в розрізаних направляючих втулках 2 і 15 рухаються два направляючих штоки 6 і 12. Через систему важелів сила від тяги 9 передається на штоки, та на встановлені в них прутки 4 і 14 з латуні або бронзи притискаються до оброблюваної поверхні 3. Важелі 17 з'єднані шарнірно з кришкою 1 головки і вилкою тяги. Самовстановлення прутків латуні під час роботи забезпечується переміщенням вилки 11, що має паз, відносно болта 10. По мірі зношування прутки переміщуються в радіальному напрямку в гайках 5 і 13. Зношені прутки замінюють новими. Для заведення прутків в гільзу підпружинену тягу віджимають спеціальною гайкою, внаслідок чого штоки здвигаються до центру.

Перевага ФАБО над іншими методами фінішної обробки в тому, що метод простий, не потребує складного обладнання та надає сталій або чавунній поверхні високі антифрикційні властивості. Оброблений ФАБО циліндр двигуна перетворюється з чавунного в бронзовий або латунний, так як коефіцієнт тертя знижується в 1,5 рази.

3.3 Вибір технологічного обладнання та пристроїв для виконання технологічної операції

При виборі конкретної марки шліфувального круга необхідно враховувати наступні параметри: матеріал оброблюваної деталі; геометричні розміри оброблюваних поверхонь; задані параметри точності та якості для оброблюваної поверхні; модель шліфувального верстата; форма поверхні деталі (внутрішня циліндрична, зовнішня циліндрична, плоска, фасонна та ін. До основних характеристик шліфувального круга відносяться: геометричні розміри, матеріали абразивних зерен та їх розмір, дисперсність та концентрація абразивних зерен, твердість, зв'язуючи матеріал, силові та кінематичні характеристики, структурні характеристики.

Для реалізації розробленого технологічного процесу, а саме для операції шліфування вибираємо шліфувальний круг із наступними параметрами: марка абразивного матеріалу – електрокорунд білий 25А; зернистість абразивного круга 63 (характеристика процентного складу основної фракції); твердість абразивного круга СМ2 (середньом'який другий); керамічна зв'язка К8; тип шліфувального круга ПВ (плоский з виточкою); клас шліфувального круга А, максимальна окружна швидкість круга 35 м/с. Отже, вибрано шліфувальний круг марки: ПВ 24А63ПСМ23К8А 35 м/с.

Вибір тих чи інших характеристик шліфувального круга зумовлені наступними міркуваннями: марка абразивного круга залежить від заданої шорсткості поверхні під наступне покриття; твердість абразивного круга вибирається в залежності від твердості оброблюваного матеріалу (чим вища твердість оброблюваного матеріалу, тим твердість круга менша); структура абразивного круга - це співвідношення між кількістю зерен, зв'язуючого матеріалу і пор в одиниці об'єму круга (для шліфування чавунних деталей вибрана структура №3).

Вибір зв'язки зумовлений матеріалом шліфувального круга. Шліфувальні круги виготовлені з електрокорунда мають, як правило, керамічну

зв'язку. Форма шліфувального круга (тип) залежить від форми оброблюваної поверхні. До характеристик класу шліфувального круга відносяться: допуски на механічну обробку поверхні; відхилення форми та

3.4 Розрахунок і проектування вимірювального інструмента

Розрахуємо гладкий калібр-пробку для контролю отвору діаметром $D = 130H6(^{+0,025})$ мм. Розміри отвору: $D_{\max} = 130,025$ мм, $D_{\min} = 130,000$ мм.

Приймаємо данні для розрахунку калібра: $Z = 4$ мкм, $y = 3$ мкм, $\alpha = 0$, $H = 5$ мкм.

Найбільший граничний розмір нової пробки визначається за формулою:

$$PP_{\max} = D_{\min} + Z + \frac{H}{2} = 130,000 + 0,004 + \frac{0,005}{2} = 130,0065 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір калібра ПР 130,0065_{-0,005} мм.

Найбільший розмір зношеної прохідної пробки ПР_{зн}, визначається за формулою:

$$PP_{\text{зн}} = D_{\min} - y = 130,000 - 0,003 = 129,997 \text{ мм.}$$

При досягненні цього розміру, калібр необхідно вилучити з експлуатації. Найбільший розмір непрохідного нового калібра-пробки НЕ визначається за формулою:

$$HE_{\max} = D_{\max} + \frac{H}{2} = 130,025 + \frac{0,005}{2} = 130,0275 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір калібра НЕ 130,0275_{-0,005} мм.

3.5 Пристосування для випресовки гільз циліндрів двигуна

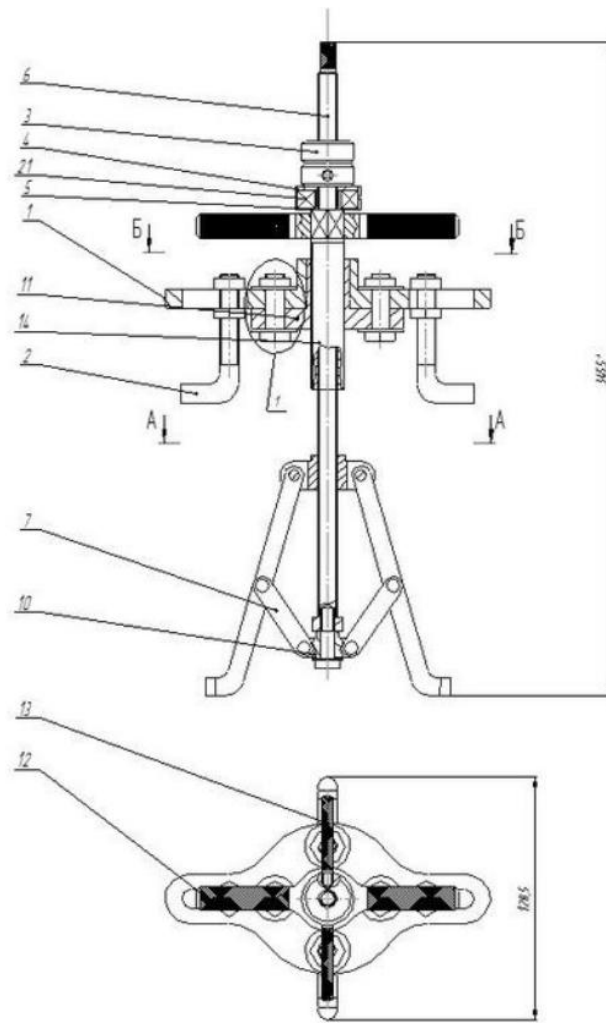


Рисунок 3.6 – Пристрій для випресовки гільз

1 — Опорна плита (захватна плита), 2 — Опорні лапи (захвати для встановлення на блок циліндрів), 3 — Гайка регулювальна, 4 — Втулка напрямна, 5 — Шайба опорна, 6 — Гвинт силовий (шток гвинтового механізму), 7 — Розпірні важелі (розкосні важелі опори), 10 — Шарнір важелів, 11 — Бічні упори (захватні призми), 12 — Кронштейн важеля, 13 — Опорний диск (підп'ятник), 14 — Головка затискна, 15 — Корпус центральний, 16 — Болт фіксаційний, 21 — Шпилька фіксації упорної плити

Пристосування призначене для механізованого демонтажу зношених або дефектних гільз циліндрів із блока двигуна та працює за принципом гвинтового механізму, який забезпечує створення осьового зусилля з

одночасним центруванням елемента, що видаляється. Випресовування гільзи здійснюється за рахунок обертання гвинта, причому пристосування встановлюють на блок таким чином, щоб оправка точно входила у внутрішній отвір гільзи, що підлягає демонтажу. Після того як нижня частина оправки виходить за межі торця гільзи, поворотний упор автоматично фіксує її та під дією обертового моменту, що прикладається до гвинта, забезпечує плавне переміщення гільзи в напрямку демонтованої частини. Після повного видалення елемента пристосування знімають разом з гільзою, що значно скорочує трудомісткість операції. Вибір саме гвинтового механізму є технічно доцільним, оскільки конструкція проста, надійна, енергонезалежна і не потребує підключення пневматичних або гідравлічних джерел живлення, що робить її придатною для використання як в умовах ремонтних майстерень, так і в польових умовах.

Конструктивна універсальність забезпечується можливістю налаштування пристосування на різні діаметри гільз у межах 50–200 мм шляхом регулювання положення лап за допомогою гвинта та перестановки кріпильних елементів на планках, а також зміною місця опори, що дозволяє точно встановлювати знімач на блоках різних типорозмірів. Затягування гайки на робочому гвинті, виконуване за допомогою рукоятки при одночасному утриманні його квадратної верхньої частини від провертання, створює поступальний рух оправки, який забезпечує рівномірне і бездеформаційне видалення гільзи з блока.

3.6. Порядок розрахунку та вибір гвинтового механізму

Під час експлуатації гвинт, як правило, працює на напруження стискання та кручення. Формула для визначення середнього діаметра його різьбової поверхні виходячи з умови максимальної зносостійкості:

$$d_2 \geq \sqrt{\frac{P}{\pi \psi_z \xi[p]}},$$

Де: d_2 – значення середнього діаметра різьбової поверхні гвинта, мм;

P – величина сили закріплення гільзи, $P = 16кН$;

ψ_z – прийняте значення коефіцієнта висоти гайки, для цільних гайок,
 $\psi_z = 2$;

ξ – параметр взаємовідношення висоти робочого профілю різьбової поверхні до величини кроку; для метричної різьби, $\xi = 0,541266$;

$[p]$ – максимально допустиме значення допустимого тиску в різьбовій поверхні для пари сталь-сталь, $[p] = 13 \text{ Н/мм}^2$.

$$d_2 = \sqrt{\frac{16000}{3,14 \cdot 2 \cdot 0,541266 \cdot 13}} = 29,03 \text{ мм}.$$

Для виготовлення гвинта вибираємо метричну різьбу з наступними геометричними параметрами: зовнішній діаметр різьбової поверхні $d = 30 \text{ мм}$, середній діаметр різьбової поверхні $d_2 = 28,51 \text{ мм}$, внутрішній діаметр різьбової поверхні $d_1 = 26,752 \text{ мм}$, крок різьбової поверхні $s = 2,5 \text{ мм}$, висота робочого профілю різьбової поверхні $H_1 = 1,624 \text{ мм}$, радіус виступів різьбової поверхні $r = 0,288 \text{ мм}$.

Для забезпечення умов зручності та безпеки при експлуатації силового гвинта його різьбова поверхня повинна забезпечити надійну умову самогальмування різьбового з'єднання:

$$\alpha < \varphi',$$

Де: α – кут підйому гвинтової лінії різьбової поверхні гвинта;

φ' – приведений кут гвинтової лінії різьбової поверхні гвинта.

Формула для визначення величини кута підйому гвинтової лінії різьбової поверхні:

$$tg\alpha = \frac{s}{\pi d^2};$$

$$tg\alpha = \frac{2,5}{3,14 \cdot 20,0} = 0,02654.$$

Значення кута $\alpha = 1^0 52'$ знаходимо через значення $tg\alpha$.

Формула для визначення приведенного кута профілю різьбової поверхні:

$$\varphi' = arctg \frac{f}{\cos \delta},$$

Де: f – значення коефіцієнта тертя для пари сталь - сталь, $f = 0,15$;

δ – значення кута нахилу робочої грані витка різьбової поверхні,
 $\delta = 30^0$.

$$\varphi' = arctg \frac{0,15}{\cos 30^0} = 9^0 50'.$$

Враховуючи те, що значення розрахованого кута профілю різьбової поверхні більше за значення кута підйому її гвинтової лінії умова самогальмування різьбового з'єднання гвинта виконується.

Формула для визначення гнучкості гвинта для перевірки його по параметрах стійкості:

$$\lambda_1 = \frac{\mu \cdot l}{i_{\min}},$$

Де: λ_1 – прийнята гнучкість гвинта;

μ – значення коефіцієнта приведення довжини гвинта, залежно від способу його закріплення, $\mu = 2$;

l – прийняте значення робочої довжини гвинта, $l = 640 \text{ мм}$;

$i_{\min}$ – мінімальне значення радіуса інерції поперечного перерізу гвинта.

Формула для визначення радіуса інерції гвинта:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}},$$

Де: $I_{\min}$ – мінімальне значення осьового моменту інерції гвинта:

$$I_{\min} = \frac{\pi d_1^4}{64} = \frac{3,14 \cdot 26,752^4}{64} = 3863,6 \text{ мм}^4.$$

F – розраховане значення площі поперечного перерізу гвинта:

$$F = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 26,752^2}{4} = 220,3 \text{ мм}^2.$$

В результаті одержимо:

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}} = \sqrt{\frac{3863,6}{220,3}} = 4,19 \text{ мм}.$$

Визначення величини гнучкості гвинта:

$$\lambda_1 = \frac{2 \cdot 640}{4,19} = 128,88.$$

Кількість робочих витків різьби, що сприймають навантаження в тілі гвинта пристрою для випресування гільз циліндрів, доцільно визначати з умови забезпечення допустимого питомого тиску в зоні різьбового з'єднання за припущення рівномірного розподілу осьового зусилля між усіма задіяними витками. Іншими словами, розрахунок виконується таким чином, щоб при заданому робочому зусиллі випресування, яке діє на гвинт, контактні

напруження на бічних поверхнях витків різьби не перевищували допустимих значень для матеріалів гвинта та гайки (або різьбової втулки пристрою), що гарантує відсутність зминання профілю різьби, зрізу витків чи втрати несучої здатності з'єднання в процесі експлуатації пристрою.

На основі цієї умови формують розрахунковий вираз, у якому осьове навантаження поділяється на сумарну опорну площу бічних поверхонь витків, а потім, виходячи з допустимого питомого тиску, визначають мінімально необхідну кількість витків, що повинні бути повністю ввернуті в різьбову частину, з урахуванням коефіцієнта запасу міцності для безпечної та довготривалої роботи пристрою.

$$z = \frac{P}{\pi d_2 H_1 [p]},$$

Де: P – максимальне значення осьового навантаження, $P = 16000 \text{ Н}$;

d_2 – середнє значення діаметра різьбової поверхні гвинта,
 $d_2 = 28,51 \text{ мм}$;

H_1 – висота робочого профілю різьбової поверхні гвинта,
 $H_1 = 1,624 \text{ мм}$;

$[p]$ – величина питомого тиску в різьбовому з'єднанні, $[p] = 13 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$.

$$z = \frac{16000}{3,14 \cdot 28,51 \cdot 1,624 \cdot 13} = 12,8.$$

Прийняте оптимальне значення витків різьбової поверхні, $z = 13$

Кількість витків різьбової поверхні визначаємо виходячи із умови її розрахунку параметра міцності на зріз:

$$z = \frac{P}{\pi d a [\tau]_{зр}};$$

Де: P – величина осьового навантаження, $P = 16000 \text{ Н}$;

d – значення зовнішнього діаметра різьбової поверхні, $d = 30$ мм;

$$a = s - 2r = 2,5 - 2 \cdot 0,288 = 1,924 \text{ мм};$$

$[\tau]_{zp}$ – граничне значення величини напруження при деформації на зріз,

$$[\tau]_{zp} = 100 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

$$z = \frac{16000}{3,14 \cdot 30 \cdot 1,924 \cdot 100} = 1,32 \text{ витків.}$$

Для подальших розрахунків приймаємо $z = 1$ виток.

Для визначення загальної висоти різьбової поверхні гайки, тобто товщини пластини, приймаємо найбільше значення витків різьбової поверхні:

$$H = s \cdot z = 2,5 \cdot 25 = 64 \text{ мм},$$

Товщина силової опорної пластини, яка сприймає основне навантаження під час випресування гільзи циліндра, приймається рівною 64 мм на основі проведених попередніх розрахунків міцності та жорсткості. Такий розрахунковий запас забезпечує розподіл силових потоків без надмірного прогину пластини та виключає появу залишкових деформацій у вузлі.

До групи елементів конструкції, які є найбільш вразливими щодо дії силового навантаження, належать різьбові та стрижневі елементи — шпильки і гвинтові з'єднання, що безпосередньо сприймають осьове зусилля, сформоване механізмом приводу. Саме вони визначають працездатність силового вузла та потребують ретельної перевірки за критеріями міцності й опору зминанню профілю різьби.

Для виготовлення шпильок прийнято конструкційну леговану сталь 20Г, яка характеризується підвищеною пластичністю, задовільною в'язкістю, достатнім опором втому й забезпечує надійну роботу за умов циклічних навантажень, характерних для операції багаторазового випресування гільз. Термічне зміцнення виконується шляхом нормалізації, що дозволяє отримати рівномірну дрібнозернисту структуру й забезпечити оптимальне поєднання міцності та технологічності при подальшій механічній обробці.

При значенні гранично-допустимого напруження при деформації на зріз: $[\tau_z]=50$ МПа, визначаємо необхідний діаметр шпильки виходячи з умови розрахунків по параметрах міцності при деформації на зріз:

$$[\tau_z] = \frac{P}{A_z},$$

Де: P – значення сили прикладеної до шпильки;

A_z – середнє значення площі перерізу шпильки;

$[\tau_z]$ – максимальне значення величини напруження при деформації на зріз:

$$A_z = \frac{\pi \cdot d^2}{4},$$

Де: d – прийняте значення діаметра шпильки.

$$\frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{P_{m.u.}}{[\tau_z]}.$$

Формула для визначення оптимального діаметра шпильки:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{m.u.}}{\pi \cdot [\tau_z]}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 16}{3,14 \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,019 \text{ м.}$$

Приймаємо значення діаметра шпильки – 20мм.

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Досліджування на зношування. Метод досліджування та його переваги

В основі вибраного методу дослідження на тертя та зношування лежить принципова схема контакту двох деталей – перехресних циліндрів, проекції осей, які перетинаються під кутом 90° . Контакт деталей відбувається при наступних умовах і заданих параметрах (рис.4.1).

1. Радіуси контактуючих деталей R_1 та R_2 в даному випадку різні, тобто $R_1 \neq R_2$;

2. Деталі своїми циліндричними поверхнями контактують одна з одною при постійному навантаженні Q ;

3. Рухомий (обертний) циліндр 1 не підлягає зношуванню, нерухомий циліндр 2 підлягає зношуванню;

4. Під дією заданого навантаження Q та взаємного переміщення деталей в зоні контакту формується майданчик еліптичної форми з розмірами a і b , які постійно вимірюються в результаті дослідження. По одержаних результатах отримуємо експериментальні функції $a(s)$ і $b(s)$, де s – вимірний шлях тертя;

5. Для нерухомого циліндра величина зносу $u_w(s)$ визначається за параметрами моделі стабільного зношування.

У випадку коли радіуси обох циліндричних деталей однакові ($R_1 = R_2$) відбувається контакт двох сфер. При дослідженні постає задача по визначенні параметрів k_w і m прийнятої моделі процесу стабільного зношування при відомих функціях $a(s)$ і $b(s)$.

Поставлена експериментальна задача виконується із використанням наступних допущень:

1. З механічної точки зору контактуючі деталі відносно властивостей матеріалів прийняті абсолютно твердими. Внаслідок цього, на протязі всього часу дослідження контактний тиск по утвореному майданчику в зоні контакту

розподілений рівномірно. Дана умова найбільш точно виконується у випадку, коли величина зносу більша у порівнянні із пружними переміщеннями на контакті.

2. Основним фактором, який впливає на величину зносу є значення питомого тиску в контакті, при цьому в розрахункових моделях такі параметри, як температура в зоні контакту, взаємна швидкість переміщення, геометричні розміри деталей не враховується.

3. Розміри майданчика в зоні контакту досліджуваних деталей незначний і тому в подальшому контакт вважається плоским.

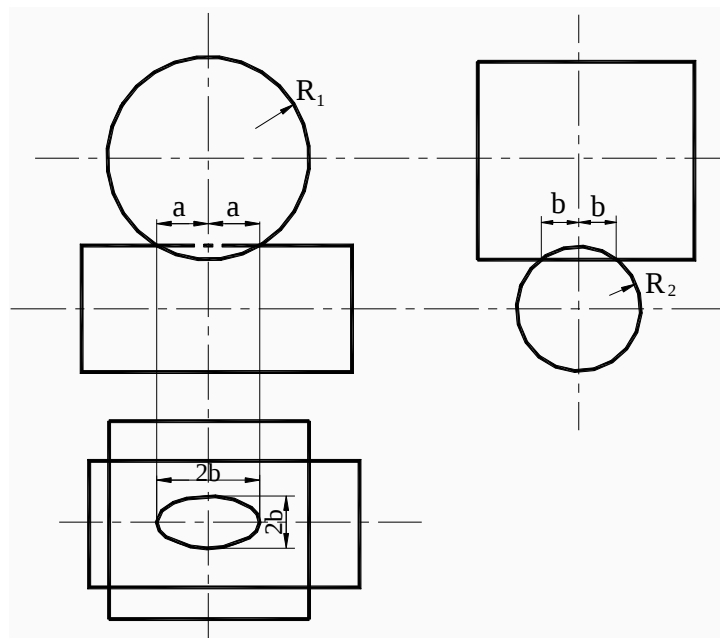


Рисунок 4.1 – Принципова схема контакту при взаємодії двох перехресних циліндрів із зношуванням робочих поверхонь.

При геометрії контакту, коли коло циліндра 1 перетинається із циліндром 2, вісь якого нормальна до осі циліндра 1, одержуємо наступне співвідношення.

$$u_{w0} = \frac{a_*^2}{2 \cdot R_1} .$$

Аналогічну залежність одержуємо і для другого циліндра:

$$u_{w0} = \frac{b_*^2}{2 \cdot R_2} .$$

Порівнюючи одержані співвідношення отримуємо:

$$\frac{a_*^2}{2R_1} = \frac{b_*^2}{2R_2}.$$

Із даних рівнянь одержано відповідне співвідношення напівосей утвореного еліпса, тобто майданчика в зоні контакту:

$$\frac{a_*}{b_*} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}; \quad b_* = a_* \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}.$$

Площу отриманого еліпса визначаємо за формулою $F = \pi \cdot a_* b_*$ і виразивши її через одну із співосей, а також із співвідношення прийнятих радіусів циліндрів отримуємо:

$$F = \pi \cdot a_*^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5} = \xi \cdot a_*^2,$$

Де:

$$\xi = \pi \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}$$

Для одержання об'єктивних експериментальних даних прийнято використовувати середнє значення розміру утвореного майданчика контакту, яке визначаємо враховуючи умову рівності, як площі еліпса, а також приведенного радіуса кола а:

$$F = \pi \cdot a_* b_* = \pi \cdot a^2.$$

З даної формули отримуємо: $a = (a_* b_*)^{0,5}$.

При відомій експериментальній кривій $a(S)$, тоді по одержаних залежностях розраховуються основні параметри моделі зношування методом двох крапок. Нижче приведені основні співвідношення, які необхідні для розрахунків. При допомозі методу двох крапок $(a_1; S_1)$ і $(a_2; S_2)$ визначаємо основні параметри степеневі апроксимації $a = CS^\beta$.

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2}; \quad C = \frac{a_1}{S_1^\beta}$$

Формула для визначення приведенного радіуса при розрахунку основних параметрів прийнятої моделі зношування:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Формули для визначення параметрів прийнятої моделі зношування перехресних циліндрів:

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta}$$

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R}$$

4.2 Будова та принцип роботи стану для проведення лабораторних досліджень на зношування. Методика дослідження

Для аналізу характеру залежностей отриманих розмірів майданчика контакту (зони зношування), від пройденого шляху тертя, проведено комплекс випробувань на тертя та зношування двох пар тертя по прийнятій схемі контакту (рис. 4.2).

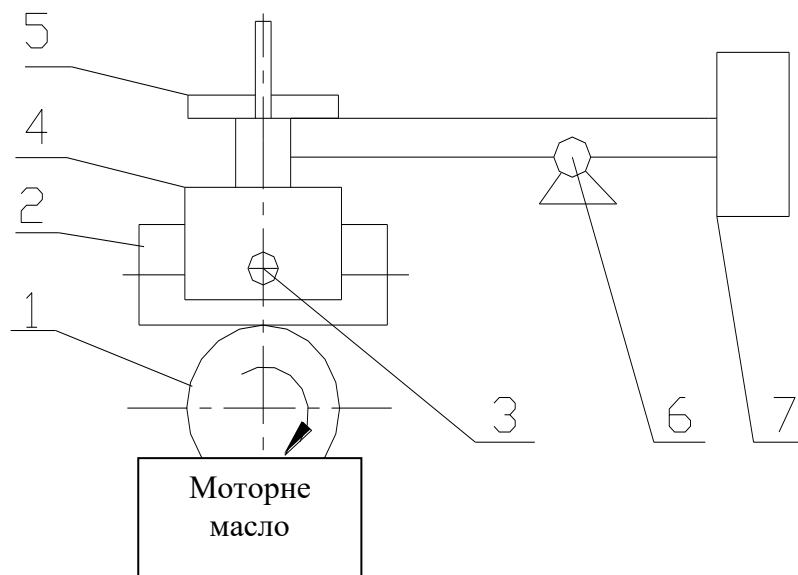


Рисунок 4.2 – Принципова схема стану для випробувань на зношування двох перехресних циліндрів

В процесі трибологічних випробувань реалізується модель контакту двох циліндричних тіл: контртіло 1 (ведений вал), що має прецизійну робочу

поверхню, притискається до відповідної циліндричної поверхні досліджуваного зразка 2 (ведучий вал). Формування та стабілізація контактного навантаження здійснюється шляхом регулювання прикладеної сили через каліброване вантажне навантаження 5, що забезпечує отримання відтворюваних умов навантаження відповідно до режимів експерименту. Зразок 2 жорстко фіксується у спеціально розробленому зразкотримачі 4 за допомогою притискного гвинта 3, що унеможливорює його зміщення під час тертя.

Для мінімізації впливу маси вузлів кріплення на точність і достовірність результатів випробувань конструкція передбачає врівноваження моментів системи шляхом встановлення на протилежному плечі зразкотримача регульованої противаги 7. З метою забезпечення змащувального середовища у зоні тертя на стенді передбачено спеціальний резервуар, заповнений дослідним мастильним матеріалом, що дає можливість проводити випробування як у граничному, так і у змішаному або гідродинамічному режимах тертя відповідно до стандартних трибологічних методик (ASTM G99, ISO 7148:2024).

Процедура проведення випробувань включає низку послідовних операцій: встановлення зразка 2 в робоче положення у зразкотримачі 4; фіксування його притискним гвинтом 3; встановлення противаги 7 необхідної величини для компенсації сил ваги конструкційних елементів; добір навантаження 5, що забезпечує необхідний питомий тиск у зоні контакту згідно з розрахунковими параметрами; запуск стенду на заданих кінематичних режимах (частота обертання, тривалість, режим мащення). Після закінчення запланованого етапу експерименту зразок обережно демонтується для вимірювання параметрів площі фактичного контакту (еліптичного майданчика спрацювання), на основі чого проводиться оцінка інтенсивності зношування.

Після виконання вимірювань зразок повторно встановлюється у вихідну позицію з максимальною геометричною сумісністю контактної плями із попереднім місцем взаємодії для забезпечення безперервності процесу спрацювання, після чого експеримент продовжують до досягнення встановленого шляху тертя або заданого критерію завершення. Така методика

забезпечує високу повторюваність результатів та дозволяє моделювати еволюцію зношування у реальних умовах експлуатації циліндричних вузлів тертя машинобудівних систем.

4.3 Результати випробувань і визначення параметрів моделі зношування

У межах дослідження було розглянуто трибологічну поведінку пар тертя, що утворюються в циліндро-поршневій групі сучасних двигунів внутрішнього згоряння, а саме контакт робочої поверхні гільзи циліндра із сірого або високоміцного спеціального чавуну та сталевого поршневого кільця з антифрикційним покриттям. Для підвищення довговічності гільз циліндрів, особливо в умовах інтенсивного абразивного навантаження та дії високотемпературного газового середовища, запропоновано застосування технології нанесення зносостійкого хромового покриття на внутрішню робочу поверхню гільзи.

Планом експериментальної програми передбачено порівняльні випробування як базових чавунних гільз, що відповідають вимогам діючих стандартів для двигунів, так і гільз із модифікованою поверхнею (електролітичне пористе хромування товщиною 0,10–0,15 мм). Під час випробувань оцінювали кінетику процесів зношування, геометричну стабільність поверхні та зміну параметрів контакту — відповідно до аналітично прийнятої моделі постійного зношування на основі рівняння Арчарда в модифікованому вигляді.

Для забезпечення відтворюваності та коректного порівняння результатів було обрано наступні стандартизовані умови трибологічних тестів: частота обертання робочого контрзразка (веденого вала): $n = 500$ об/хв (для моделювання середньої швидкості руху поршня у двотактній циклічній дії); питомий тиск у зоні контакту формувався у межах 1,5–3,0 МПа, що відповідає реальним умовам навантаження компресійних кілець у сучасних бензинових

ДВЗ; тривалість одного циклу випробувань встановлювалась із урахуванням відпрацювання еквівалентного шляху тертя до $20 \cdot 10^3$ м; система мащення забезпечувала стабільний граничний/змішаний режим тертя з використанням моторних мастил рівня SAE 5W-30 API SP.

Оцінювання зносостійкості проводилося за зміною площі фактичного контакту при зростанні шляху тертя, що давало можливість визначити коефіцієнт зношування та параметр інтенсивності спрацювання поверхні, а також встановити ефективність застосованого хромового покриття щодо зниження втрат на тертя та підвищення ресурсу циліндро-поршневої групи.

- діаметр робочого валу (контрзразка) $d_{\epsilon} = 10$ мм;
- діаметр випробуваного (нерухомого) зразка $d_{1z} = 20$ мм, $d_{2z} = 140$ мм;
- сумарне значення вантаження на контакті $Q = 0,24$ кг.

Для вимірювання розмірів осей плями контакту еліптичної форми $2a_*$ і $2b_*$ стенд зупинявся через певні проміжки часу. Радіус еквівалентного кола знаходили із співвідношення $a = (a_* b_*)^{1/2}$.

Формула для визначення шляху тертя S:

$$S = \pi d n t$$

Де: d - діаметр контрзразка;

n - число обертів контрзразка за хвилину;

t - час дослідження.

4.3.1 Порядок визначення основних параметрів прийнятої моделі зношування для гільзи циліндра після хромування

Відповідно до розробленої методики проведено серію досліджень на тертя та зношування зразка гільзи циліндра із хромовим покриттям. В зону тертя подавалося дизельне моторне мастило. В таблиці 4.1 приведено результати експериментальних досліджень.

Таблиця 4.1 – Результати випробувань на зношування хромованного зразка

	$t, \text{XB.}$	$2a^*, \text{мм.}$	$2b^*, \text{мм.}$	$a, \text{мм.}$	$S \cdot 10^6, \text{мм.}$
1	4	0,582	0,456	0,258	0,1665
2	10	0,789	0,477	0,307	0,4164
3	20	0,899	0,482	0,329	0,8327
4	40	1,016	0,486	0,351	1,665
5	60	1,193	0,492	0,383	2,498

Графічно одержані результати приведено на рисунку 4.3 і позначимо його індексом ряд 1.

Використовуємо попередні залежності для визначення параметрів статичної апроксимації. Для цього виберемо дві крапки на даному графіку:

$$T1(a_1; S_1) = (0,329; 8,327 \cdot 10^5)$$

$$T2(a_2; S_2) = (0,383; 2,498 \cdot 10^6)$$

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} = \frac{\lg 0,329 / 0,383}{\lg 8,327 / 2,498} = 0,138 ;$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{0,329}{(8,327 \cdot 10^5)^{0,138}} = 0,05.$$

$$\text{Величина приведенного радіусу: } R = \frac{5 \cdot 10}{5 + 10} = 3,33 \text{ мм.}$$

Формули для розрахунку параметрів моделі зношування для хромованого матеріалу:

$$m(x) = \frac{1-2\beta}{2\beta} = \frac{1-2 \cdot 0,138}{2 \cdot 0,138} = 2,614 ,$$

$$k_w(x) = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R} = \frac{0,05^{2 \cdot 2,614+2}}{(2 \cdot 2,614+2)(0,24/3,14)^{2,614} \cdot 3,33} = 1,341 \cdot 10^{-8} \text{ мм}^2/\text{кг}^m$$

Інтенсивність зношування для хромованого матеріалу матиме вигляд:
 $I_x = 1,341 \cdot 10^{-8} \sigma^{2,614} .$

4.3.2 Визначення параметрів моделі зношування спеціального чавуну

Згідно описаній методики були проведені випробування на зношування елементу гільзи циліндра двигуна , за наявності мастила, виготовленого із спеціального чавуну. Експериментальні дані зведено в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2 – Результати випробувань на зношування

№	t , хв.	$2a^*$, мм.	$2b^*$, мм.	a , мм.	$S \cdot 10^6$, мм.
1	4	0,839	0,564	0,344	0,1665
2	10	0,901	0,699	0,397	0,4164
3	20	0,979	0,802	0,443	0,8327
4	40	1,012	0,867	0,468	1,665
5	60	1,127	0,912	0,507	2,498

Графічно результати показано на рисунку 4.3., та позначимо графік *ряд* 2.

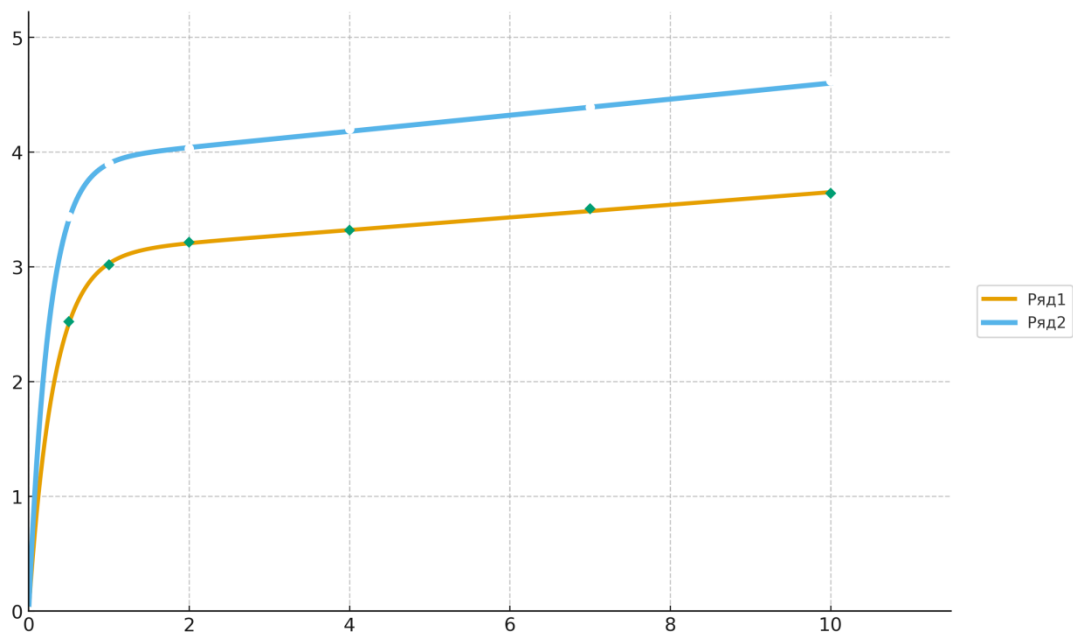


Рисунок 4.3 – Графік залежності середнього розміру плями контакту від часу дослідження пари тертя:

ряд 1 – хромований матеріал; ряд 2 – спеціальний чавун.

Використовуючи попередні залежності для визначення параметрів статечної апроксимації, вибираємо дві крапки на графіку:

$$T1(a_1; S_1) = (0,4438, 327 \cdot 10^5)$$

$$T2(a_2; S_2) = (0,507; 2,498 \cdot 10^6)$$

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} = \frac{\lg 0,443 / 0,507}{\lg 8,327 / 24,98} = 0,123 ;$$

$$C = \frac{a_1}{S_1^\beta} = \frac{0,443}{(0,8327 \cdot 10^6)^{0,156}} = 0,083.$$

$$\text{Приведений радіус: } R = \frac{71 \cdot 5}{71 + 5} = 8,765 \text{ мм.}$$

Параметри моделі зношування для спеціального чавуну, розрахуємо за формулами:

$$m(\eta) = \frac{1-2\beta}{2\beta} = \frac{1-2 \cdot 0,123}{2 \cdot 0,123} = 3,079 ,$$

$$k_w(T) = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R} = \frac{0,083^{2 \cdot 3,079 + 2}}{(2 \cdot 3,079 + 2)(0,24/3,14)^{3,079} \cdot 8,765} = 6,026 \cdot 10^{-8} \text{ мм}^2/\text{кг}^m$$

Інтенсивність зношування для спеціального чавуну матиме вигляд:

$$I_\eta = 6,026 \cdot 10^{-8} \sigma^{3,079} .$$

4.4 Визначення інтенсивності зношування

Одержавши параметри моделі зношування для заданих матеріалів, проводимо порівняльну оцінку по інтенсивності зношування при різному контактному тиску:

– для хромованого матеріалу матиме вигляд: $I_x = 1,341 \cdot 10^{-8} \sigma^{2,614} ;$

– для спеціального чавуну матиме вигляд: $I_\eta = 6,026 \cdot 10^{-8} \sigma^{3,079} .$

Контактний тиск у вузлі тертя складає $\sigma = 0,23 \text{ кг/мм}^2$. Визначаємо, як впливає величина контактного тиску на інтенсивність зношування для обох матеріалів (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 - Визначення залежності зносу від контактного тиску

№	σ , кг/мм ² .	I_η	I_x
1	0,1	$5,02 \cdot 10^{-11}$	$3,26 \cdot 10^{-11}$

2	0,2	$4,24 \cdot 10^{-10}$	$1,996 \cdot 10^{-10}$
3	0,23	$6,53 \cdot 10^{-10}$	$2,88 \cdot 10^{-10}$
4	0,25	$8,43 \cdot 10^{-10}$	$3,58 \cdot 10^{-10}$
5	0,3	$1,47 \cdot 10^{-9}$	$5,76 \cdot 10^{-10}$

На рисунку 4.4 графічно зображено порівнянні показники обох матеріалів при робочому контактному тиску $\sigma_p = 0,23 \text{ кг/см}^2$.

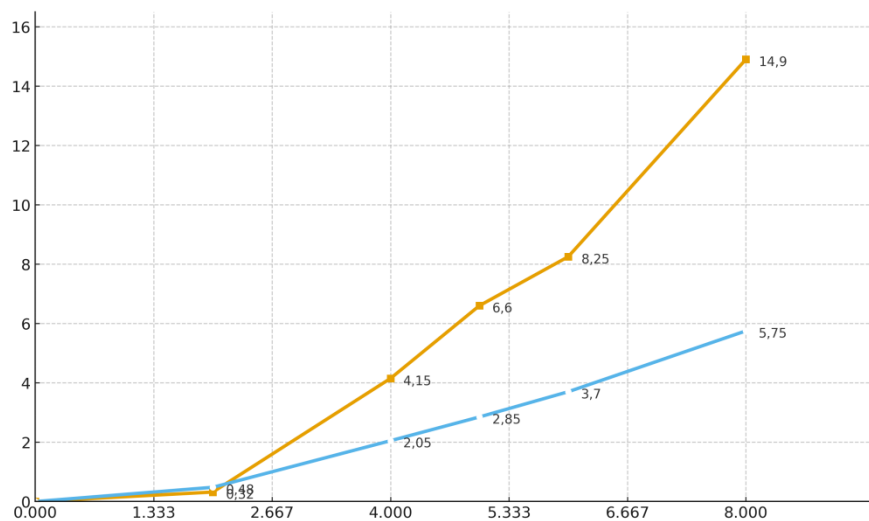


Рисунок 4.4 – Графіки залежностей інтенсивності зношування від контактних тисків: 1 – для спеціального чавуну; 2 – для хромованого матеріалу.

Враховуючи, що $i = \frac{I_u}{I_x} = \frac{6,52}{2,9} = 2,25$ рази, хромування гільзи циліндра ДВС повинне підвищити зносостійкість гільзи в 2,25 рази, щодо стандартних гільз, виготовлених із спеціального чавуну.

4.5 Метод випробувань деталей типу циліндр та параметри моделі їх зношування

Для проведення лабораторних випробувань з визначення інтенсивності спрацювання та триботехнічних характеристик поверхонь пар тертя циліндро-поршневої групи обрано методику дослідження зношування за схемою

«перехресних циліндрів». Сутність даного способу полягає у формуванні контакту двох циліндричних тіл, осі яких перехресшуються під заданим кутом (зазвичай 90°), що забезпечує появу еліптичної стабільної плями контакту. Таке геометричне компонування дозволяє імітувати реальні контактні навантаження, характерні для взаємодії поршневого кільця зі стінкою циліндра двигуна, включно зі складними умовами комбінованого тертя під дією температурного градієнта та гідродинамічного мастильного клину.

Метод перехресних циліндрів належить до найбільш метрологічно обґрунтованих способів оцінки зносостійкості матеріалів та покриттів, оскільки дозволяє окремо аналізувати прояви абразивного, адгезійного й контактнотомного механізмів руйнування. У процесі випробувань здійснюється контроль еволюції параметрів шорсткості, геометричних розмірів майданчика контакту, питому інтенсивність зношування за площею та об'ємом, а також характер поверхневого руйнування за результатами мікроструктурного аналізу.

Важливою перевагою даного методу є можливість варіювання та точного регулювання усіх ключових трибологічних факторів — питомого навантаження, частоти взаємного переміщення, температури контактної зони та складу мастильного середовища. Завдяки цьому забезпечується висока відтворюваність результатів, що є критично важливою умовою для об'єктивної порівняльної оцінки ефективності технологій відновлення дзеркала циліндрів, зокрема електролітичного хромування, а також для аналізу працездатності циліндро-поршневих вузлів у керованих умовах експерименту (рис. 4.5).

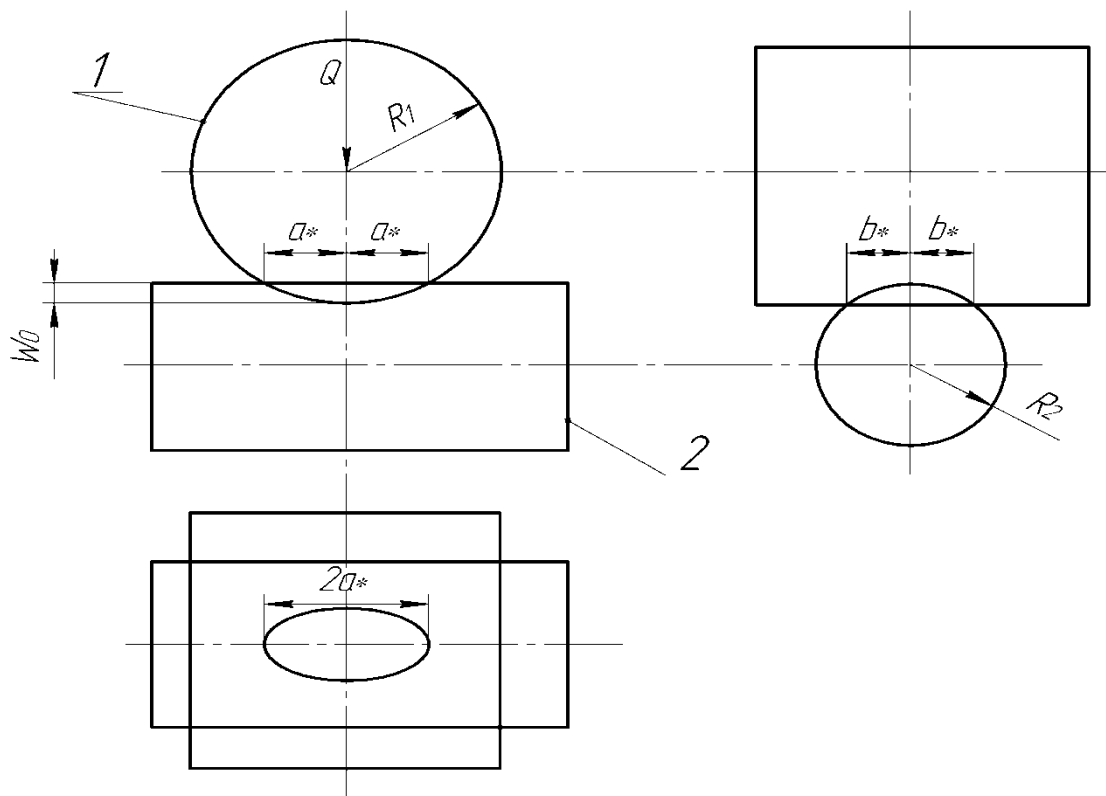


Рисунок 4.5 – Схема взаємодії перехресних циліндрів із зношуванням.

1– зразок,; 2 – контрзразок (сталь $HB_2 > HB_1$).

Наведемо постановку задачі і залежності для визначення параметрів моделі зношування. Розглядається контакт двох перехресних циліндрів, проекції осей яких перетинаються під кутом 90° , що дозволяє моделювати локальний просторовий контакт елементів тертя при різних напрямках ковзання. Контактна взаємодія здійснюється під дією нормального навантаження з визначеною питомою силою, а взаємне ковзання відбувається з постійною швидкістю, що формує стабільний силовий і тепловий стан у зоні контакту. Передбачається наявність або відсутність мастильного середовища залежно від умов експерименту, при цьому характер тертя може відповідати граничному, змішаному або рідинному режимам.

Геометричні параметри циліндрів, їх твердість і шорсткість поверхонь перед початком випробувань задаються як вихідні, а зміна висоти мікронерівностей поверхні у часі розглядається як міра інтенсивності зношування. В умовах перехресного контакту формується контактна пляма

еліптичного типу, а напружений стан визначається за класичною теорією Герца, що дозволяє встановити величини максимального контактного тиску, розподіл деформацій і глибину впливу навантаження у поверхневих шарах. Таким чином, модель зношування при перехресному контакті забезпечує можливість оцінювання трибологічних властивостей покриттів і матеріалів, що працюють в умовах циклічного навантаження і змінного напрямку ковзання, аналогічно умовам роботи дзеркала циліндра двигуна внутрішнього згоряння.

R_1 та R_2 в загальному випадку різні: $R_1 \neq R_2$;

Умовами задачі вважається, що циліндри притискаються один до одного постійним навантаженням Q , при цьому перший циліндр здійснює обертальний рух і не зазнає спрацювання, тоді як другий залишається нерухомим і піддається зношуванню в зоні контакту. У процесі випробування формується еліптична контактна площадка з півосями a та b , значення яких періодично вимірюються в залежності від шляху тертя s . Таким чином, за результатами експерименту отримуються функціональні залежності $a(s)$ і $b(s)$, що дозволяє оцінювати інтенсивність зношування поверхневого шару з урахуванням зміни геометрії контактної зони у часі.

Знос $uw(s)$ нерухомого циліндра передбачається таким, що відбувається за моделлю сталого зношування, а за умови коли $a = b$ результати випробувань відповідають умовам контактної взаємодії сферичних поверхонь. Постановка задачі полягає у визначенні параметрів k_w і m моделі сталого зношування за відомими залежностями зміни півосей контактної площадки $a(s)$ і $b(s)$ у функції від пройденого шляху s . Для розв'язання задачі приймають такі основні припущення: контактуючі циліндри вважаються абсолютно твердими тілами, що дає можливість у всьому діапазоні випробувань приймати розподіл тиску в межах контактної плями рівномірним, і це припущення тим точніше, чим більшим є знос у порівнянні з пружними деформаційними переміщеннями; вплив зношування визначається виключно тиском у зоні контакту, а інші фактори, такі як

температура, швидкість ковзання, геометричні розміри або особливості мастильного середовища, у даному спрощеному описі не враховуються; площу контакту розглядають настільки малою, що її можна умовно вважати плоскою, що значно спрощує визначення параметрів напружено-деформованого стану і математичний опис процесу.

Розглянемо геометрію контакту, при цьому з аналізу перетину колової поверхні циліндра 1 та поперечного перерізу циліндра 2, що розташований нормально до осі першого циліндра, випливає залежність між величиною зношування та геометричними параметрами контактної площадки, оскільки зміна радіуса нерухомого циліндра, спричинена спрацюванням, визначається через розміри півосей еліпса контакту і дозволяє встановити взаємозв'язок між характеристикою зношування $u_w(s)$ та параметрами $a(s)$ і $b(s)$, що є основою для подальшого математичного опису трибологічного процесу.

$$u_{w0} = \frac{a_*^2}{2 \cdot R_1}.$$

Аналогічні розрахунки проводимо і для другого циліндра:

$$u_{w0} = \frac{b_*^2}{2 \cdot R_2}.$$

Порівнявши праві частини попередніх нерівностей одержуємо:

$$\frac{a_*^2}{2R_1} = \frac{b_*^2}{2R_2}.$$

Одержані співвідношення напіввісей еліпсу площини в зоні контакту:

$$\frac{a_*}{b_*} = \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5} ; \quad b_* = a_* \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}.$$

Для визначення площі еліпсу враховуємо одну її напіввісь та відповідне співвідношення радіусів:

$$F = \pi \cdot a_* b_*,$$

В результаті розрахунків одержуємо:

$$F = \pi \cdot a_*^2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5} = \xi \cdot a_*^2,$$

$$\xi = \pi \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} \right)^{0,5}.$$

Для аналізу та обробки бази даних експериментальних досліджень використовують середнє значення розміру площини контакту пари тертя.

Формула для визначення середнього значення площини контакту із врахуванням умови рівності площ обох еліпсів та приведеного кола радіусом a :

$$F = \pi \cdot a_* b_* = \pi \cdot a^2.$$

Отримуємо:

$$a = (a_* b_*)^{0,5}.$$

У разі, коли експериментальна залежність зміни параметрів еліптичної контактної плями в процесі зношування є встановленою, виникає можливість визначення характеристик моделі сталого зношування, що описує трибологічну взаємодію поверхонь. Застосовуючи методичні підходи, викладені у сучасних трибологічних дослідженнях, можна отримати аналітичні співвідношення між геометричними параметрами майданчика

контакту та пройденим шляхом тертя, які адекватно відображають динаміку спрацювання поверхневого шару.

Практична реалізація зазначеного підходу ґрунтується на використанні експериментально вимірних функцій зміни великої та малої півосей еліпса контакту під час зношування, що дає змогу чисельно оцінити коефіцієнт зношування k_w та показник степеневі залежності m . З метою підвищення точності та зменшення впливу випадкових похибок застосовується метод двох контрольних точок, який передбачає використання двох довільно відібраних, але метрологічно достовірних вимірювань параметрів контактної плями для визначення величин k_w і m .

Такий математичний підхід забезпечує: мінімізацію обсягів обчислень під час стендових випробувань; швидке отримання характеристик трибосистеми за обмеженої кількості експериментальних даних; підвищення відтворюваності результатів; можливість порівняльного аналізу зносостійкості різних поверхневих покриттів, зокрема хромованих гільз циліндрів.

Отримані у такий спосіб параметри моделі сталого зношування дозволяють ефективно прогнозувати залишковий ресурс поверхні, оцінювати вплив мастильного середовища та навантажувальних режимів, а також оптимізувати конструктивно-технологічні рішення для деталей циліндро-поршневої групи сучасних двигунів внутрішнього згоряння.

Прийняте значення параметрів $a = CS^\beta$ визначаємо за допомогою двох точок $(a_1; S_1)$ і $(a_2; S_2)$:

$$\beta = \frac{\lg a_1 / a_2}{\lg S_1 / S_2} ; \quad C = \frac{a_1}{S_1^\beta} \quad (2.13)$$

Формула для розрахунку параметрів моделі зношування приведенного радіуса:

$$R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Прийняті параметри моделі зношування:

$$m = \frac{1-2\beta}{2\beta},$$

$$k_w = \frac{C^{2m+2}}{(2m+2)(Q/\pi)^m R}.$$

4.6 Розподіл величин зносу по поверхнях деталей пар тертя

Порушення нормальної роботи вузла в результаті зношування деталей часто залежить не стільки від величини зносу, скільки від нерівномірності його розподілу по поверхні тертя. Форма зношеної поверхні поряд з величиною лінійного зносу визначає взаємне положення деталей у парі тертя, динамічні характеристики вузла та механізму загалом.

Розподіл зносу по поверхні тертя залежить від характеру контакту деталей у вузлі, величини і характеру діючого навантаження при різному можливому взаємному положенні деталей, стану мастильного прошарку в різних точках поверхонь, що труться, можливості попадання в зазор абразивних частинок і т. д. Топографія зносу залежить також від того, яка деталь у вузлі тертя являється рухомою а, яка нерухомою.

Розглянемо кілька характерних епюр зносу деталей деяких вузлів тертя, отриманих експериментальними дослідженнями на лабораторних стендах і реальних умовах експлуатації. У шарнірно-болтовому з'єднанні, що знаходиться під дією вертикально спрямованого навантаження, епюри зношування деталей залежать від того, яка деталь є рухомою. Якщо рухомою є

втулка, а болт нерухомим, то на його поверхні спостерігатиметься місцеве зношування у вигляді вузької смужки вздовж твірної. На втулці ж відбуватиметься вироблення матеріалу в частині кола, довжина якого залежить від величини кута гойдання. Якщо втулка нерухома, а зворотно - обертальні рухи виконує болт, то він вироблятиме на втулці місцеву виїмку з радіусом, рівним його радіусу в зоні контакту. Сам болт, зношуватиметься в частині кола, величина якого залежить від кута гойдання (рис. 4.6).

Нерівномірно розподіляється знос і по довжині шарніра. При точному виготовленні його деталей та співвісному складанні у відкритих шарнірах більший знос спостерігається у їх торців. Це пов'язано з проникненням в шарнір частинок пилю, піску. Чим більше відносна довжина шарніра, тим більш помітна нерівномірність розподілу зносу по його довжині.

У підшипникових парах одна з деталей зношується рівномірно по колу, а інша нерівномірно. Постійна радіальна сила P , що діє на вал, який обертається, піддає його циркуляційному навантаженню, а підшипник місцевому. У цьому випадку вал буде зношуватися рівномірно по колу, а на підшипник (рис. 4.7,а). Якщо постійна сила діє на підшипник, що обертається, при нерухомому валі (рис. 4.7,б) або відцентрова сила C навантажує обертовий вал при нерухомому підшипнику (рис. 4.7,в), то останній зношується рівномірно по колу, а на валу утворюється односторонній знос.

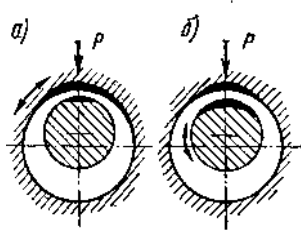


Рисунок 4.6. Розподіл зносу по колу втулки та болта в шарнірно-болтовому з'єднанні:
а-болт нерухомий; б-втулка нерухома

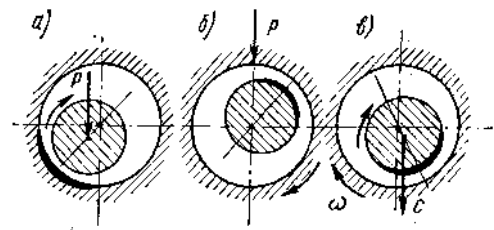


Рисунок 4.7. Розподіл зношування по колу підшипника і валу при різних варіантах їх навантаження

Нерівномірно по довжині зношуються плунжери гідравлічних та

паливних насосів, що здійснюють у гніздах ротора зворотно-поступальне переміщення при одночасному відносному обертанні. Найбільше зношування плунжерів спостерігається в тих перерізах по довжині, які збігаються з кромкою ротора при максимальному виході з гнізда плунжера. Поверхні гнізда під плунжери в роторі більше зношуються в крайніх перетинах до торця (рис. 4.8).

Істотна нерівномірність розподілу зносу спостерігається на контактуючих поверхнях деталей шліцевих з'єднань. Дослідження показали, що топографія зносу контактуючих поверхонь шліців залежить від характеру неспівосності деталей в сполученні. За наявності тільки перекосу осей максимальне зношування спостерігається у торців шліців, а мінімальне в середній частині (рис. 4.9,а). Зі збільшенням кута перекосу або тривалості роботи з'єднання різниця у максимальних значеннях зносу в межах одного шліца зростає. По висоті шліца величина зносу зменшується від його вершини до ніжки.

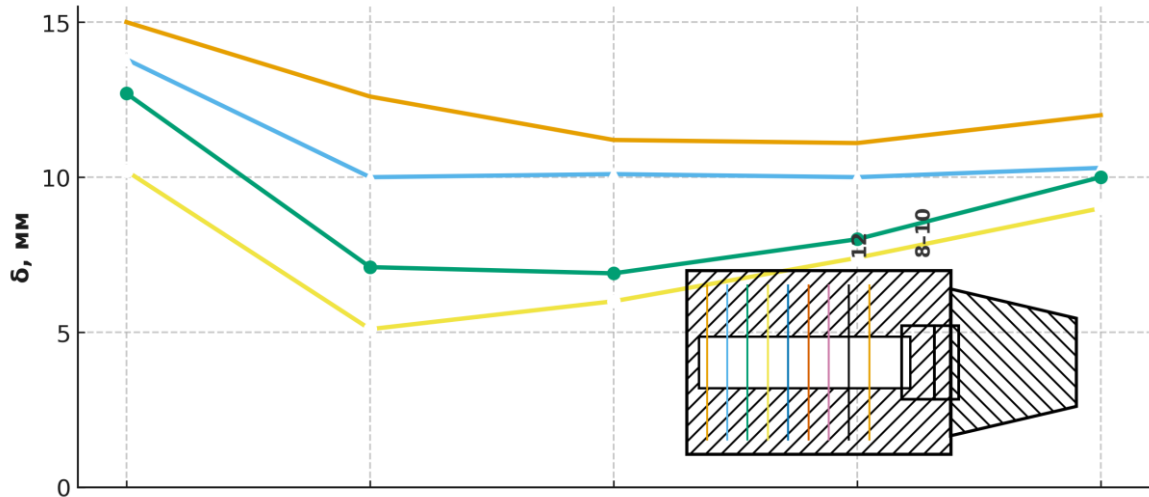


Рисунок. 4.8. Розподіл зносу δ по довжині гнізда під плунжер ротора - насоса

При радіальному зміщенні осей знос по довжині шліца розподіляється рівномірно (рис. 4.8, б), у той час як по висоті його спостерігається та ж залежність, що і за наявності перекосу осей.

Зі збільшенням радіального зміщення та напрацювання нерівномірність

розподілу зносу за висотою шліца зростає. Для випадку одночасного перекоосу осей шліцевих деталей та їх радіального зміщення характерною є епюра з максимальним зносом в одного торця шліца та мінімальним у другого (рис. 4.9, в). По висоті шліца знос розподіляється так само як і в двох перших випадках.

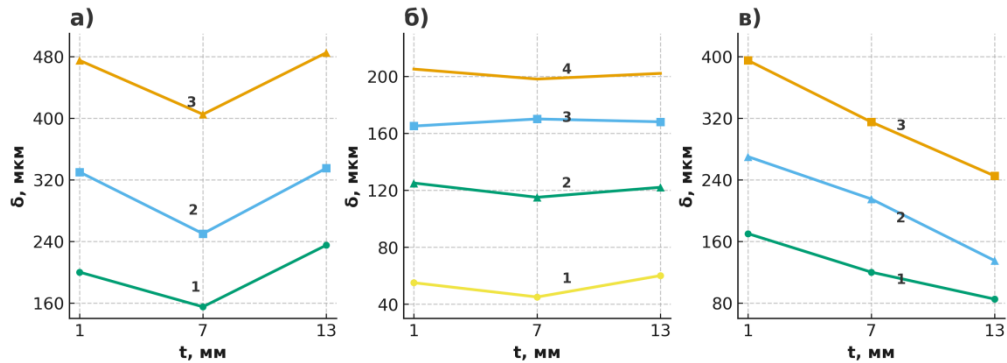


Рисунок 4.9. Розподіл зносу б по довжині l шліців, які працювали при перекосі осей (а), радіальному зміщенні осей (б) та одночасному перекосі радіальному зміщенні (в).

Залежності 1-4 отримані при різних значеннях величин неспівосності і тривалості роботи. У внутрішніх шліців характер розподілу зносу за довжиною такий же, як і у зовнішніх, а по висоті він збільшується від вершини до ніжки.

Дуже складним є поширення зношування по поверхні тертя циліндрових втулок двигунів внутрішнього згорання. Численними дослідженнями встановлено, що зона найбільшого зносу у них знаходиться проти газотітнучальних кілець при положенні поршня у верхній мертвій точці. Це пов'язано з найбільшим тиском у цій зоні поршневого кільця на стінку циліндрової втулки, незадовільним змащенням тертьових поверхонь, підвищеною температурою.

У застосуванні до автомобільних двигунів повітряного охолодження таке уявлення, будучи в принципі правильним, цілком точно характеризує розподіл зносу по поверхні гільзи циліндра. Виявилося, що для цих двигунів розподіл зносу по поверхні гільзи в значній мірі залежить від індивідуальних особливостей поєднання деталей в парі, макро- і мікрогеометричних

характеристик їх поверхонь, початкової епюри поршневих кілець, регулювання запалення, складу робочої суміші і т.д. Значні відхилення в розподілі зносу по висоті і по діаметру гільзи зумовлені забрудненістю масла і запиленістю повітря, що надходить у двигун.

На рисунку 4.10 показано розподіл зносу гільзи циліндра типового двигуна по чотирьох утворюючих, що проходять в площині клапанів та запальних свічок. Видно, що гільза має

дві зони підвищеного зносу, які відповідають положенню поршневих кілець при знаходженні поршня в крайніх верхньому та нижньому положеннях. Максимальне зношування спостерігається не точно під верхнім кільцем при положенні його у верхній мертвій точці, а трохи нижче по ходу поршня. Зміщення максимуму зношування вниз пов'язане з наявністю так званого періоду «прихованого горіння» робочої суміші.

Максимальний тиск газів на поршень і на тильний бік поршневих кілець а отже, і поршневих кілець на стінку гільзи має місце не при крайньому верхньому положенні поршня, а після повороту колінчастого валу на $4-6^\circ$ в такті робочого ходу.

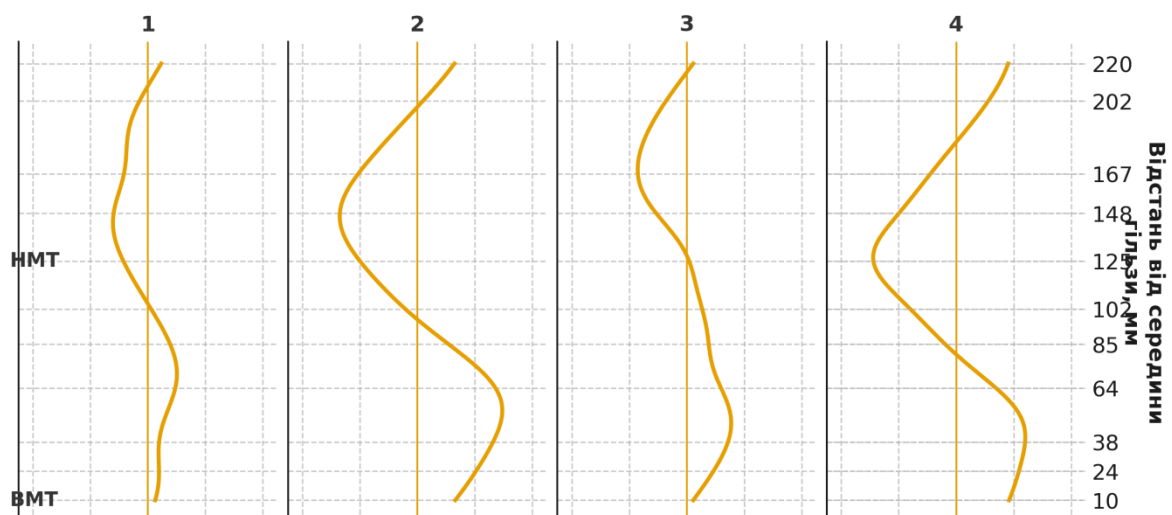


Рисунок 4.10. Розподіл зносу по чотирьох утворюючих гільзи циліндра двигуна

На рисунку 4.11 показано розподіл зносу по колу гільзи циліндра в п'яти поясах (I-V), що знаходяться на різних відстанях від її верхнього торця. Як видно, максимум зносу не розташовується по одній утворюючій гільзи.

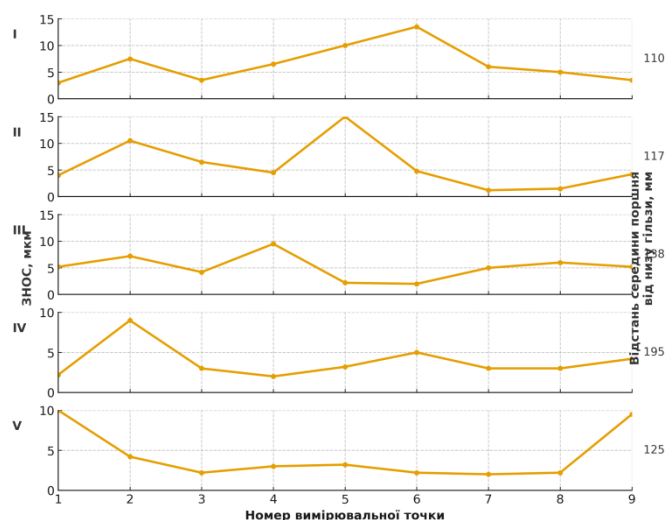


Рисунок 4.11. Розподіл зносу по колу гільзи циліндра в п'яти поясах, що знаходяться на різній відстані від її верхнього торця

Якщо у верхніх перерізах найбільший знос спостерігається по утворюючій, що проходить ближче до клапана випуску (точка 5), то по мірі віддалення вниз по ходу поршня максимальне значення зносу все більше зміщується від цієї утворюючої і на відстані 100-125 мм від верхнього торця гільзи максимальне зношування спостерігається вже на утворюючій, яка проходить через клапан впуску (точка 1). Така топографія зносу пов'язана з нерівномірним розподілом температурних полів по поверхні гільзи і головки циліндра і виникаючими у зв'язку з цим деформаціями гільзи при роботі двигуна.

Слід зазначити, що встановити подібну картину розподілу зношування, а також виявити точну величину його в тій чи іншій точці гільзи звичайними методами діаметрального мікрометрування не надається можливим. Це пов'язано про те, що шляхом мікрометрування фіксують не знос, а зміну діаметра гільзи внаслідок її зношування і деформації. До того ж це вимірювання сумарне, за двома протилежними утворюючими гільзи. Точну

топографію зношування гільзи циліндра вдалося встановити при використанні для визначення величини зношування методу штучних баз - вирізаних лунок. Суть його полягає в тому, що на випробуваній поверхні за допомогою алмазного різця, що обертається, вирізається поглиблення - гострокутова лунка (рис. 4.12). Знаючи радіус обертання різця та довжину лунки, неважко обчислити її глибину. Повторно вимірявши довжину лунки після роботи циліндра на двигуні і обчисливши глибину, що залишилася, можна визначити знос поверхні в даній точці.

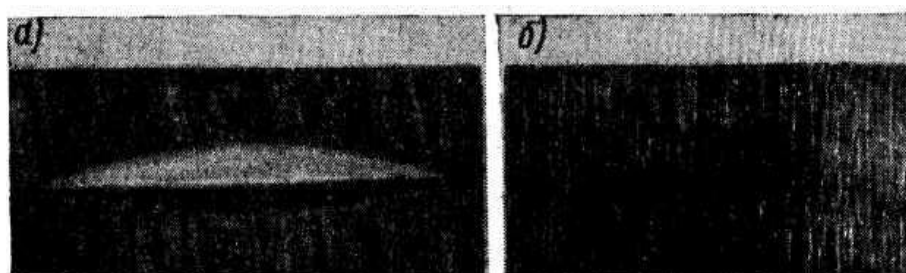


Рисунок 4.12 - Лунка, вирізана на поверхні гільзи циліндра у вихідному стані (а) та після роботи його на двигуні (б); x50

Наведені приклади свідчать про те, що деталі, що труться, зношуються, як правило, нерівномірно в різних точках контактної поверхні. Знання характеру розподіленого зносу по поверхні є важливим при вирішенні технологічних питань ремонту і, зокрема, призначенні раціональної схеми вимірювання деталей при їх дефектації. Схема вимірювання має бути такою, щоб вона дозволяла виявити зони максимального зносу. Максимальними значеннями зносу деталі за міжремонтний ресурс керуються при виборі методу її ремонту і відновлення, визначенні товщини шару металу, який знімається при виведенні макрогеометричних відхилень поверхні і т. д. Вивчення топографії зносу також необхідний, і для оцінки можливого ресурсу деталі, так як останній визначається саме виходячи з максимального значення зносу, а не з його середнього значення, яке визначається по результатах декількох вимірів.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Аналіз та характеристика потенційних небезпек і шкідливих умов в проектуваному цеху

Таблиця 5.1 - Рівень шуму на ділянці

Найменування	Кількість чоловік	Допустимий рівень шуму, дБ	Фактичний рівень шуму, дБ
ОЦ	8	80	75
Координатний	15	80	70
Дільниця ЧПК	7	80	63
Горизонтально-розточна	7	80	77

Рівень шуму по ділянці не перевищує допустимої межі 80 дБ відповідно ДСТУ 12.1.005-76

1. В повітряному середовищі робочої зони ділянки допустима концентрація шкідливих речовин не перевищує 6 мг/м³ відповідно ДСТУ 12.1.005-76
2. Температура і вологість по ділянці

Таблиця 5.2 – Температура та вологість на дільниці

Найменування	К-сть чоловік	Допустима температура °С	Фактична температура °С	Допустима вологість % t 20°C	Фактична вологість % t 20°C
ОЦ	3	25	22	60 80%	64 %
Координатний	15	25	24	60 80%	76 %
Ділянка ЧПК	7	25	25	60 80%	66 %
Горизонтально-розточна	7	25	22	60 80%	54 %

Вологість і температура на ділянці не перевищує допустимого значення відповідно ДСТУ 12.1.005-76

3. Освітлення

Таблиця 5.3 – освітленість на ділянці

Найменування	Кількість чоловік	Норма освітлення, лк	Фактичне освітлення, лк
ОЦ	8	300	300
Координатний	15	350	350
Ділянка ЧПК	7	200	200
Горизонтально-розточна	7	300	350

Освітленість на ділянці відповідає нормі відповідно ДСТУ 11А9-71

Оскільки все обладнання знаходиться під напругою, то існує небезпека ураження людини електричним струмом. Для запобігання ураження електричним струмом і задовольняючи вимоги ДСТУ 12.1.0308 для кожного станка виконане занулення.

Так як проектуєма ділянка живиться від 3^x фазної 4^x провідної мережі напругою 1000 В, то використовуємо захисне занулення. Суть занулення є в тому, що у випадку замикання якої небудь фази на корпус при наявності захисного занулення виникає однофазне коротке замикання, яке викликає спрацювання максимального захисту і відключення пошкодженої ділянки мережі.

При замиканні фази на занулений корпус установка автоматично відключається якщо значення струму однофазного короткого замикання (тобто між фазним і нульовим захисним проводом) I_k задовольняє умова:

$$I_n \geq k \cdot I_{ном.} = 3 \cdot 60 = 180 \text{ А.}$$

де k – коефіцієнт кратності номінального струму.

$I_{ном} = 60 \text{ А}$ – номінальний струм плавлення вставки запобіжника струму автоматичного вимикача.

Лінія 380/220 В з мідним провідником $3 \times 150 \text{ мм}^2$ живиться від трансформатора 630 кВ·А, який знаходиться на відстані 300 м від електророзподільчого щита, який знаходиться в цеху. Від електрощита по стіні в цеху прокладений нульовий захисний провідник, в якості якого використовується сталевіа полоса з перерізом $40 \times 4 \text{ мм}$.

Щоб впевнитись в ефективності спрацювання занулення, ми визначаємо дійсне значення струму однофазного короткого замикання що проходить по петлі фаза-нуль при замиканні фази на корпус двигуна. Якщо це значення струму $I_{нд}$ перевищує найменше допустиме по умові спрацювання захисту струм $I_k = 180 \text{ А}$ значить відключаюча можливість системи забезпечена.

Для цього визначаю повний опір трансформатора

$$Z_m = 0,042 \text{ Ом}$$

Опір фазного провідника складається з суми опорів фазних провідників на двох ділянках.

$$R_\phi = R_{\phi 1} + R_{\phi 2}$$

На першій ділянці від трансформатора до щита

$$R_{\phi 1} = \rho \frac{l_1}{S_1} = 0,018 \cdot (300 : 150) = 0,036 \text{ Ом};$$

де ρ – удільний опір провідника, що дорівнює для міді $0,018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

l_1 – довжина ділянки;

S_1 – переріз провідника.

На другому відрізку: від електрощита до занулюваного електродвигуна, де приймаються проводи 3×25 мм і довжина відрізка 36 м.

$$R_{\phi 2} = 0,018 \cdot (36 : 25) = 0,036 \text{ Ом}$$

Повний активний опір фазного провідника

$$R_{\phi} = 0,036 + 0,036 = 0,072 \text{ Ом}$$

Внутрішній індуктивний опір фазного провідника $x_{\phi} = 0$, так як провідник воно порівняно мале, тому ним можна знехтувати.

Активний опір нульового провідника

$$R_{н.з.} = R_{н.з.1} + R_{н.з.2} = 0,81 + 0,045 = 0,855 \text{ Ом.}$$

На першій ділянці від трансформатора до електрощита

$$R_{н.з.} = rW_1 \cdot l_1 = 2,7 \cdot 0,3 \cdot 0,81 \text{ Ом,}$$

де rW_1 – опір 1 км провідника.

$$rW_1 = 2,7 \text{ Ом 1 км.}$$

В якості заземлюючого провідника використовується сталева труба, в якій прокладені фазні проводи.

Очікувана сила густина струму в нульовому провіднику

$$I = I_k : S_1 = 180 : 150 = 1,2 \text{ А/мм}^2$$

На другій ділянці від електрощита до зануляемого електродвигуна

$$R_{н.з.2} = rW_2 \cdot l_2 = 2,24 \cdot 0,05 = 0,045 \text{ Ом}$$

Очікувана густина струму

$$I = I_k : S_2 = 180 : 25 = 1,12 \text{ А/мм}^2$$

Тоді з довідника знаходжу опір нульового захисного провідника

$$x_{н.з.} = x_{н.з.1} + x_{н.з.2} = 0,48 + 0,06 = 0,54 \text{ Ом}$$

на першій ділянці:

$$x_{н.з.1} = xW_1 \cdot l_1 = 1,6 \cdot 0,3 = 0,48 \text{ Ом}$$

де $xW_1 = 1,92 \text{ Ом/км}$

на другій ділянці:

$$x_{н.з.2} = xW_2 \cdot l_2 = 1,34 \cdot 0,05 = 0,06 \text{ Ом}$$

Зовнішній індуктивний опір 1 км. петлі фаза-нуль приймаємо

$$x_n = 0,038 \text{ Ом/км,}$$

тоді

$$x_n = 0,038 + 0,35 = 0,073 \text{ Ом}$$

Визначаємо дійсне значення струму однофазного замикання, що проходить по петлі фаза-нуль:

$$I_{к.д.} = \frac{U_\phi}{\frac{Z_m}{3} + \sqrt{(R_\phi + R_{н.з.})^2 + (x_\phi + x_{н.з.} + x_n)^2}} = \frac{220}{\frac{0,042}{3} + \sqrt{(0,072 + 0,85)^2 + (0,54 + 0,073)^2}} = 201,84 \text{ А}$$

Оскільки дійсне значення струму однофазного K_3 $I_{к.д.} = 202 \text{ А}$ перевищує найменше допустиме значення по умові захисту струм $I_n = 180 \text{ А}$, тому

нульовий зхисний провідник вибраний правильно, тобто відключаюча можливість системи занулення забезпечена.

. Це виробництво, в яких опрацьовуються незаймисті речовини і матеріали в холодному стані. Для пожежної профілактики і передбачаються наступні заходи:

- дотримання протипожежних правил при експлуатації освітлення, вентиляції, опотлення, електроприладів і технологічного обладнання;
- заборона паління в недозволених місцях;
- своєчасні профілактичні огляди, ремонти і випробування технологічного обладнання;
- правильну експлуатацію внутрішньо-заводського транспорту;
- своєчасний протипожежний інструктаж робочих і службовців;
- оснащення передовими засобами пожежогасіння;

Для приміщення категорії Д на 600-800 м² площі передбачаю 1 вогнегасник ОУ-8; ручний ОУ-2 і ОХП-10.

- відпрацьовані ганчірки зберігати в спеціальній тарі, що закривається;
- оснащення пожежного водоканалу.

По ступеню вогнебезпеки споруди механічного цеху II категорії, для якого:

- найбільш допустимі відстані від дверей приміщення до виходу назовні – 50 м;
- виходом в тупіковий коридор – 25м;
- найменша габаритна ширина:

прохід – 1м;

коридор – 1,4м;

двері – 0,8м;

марш – 1,2м і більше.

5.2 Характеристика стихійних лих, аварій, катастроф та їх наслідки

У наш цивілізований, технічно розвинений час людство залишається залежним від природних явищ, які досить часто мають катастрофічний характер. Виверження вулканів, землетруси, посухи, селеві потоки, снігові лавини, повені спричиняють загибель багатьох тисяч людей, завдають величезних матеріальних збитків.

Найбільші збитки з усіх стихійних лих спричиняють повені (40%), на другому місці – тропічні циклони (20%), на третьому і четвертому місцях (по 15%) – землетруси та посухи.

Стихійні лиха – це природні явища, які мають надзвичайний характер та призводять до порушення нормальної діяльності населення, загибелі людей, руйнування і нищення матеріальних цінностей.

За причиною виникнення стихійні лиха поділяють на:

а) тектонічні (пов'язані з процесами, які відбуваються в надрах землі), до них належать землетруси, виверження вулканів;

б) топологічні (пов'язані з процесами, які відбуваються на поверхні землі), до них належать повені, зсуви, селі;

в) метеорологічні (пов'язані з процесами, які відбуваються в атмосфері), до них належать спека, урагани, посуха та ін.

Тектонічні стихійні лиха

Виверження вулканів. За руйнівною дією та кількістю енергії, яка виділяється при виверженні вулкана, саме це стихійне лихо належить до найнебезпечніших для життєдіяльності людства. Під попелом та лавою гинули цілі міста.

Землетруси. Щорічно вчені фіксують близько 1 млн. сейсмічних і мікросейсмічних коливань, 100 тис. з яких відчуються людьми та 1000 спричиняють значні збитки.

Землетрус – це сильні коливання земної кори, викликані тектонічними причинами, які призводять до руйнування споруд, пожеж та людських жертв.

Гіпоцентр, або осередок землетрусу, - місце, де зсуваються гірські

породи.

Епіцентр – точка на поверхні землі, що знаходиться прямо над гіпоцентром.

Основними характеристиками землетрусів є: глибина осередку, магнітуда, інтенсивність енергії на поверхні землі.

Таблиця 5.4 – Ознаки землетрусу

Ознаки близького землетрусу	- запах газу, де раніше цього не відзначалось
	- тривога птахів та домашніх тварин
	- іскри між близько розташованими електричними дротами
	- голубе освітлення внутрішньої поверхні будинків

Першість за кількістю землетрусів утримують Японія та Чілі: понад 1000 в рік, або 3 на день.

Топологічні стихійні лиха

Повені. За даними ЮНЕСКО, від повеней у XX ст. загинуло 9 млн. осіб. Недарма в народі кажуть, що найстрашніші для людини це вода і вогонь.

Повінь – це значне затоплення місцевості внаслідок підйому рівня води в річці, озері, водосховищі, спричинене зливами, весняним таненням снігу, вітровим нагоном води, руйнуванням дамб, гребель тощо. Повені завдають великої матеріальної шкоди та призводять до людських жертв.

Наслідки повеней

- затоплення шаром води значної площі землі;
- ушкодження та руйнування будівель та споруд;
- ушкодження автомобільних шляхів та залізниць;
- руйнування обладнання та комунікацій, меліоративних систем;
- загибель свійських тварин та знищення врожаю сільськогосподарських культур;
- вимивання родючого шару ґрунту;
- псування та нищення сировини, паливо, продуктів харчування, добрив

тощо;

- загроза інфекційних захворювань (епідемії);
- погіршення якості питної води;
- загибель людей.

Повені відрізняються від інших стихійних лих тим, що деякою мірою прогножуються. Але прогнозувати ймовірність повені набагато легше, ніж передбачити момент її початку. Точність прогнозу зростає при отриманні надійної інформації про кількість та інтенсивність опадів, рівні води в річці, запаси води в сніговому покриві, зміни температури повітря. довгострокові прогнози погоди тощо.

Основний напрям боротьби з повенями в зменшенні максимальних витрат води в річці завдяки перерозподілу стоку в часі (насадження лісозахисних смуг, оранка ґрунту поперек схилу, збереження узбережних смуг рослинності, терасування схилів тощо). Для середніх та великих річок досить дієвим засобом є регулювання паводкового стоку за допомогою водосховищ. Окрім того, для захисту від повеней широко застосовується давно відомий спосіб – влаштування дамб. Для ліквідації небезпеки утворення затворів проводиться розчищення та заглиблення окремих ділянок русла ріки, а також руйнування криги вибухами за 10-15 днів до початку льодоходу.

Ще один досить важливий шлях регулювання стоку й запобігання повеней – ландшафтно-меліоративні заходи.

Зсуви. Зсуви можуть виникнути на всіх схилах з нахилом в 20° і більше в будь-яку пору року. За швидкістю зміщення порід зсуви поділяють на:

- повільні (швидкість становить декілька десятків сантиметрів на рік);
- середні (швидкість становить декілька метрів за годину або добу);
- швидкі (швидкість становить десятки кілометрів за годину).

Зсуви – це ковзкі зміщення мас гірських порід вниз по схилу, які виникають через порушення рівноваги. Зсуви виникають через ослаблення міцності гірських порід внаслідок вивітрювання, вимивання опадами та підземними водами, систематичних поштовхів, нерозважливої господарської

діяльності людини тощо.

Снігові лавини. Снігові лавини також належать до зсувів і виникають так само, як і інші зсувні зміщення. Сили зчеплення снігу переходять певну межу, і гравітація викликає зміщення снігових мас уздовж схилу.

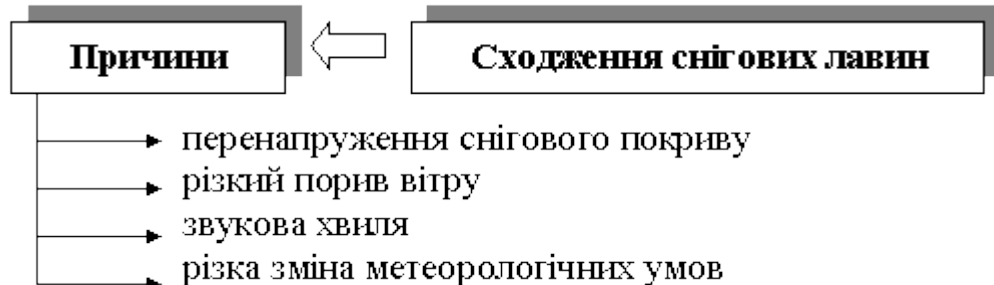


Рисунок 5.1 – Причини снігових лавин

Існує пасивний та активний захист від лавин. При пасивному захисті уникають використання лавинонебезпечних схилів або ставлять на них загороджувальні щити. При активному захисті проводять обстріл лавинонебезпечних схилів, що викликає сходження невеликих, безпечних лавин, запобігаючи таким чином накопиченню критичних мас снігу.

Селі. Виникають селі в басейнах невеликих гірських річок внаслідок злив, інтенсивного танення снігів, проривів завальних озер, обвалів, зсувів, землетрусів.

Селі – це паводки з великою концентрацією ґрунту, мінеральних частин, каміння, уламків гірських порід (від 10-15 до 75% об’єму потоку).

За складом твердого матеріалу, який переносить селевий потік, їх можна поділити на:

- грязьові (суміш води з ґрунтом при незначній концентрації каміння, об’ємна вага складає 1,5-2 т/куб.м);
- грязекам’яні (суміш води, гравію, невеликого каміння, об’ємна вага – 2,1-2,5 т/куб.м);
- водокам’яні (суміш води з переважно великим камінням, об’ємна вага – 1,1-1,5 т/куб.м).

Метеорологічні стихійні лиха

Вітри – це так звані “прилади-змішувачі”, вони забезпечують обмін між забрудненим повітрям міст та чистим, насиченим киснем полів і лісів, теплим екваторіальним та холодним повітрям полярних областей, розганяють хмари і приносять дощ на поля, на яких без них нічого б не росло.

Вітер силою в 9 балів, коли швидкість становить від 20 до 24 м/с, руйнує старі будівлі, зриває дахи з будівель. Цей вітер називається шторм.

Якщо швидкість вітру досягає 32 м/с, то це – ураган. Ураганами називають також тропічні циклони, які виникають в Тихому океані поблизу узбережжя Центральної Америки.

Досить небезпечне явище – смерчі, вони трапляються частіше, ніж урагани й тайфуни. Смерчі утворюються тоді, коли стикаються дві великі повітряні маси різної температури і вологості, до того ж в нижніх шарах повітря тепле, а в верхніх – холодне. Тепле повітря, зазвичай, піднімається вгору й охолоджується, а водяна пара, яка міститься в ньому, випадає дощем. Але коли збоку починає дути вітер, котрий відхиляє в бік потік теплого повітря, який піднімається вгору, то виникає вихор, швидкість якого досягає 450 км/год.

Пожежі. Причинами виникнення пожеж є недбала поведінка людини з вогнем, порушення правил пожежної безпеки, природні явища (блискавка, посуха). Відомо, що 90% пожеж виникає з вини людини і тільки 7-8% спричинені блискавками.

Пожежі – це неконтрольований процес горіння, який викликає загибель людей та нищення матеріальних цінностей.

Лісові пожежі поділяють на низові, верхові, підземні. За інтенсивністю горіння лісові пожежі поділяються на слабкі, середні, сильні.

Основними заходами боротьби з лісовими низовими пожежами є:

- засипання вогню землею;
- заливання водою (хімікатами);
- створення мінералізованих протипожежних смуг;
- пуск зустрічного вогню.

5.3 Закон про захист населення та території від надзвичайних ситуацій

Громадяни України мають право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, значних пожеж, стихійного лиха. Уряд України, та інші органи виконавчої влади, адміністрації підприємств, установ і організацій, незалежно від форм власності і господарювання, повинні забезпечувати реалізацію цього права. Держава, як гарант цього права, створює систему цивільної оборони. Мета її – захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф, від стихійного лиха, сильнодіючих отруйних речовин, зброї. Заходи цивільної оборони поширюються на всю територію України, на всі верстви населення. Розподіл цих заходів за обсягом і відповідальністю за їх виконанням здійснюється за територіально – виробничим принципом.

Основні завдання, обов'язки та принципи цивільної оборони визначені в Положенні про цивільну оборону України № 299 (затверджено 10 травня 1994 р.)

Це Положення визначає завдання Цивільної оборони України, порядок її організації та функціонування.

1. Завданнями Цивільної оборони та заходами щодо їх реалізації є:

1.1. Запобігання виникненню надзвичайних ситуацій техногенного походження і забезпечення зменшення збитків і витрат у разі стихійного лиха, аварій, катастроф, вибухів і великих пожеж.

1.2. Оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, постійне інформування його про стан наявної обстановки.

1.3. Захист населення від наслідків стихійного лиха, аварій, катастроф, вибухів, великих пожеж і застосування засобів ураження.

1.4. Організація і проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у районах лиха і осередках ураження.

1.5. Створення системи аналізу, прогнозування, управління, оповіщення і

зв'язку, спостереження і контролю за радіоактивним, хімічним і бактеріологічним зараженням, підтриманням їхньої готовності до сталого функціонування у надзвичайних ситуаціях мирного і воєнного часу.

1.6. Організація життєзабезпечення населення під час аварій, катастроф, стихійного лиха і у воєнний час.

1.7. Підготовка і перепідготовка осіб керівного складу цивільної оборони, її органів управління та сил, навчання населення вміння застосувати засоби індивідуального захисту і діяти у надзвичайних ситуаціях.

1.8. Контроль за виконанням завдань цивільної оборони, покладається на штаби цивільної оборони, які в цьому напрямі діяльності співпрацюють з центральними та місцевими органами державної виконавчої влади, органами місцевого та регіонального самоврядування, громадськими організаціями.

2. Система цивільної оборони та організація її діяльності

2.1. Цивільна оборона організовується за територіально-виробничим принципом на всій території держави.

2.2. Загальне керівництво цивільною обороною відповідно до принципу її побудови здійснюють Кабінет Міністрів України, Уряд Криму, центральні та місцеві органи державної виконавчої влади, адміністрація підприємств, установ і організацій незалежно від форми власності та господарювання. У містах, районах у містах (крім Києва та Севастополя), селищах і селах керівництво здійснюють виконкоми відповідних Рад народних депутатів.

2.3. Завдання, функції та повноваження штабів визначаються положеннями про Штаб Цивільної оборони України і про територіальні штаби цивільної оборони. Функціональні обов'язки спеціальних підрозділів міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади, штатних працівників цивільної оборони підприємств, установ і організацій визначаються відповідними начальниками цивільної оборони.

2.4. Для проведення заходів цивільної оборони органи управління цивільної оборони, підприємства, установи і організації на підставі рекомендацій Штабу Цивільної оборони України розробляють плани: розвитку

й удосконалення цивільної оборони; цивільної оборони (дій органів управління та сил у разі надзвичайної ситуації). Всі плани (за винятком тих, що стосуються мобілізаційних заходів) розробляються як документи відкритого користування.

2.5. Для надійного і сталого управління процесами захисту населення у надзвичайних ситуаціях і виконання інших функцій, передбачених планами на воєнний час, використовується державна система пунктів управління.

2.6. Для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у разі надзвичайних ситуацій застосовуються сили цивільної оборони: війська, спеціалізовані і невоєнізовані формування. Порядок повсякденного функціонування військ цивільної оборони та дії їх у надзвичайних ситуаціях визначаються Статутом військ Цивільної оборони України.

2.7. Спеціалізовані формування цивільної оборони - це складова частина сил цивільної оборони, що призначена для виконання специфічних робіт, пов'язаних з радіаційною та хімічною небезпекою, значними руйнуваннями, аварійними ситуаціями на нафтогазодобувних промислах.

2.8. Невоєнізовані формування цивільної оборони - це складова частина сил цивільної оборони, які утворюються на воєнний час в областях, містах, районах, а також на підприємствах, що продовжуватимуть свою виробничу діяльність під час війни. До невоєнізованих формувань належать загони, команди, групи, ланки, які призначені для проведення рятувальних та інших невідкладних робіт у разі надзвичайних ситуацій.

3. Повноваження та обов'язки посадових осіб, органів державної виконавчої влади, адміністрації підприємств, установ та організацій з питань цивільної оборони

4. Підготовка кадрів

а) підготовка кадрів для Цивільної оборони України здійснюється у навчальних закладах і на відповідних курсах;

б) Для підготовки і перепідготовки керівного складу Цивільної оборони України, подання допомоги природоохоронним та іншим органам, причетним до забезпечення промислової та екологічної безпеки, створюються: Центральні

державні курси Цивільної оборони промислової та екологічної безпеки України; територіальні курси цивільної оборони.

5. Матеріальне та фінансове забезпечення цивільної оборони

а) матеріальне забезпечення цивільної оборони - це комплекс організаційних, інженерно-технічних, правових та інших заходів, спрямованих на безперервне постачання органів управління і сил цивільної оборони, а також населення, що потерпіло внаслідок надзвичайних ситуацій. Потреба цивільної оборони у матеріальних ресурсах, техніці і спеціальних видах майна задовольняється Держкомресурсів та Мінекономіки цільовим призначенням на замовлення Штабу Цивільної оборони України і розподіляється ним відповідно до замовлення штабів Республіки Крим, областей, міст Києва і Севастополя, військових з'єднань і частин цивільної оборони. Реалізація матеріальних ресурсів, спеціальних видів майна цивільної оборони за номенклатурою, встановленою Держкомресурсів і Штабом Цивільної оборони України, здійснюється Держкомресурсів, іншими центральними та місцевими органами державної виконавчої влади, які мають власну систему матеріального постачання. Задоволення потреби цивільної оборони в інших видах матеріальних ресурсів і майна забезпечується постачальницькими органами Уряду Криму, обласних, Київської та Севастопольської державних адміністрацій, міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади, підприємствами, установами і організаціями;

б) відповідно до чинного законодавства військам цивільної оборони для розташування їхніх житлових і військових містечок, спорудження адміністративних і господарських будівель, навчальних закладів та об'єктів в установленому порядку виділяються і надаються в користування земельні ділянки;

в) фінансове забезпечення цивільної оборони проводиться за рахунок державного та місцевих бюджетів, а також коштів підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності та господарювання.

6. Технічне забезпечення цивільної оборони

Організація технічного забезпечення цивільної оборони покладається на спеціалізовані підприємства та організації, що входять до сфери управління Мінсільгоспроду.

7. Транспортне забезпечення цивільної оборони

Організація транспортного забезпечення цивільної оборони покладається на органи управління залізничного, автомобільного, водного та авіаційного транспорту Мінтрансу.

Для ліквідації наслідків аварій та надзвичайних ситуацій на об'єктах народного господарства відповідно до закону України „Про аварійно-рятувальні служби” створюються аварійно рятувальні служби.

Цей Закон визначає організаційні, правові та економічні засади створення і діяльності аварійно-рятувальних служб, обов'язки, права, гарантії соціального захисту та відповідальність рятувальників, а також питання міжнародного співробітництва у сфері ліквідації надзвичайних ситуацій.

Стаття 1. Визначення термінів.

- аварійно-рятувальна служба - сукупність організаційно об'єднаних органів управління, сил та засобів, призначених для вирішення завдань щодо запобігання та ліквідації НС техногенного і природного характеру та окремих їх наслідків, проведення пошукових, аварійно-рятувальних та інших невідкладних робіт;

- професійна аварійно-рятувальна служба - аварійно-рятувальна служба, особовий склад якої працює на постійній, а рятувальники цього складу - також на професійній основі, яка передбачає спеціальну фізичну та психологічну підготовку особового складу;

- спеціальна (воєнізована) аварійно-рятувальна служба - професійна аварійно-рятувальна служба, заснована на принципах єдиноначальності, централізації управління, статутної дисципліни, особистої відповідальності;

- спеціалізована аварійно-рятувальна служба - професійна аварійно-рятувальна служба, що має підготовлений і споряджений особовий склад для ліквідації окремих класів і підкласів НС (гасіння газових фонтанів, подання

медичної допомоги потерпілим, водолазні роботи тощо) та відповідні аварійно-рятувальні засоби;

- аварійно-рятувальні служби громадських організацій - аварійно-рятувальні служби, створені об'єднаннями та спілками об'єднань громадян.

Стаття 3. Завдання та функції аварійно-рятувальних служб.

Основними завданнями аварійно-рятувальних служб є:

- проведення під час виникнення НС на об'єктах і територіях аварійно-рятувальних робіт;

- ліквідація НС та окремих їх наслідків;

- виконання робіт із запобігання виникненню та мінімізації наслідків НС техногенного і природного характеру та щодо захисту від них населення і територій;

- захист навколишнього природного середовища та локалізація зони впливу шкідливих і небезпечних факторів, що виникають під час аварій та катастроф.

Стаття 5. Сфера діяльності аварійно-рятувальних служб, створених на професійній основі.

Аварійно-рятувальні служби обслуговують окремі території а також підприємства, установи та організації незалежно від форми власності, на яких існує небезпека виникнення НС природного та техногенного характеру.

Стаття 8. Види аварійно-рятувальних служб, їх статус.

Аварійно-рятувальні служби поділяються на державні, комунальні, аварійно-рятувальні служби громадських організацій та аварійно-рятувальні служби підприємств, установ, організацій (об'єктові аварійно-рятувальні служби).

Стаття 9. Створення аварійно-рятувальних служб.

Створення, реорганізація, ліквідація, а також перепрофілювання державних, комунальних та аварійно-рятувальних служб громадських організацій здійснюються за погодженням з центральним органом виконавчої

влади з питань НС та у справах захисту населення від наслідків Чорнобильської катастрофи.

Стаття 12. Комплектування та підготовка особового складу аварійно-рятувальних служб.

Особовий склад професійних аварійно-рятувальних служб комплектується на контрактній основі і поділяється на основний та допоміжний.

Постанова Кабінету міністрів України “Про затвердження Положення про організацію оповіщення і зв’язку у надзвичайних ситуаціях.

Одним із міроприємств цивільної оборони є оповіщення населення про загрозу і виникнення надзвичайних ситуацій у мирний та воєнний час, постійне інформування його про стан наявної обстановки.

З метою виконання завдання у всіх ланках міських і позаміських пунктів на основі автоматизованих систем централізованого оповіщення, мережі зв'язку та радіомовлення, а також спеціальних заходів створюється система оповіщення та інформаційного забезпечення. Вона являє собою комплекс організаційно-технічних засобів для передачі відповідних сигналів і розпоряджень органам державної виконавчої влади, адміністрації підприємств, установ і організацій, силам цивільної оборони і населенню. Автоматизована система оповіщення та інформаційного забезпечення створюється на базі загальнодержавної мережі зв'язку та радіомовлення і поділяється на державну і регіональну. Система має забезпечити циркуляційне оповіщення посадових осіб із застосуванням для цього міської телефонної мережі, засобів радіомовлення і телебачення.

Система оповіщення та інформаційного забезпечення використовується централізовано.

Оповіщення підпорядкованих штабів, сил цивільної оборони і населення організовує вищестоячий штаб.

Для надійного і сталого управління процесами захисту населення у

надзвичайних ситуаціях і виконання інших функцій, передбачених планами на воєнний час, використовується державна система пунктів управління: на державному рівні - пункт, який має бути захищений, обладнаний засобами зв'язку і життєзабезпечення, з цілодобовим чергуванням, розташований безпосередньо в місці дислокації Адміністрації Президента та Кабінету Міністрів України, що утримується за рахунок державного бюджету. Режим роботи, а також чисельність особового складу, який має працювати на зазначеному пункті управління, а також на запасному пункті управління в позаміській зоні, визначаються у порядку, що встановлюється Кабінетом Міністрів України; на рівні міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади - запасні пункти управління в позаміській зоні, які утримуються за рахунок коштів, що виділяються на утримання міністерств та інших центральних органів державної виконавчої влади; на обласному рівні та в Республіці Крим - по два запасних пункти: один - в місті, де розташовано орган, що здійснює керівництво цивільною обороною на даному рівні, і один у позаміській зоні. Ці пункти повинні мати захисні споруди, бути обладнаними засобами зв'язку і оповіщення, системами життєзабезпечення. Утримуються вони на балансі відповідного органу державної виконавчої влади. На інших адміністративних рівнях пункти управління створюються за місцем дислокації органу, що здійснює керівництво цивільною обороною на даному рівні, в одному з сховищ об'єкта народного господарства.

Мінзв'язку забезпечує органи управління цивільної оборони зв'язком з організацією централізованого використання загальнодержавних і відомчих засобів зв'язку (за погодженням з відповідними міністерствами та іншими центральними органами державного і галузевого управління); розробляє та здійснює заходи для забезпечення надійного захисту і сталої роботи державних і галузевих мереж і підприємств зв'язку, технічних засобів зв'язку та оповіщення; забезпечує розвиток та удосконалення мережі зв'язку у позаміській зоні (з урахуванням структури управління цивільної оборони, а також галузевих автоматизованих систем управління); здійснює разом із

Укртелерадіокомпанією і Штабом Цивільної оборони України, а також із заінтересованими міністерствами та іншими центральними органами державної виконавчої влади організаційно-методичне керівництво створенням і підтримкою готовності територіальних і локальних мереж оповіщення про загрозу та виникнення надзвичайних ситуацій; забезпечує на договірних умовах експлуатаційно-технічне обслуговування стаціонарних засобів зв'язку та оповіщення на підприємствах зв'язку і в штабах цивільної оборони. Вказівки Мінзв'язку щодо забезпечення сталої роботи засобів зв'язку в інтересах цивільної оборони обов'язкові для усіх міністерств, інших центральних органів державної виконавчої влади, підприємств, установ і організацій.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано комплексне дослідження умов роботи, характеру зношування та технологічних аспектів відновлення гільз циліндрів автомобільного двигуна. На основі проведеного аналізу встановлено, що найбільш інтенсивне спрацювання поверхні гільзи зумовлене поєднанням високих температур, тиску робочих газів, абразивних частинок і локального руйнування мастильної плівки у зоні верхньої мертвої точки. Доведено, що саме верхня частина гільзи працює в умовах граничного тертя, що формує характерну картину зношування та потребує технологічного відновлення.

Проведено багатоступеневий порівняльний аналіз сучасних методів відновлення поверхонь тертя, за результатами якого встановлено, що електролітичне хромування є найбільш ефективним способом підвищення зносостійкості гільз. Воно забезпечує формування високотвердого, рівномірного та адгезійно стійкого шару, який значно покращує трибологічні характеристики та збільшує ресурс деталі. Розроблений у роботі технологічний процес включає операції підготовки поверхні, нанесення покриття, фінішної механічної обробки та контролю якості, що відповідають виробничим вимогам та забезпечують відновлення геометрії гільзи до нормативних параметрів.

Для забезпечення точності та ефективності ремонтних операцій спроектовано спеціальні пристрої, у тому числі пристосування для випресовування гільз із блока циліндрів. Виконані розрахунки гвинтового механізму та конструкційні параметри допоміжних пристроїв гарантують надійність, зручність експлуатації та безпечність проведення відновлювальних робіт.

У науково-дослідній частині проведено експериментальні випробування з визначення параметрів моделі зношування для відновлених поверхонь. Отримані залежності та числові характеристики підтверджують, що хромовані поверхні мають значно меншу інтенсивність зношування порівняно зі спеціальними чавунами. Запропонована методика визначення параметрів

моделі може бути використана для прогнозування ресурсу деталей та оптимізації технологій їхнього відновлення.

Узагальнюючи результати роботи, можна стверджувати, що застосування електролітичного хромування у поєднанні з раціональною технологією післяобробки забезпечує істотне підвищення довговічності гільз циліндрів. Теоретичні положення, експериментальні результати та розроблені конструкційно-технологічні рішення можуть бути впроваджені у практику ремонтних підприємств та слугувати основою для подальших наукових досліджень у сфері триботехнічного зміцнення деталей транспортних двигунів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко І. Г., Левкович М. Г. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність транспортних засобів». Тернопіль : ТНТУ, 2024. 118 с.
2. Aulin, V., Lyashuk, O., Gupka, A., Tson, O., Dmitro, M., Sokol, M., ... & Yarema, I. (2024). Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. *Procedia Structural Integrity*, 59, 428-435.
3. Lyashuk O., Gupka A., Pyndus Y., Gupka V., Sipravska M., Stashkiv M. (2019) The tribology of the car: Research methodology and evaluation criteria. *Proceedings of ICCPT 2019 (Tern., May 28-29, 2019)*, pp. 231-237.
4. Дембіцький В. М., Павлюк В. І., Придюк В. М. Технічна експлуатація автомобілів : навчальний посібник. Луцьк : Луцький НТУ, 2018. 473 с.
5. Чабанний В. Я. (упор.). Ремонт автомобілів : навчальний посібник. Кіровоград : Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.
6. Кукурудзяк Я. М. Технічна експлуатація автомобілів. Технологія обслуговування : навч. посіб. Вінниця : ВНТУ, 2023. 241 с.
7. Огневий В. Ф., Фалько Ю. М., Блажко Д. О., Кіпенко Д. О., Березюк О. С. Сучасні технологічні процеси ремонту транспортних засобів : навчальний посібник. Харків : Форт, 2024. 290 с.
8. Технічний сервіс автомобілів та проєктування авторемонтних підприємств : методичні рекомендації до лабораторних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 274 «Автомобільний транспорт» / О. П. Бабак, О. В. Диха, А. А. Вичавка. Хмельницький : ХНУ, 2024. 26
9. Гевко І. Б., Ляшук О. Л. Техніко-економічне обґрунтування інженерних рішень : навч. посіб. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2021. 264 с.
10. Красота О. В., Верьовкіна О. В., Шатковський О. П., Панасенко М. О. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб. Київ : Видавничий дім «Слово», 2023. 208 с.

11. Тригуб О. В. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2021. 187 с.
12. Домущі Д. П., Мельник О. В. Ремонт тракторів і автомобілів : навчальний посібник. Одеса : Одеський державний аграрний університет, 2020. 252 с.
12. Прокопович І. В. Металознавство : навчальний посібник. Одеса : Екологія, 2020. 308 с.
13. Вакуленко І. О. Теорія та практика термічної обробки : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. Кам'янське : ДДТУ, 2024. 75 с.
14. Хоменко О. М., Бережний В. М. Діагностика та контроль технічного стану транспортних засобів. Вінниця : ВНТУ, 2021. 254 с.
15. Навчальний посібник «Техноекологія та цивільна безпека. частина «Цивільна безпека»» / автор-укладач В.С. Стручок– Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., – 156 с.
16. Lyashuk, O., Gypka, A., Maiak, M., Mironov, D., & Levkovych, M. (2025). Methodology for the Investigation and Evaluation Criteria of Oxidation-Metal Plating Processes During Friction and Wear. Key Engineering Materials, 1035, 15-26.