

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

Пояснювальна записка

до дипломної роботи

бакалавра

Освітньо-кваліфікаційний рівень

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Шифр і назва галузі знань

Напрямок підготовки (спеціальність): 132 «Матеріалознавство.

Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

Шифр і назва напрямку підготовки (спеціальності)

на тему: «Підвищення зносостійкості поршнів дизельних двигунів
підбором раціональних матеріалів»

Шифр *ДРМТВА 24. 21171.000 ПЗ*

Виконав: студент 4-го курсу,
група *МТВАс -21-2*


Підпис


Владислав ПОДОЛЯ
Ім'я, прізвище

Керівник *к.т.н., доц. каф ТАМ.*


Підпис

Володимир ГОНЧАР
Ім'я, прізвище

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


Підпис Олександр ДИХА
Ім'я, прізвище

14 06 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 132 «Матеріалознавство».

Спеціалізація «Відновлення та технічний сервіс автомобілів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТАМ


Диха О.В.
04 березня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Подолі Владиславу Володимировичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: Підвищення зносостійкості поршнів дизельних двигунів підбором раціональних матеріалів.

керівник роботи: Гончар Володимир Антонович, к.т.н., доц. каф. ТАМ.

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

Затверджено наказом університету від 16.02.2024 р. № 8 (Д 16)

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Матеріали переддипломної практики.

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

1) проведено аналіз літератури щодо видів та конструкцій поршнів дизельного двигуна;

2) розглянути матеріали виготовлення та їх механічних властивостей;

3) здійснити теоретичну оцінку ресурсу сполучення при використанні різних матеріалів поршнів;

4) проаналізувати найбільш підходящі матеріали для виготовлення поршнів.

5. Перелік графічного матеріалу (презентація):

Розробити презентацію у вигляді слайдів з розкриттям питань відповідно до мети роботи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання 04 березня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>провести літературний огляд із проблеми</i>	4.04.2023	<i>вик</i>
2	<i>розглянути матеріали виготовлення</i>	18.05.2023	<i>вик</i>
3	<i>здійснити теоретичну оцінку ресурсу сполучення</i>	25.05.2023	<i>вик</i>
4	<i>Оформлення роботи</i>	6.06.2023	<i>вик</i>
5	<i>Захист роботи</i>	21.06.2024	

Студент


Підпис

Керівник роботи


Підпис

В.В. Подоля
Ініціали, прізвище

В.А. Гончар
Ініціали, прізвище

РЕФЕРАТ

Студент гр. МТВАс -21-2 Подоля Владислав Володимирович.

Структура та обсяг пояснювальної записки. Дипломна робота на тему «**Підвищення зносостійкості поршнів дизельних двигунів підбором раціональних матеріалів**» складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел, який налічує 27 найменування, розміщених на 3 сторінках, та одного додатку розміщеного на 10 сторінках. Роботу викладено на 80 сторінках, з них 70 сторінок основного тексту, на яких розміщено 10 рисунки і 16 таблиць.

Збільшення терміну служби сучасного обладнання, машин і механізмів тісно пов'язане зі зростаючими вимогами до якості та експлуатаційних характеристик алюмінієвих сплавів, що потребує постійного вдосконалення їх складу та технології виробництва. Боротьба зі зношуванням, корозією та окисненням металів та сплавів - один із найважливіших напрямків для підвищення довговічності виробів, зменшення витрат на запасні частини та комплексного підвищення якості та надійності машин та механізмів.

Метою даної роботи є визначення найбільш раціонального матеріалу для виготовлення поршнів дизельних двигунів.

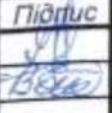



Завдання роботи:

- проведено аналіз літератури щодо видів та конструкцій поршнів дизельного двигуна;
- розглянути матеріали виготовлення та їх механічних властивостей;
- здійснити теоретичну оцінку ресурсу сполучення при використанні різних матеріалів поршнів;
- проаналізувати найбільш підходящі матеріали для виготовлення поршнів.

Перелік ключових слів: *поршень, знос, алюміній, чавун, міцність.*

Зміст

ВСТУП.....	5
ІПРИЗНАЧЕННЯ ПОРШНІВ, ВИМОГИ ДО НИХ.....	6
1.1 БУДОВА ПОРШНЯ	7
1.2. ТИПИ ПОРШНІВ	14
1.2.1. ПОРШЕНЬ З ЧОТИМИ ПОРШНЕВИМИ КІЛЬЦЯМИ.....	14
1.2.2 ПОРШЕНЬ З П'ЯТЬОУ ПОРШНЕВИМИ КІЛЬЦЯМИ.....	15
1.2.3 ПОРШЕНЬ З ПОКРИТТЯМ.....	16
1.3. МАТЕРІАЛИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРШНІВ	17
2. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРШНІЙ.....	34
3. МАТЕРІАЛИ ПОРШНІЙ.....	36
4. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАРОК СПЛАВА ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРШНІЙ.....	45
5 ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА РЕСУРСУ СПОРУДЖЕННЯ.....	46
5.1 АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ.....	46
5.2 ОЦІНКА ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ НА ЗДІЙСНЕННЯ РОБОТИ ТРЕННЯ У СПОРУДЖЕННЯХ.....	47
5.3 ПОБУДУВАННЯ ОПОРНОЇ КРИВОЇ.....	48
5.4 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ КОНТАКТУВАННЯ, КОНТУРНОГО ТИСКУ І ПЛОЩІ.....	53
5.5 ОЦІНКА РЕСУРСУ СПОРУДЖЕННЯ.....	60
ВИСНОВКИ	67
ЛІТЕРАТУРА	68
ДОДАТКИ	70

ДРМТВАТАМ 24. 21171.000 ПЗ				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
		Подоля		
		Гончар		
		Бабак		
		Духа		
Підвищення зносостійкості поршнів дизельних двигунів підбором раціональних матеріалів			Літ.	Арк.
			5	80
ХНУ група МТВАс -21-2				

ВСТУП

Збільшення терміну служби сучасного обладнання, машин і механізмів тісно пов'язане зі зростаючими вимогами до якості та експлуатаційних характеристик алюмінієвих сплавів, що потребує постійного вдосконалення їх складу та технології виробництва. Боротьба зі зношуванням, корозією та окисленням металів та сплавів - один із найважливіших напрямків для підвищення довговічності виробів, зменшення витрат на запасні частини та комплексного підвищення якості та надійності машин та механізмів. Проблема підвищення експлуатаційних характеристик (зносостійкості, теплостійкості та корозійностійкості) алюмінієвих виробів є актуальною для багатьох галузей промисловості, таких як машинобудівна, металургійна, гірничодобувна, хімічна та інші.

Поршень має відповідати вимогам щодо міцності, забезпечуючи необхідну надійність та довговічність у високодинамічних та термічних умовах. При цьому важливо мати поршень з невеликою масою, високою зносостійкістю контактних поверхонь, низькими втратами на тертя при мінімальних монтажних зазорах у циліндрі, оптимальною теплопровідністю та малим коефіцієнтом теплового розширення. Для виробництва поршнів використовуються алюмінієві сплави, чавун та сталь вітчизняного та світового виробництва. Останні двадцять років іноземні виробники активно ведуть розробки поршнів з композитних матеріалів. Особливо популярними стали поршні з алюмінієвих сплавів, легованих кремнієм з вмістом 11-13% (евтектичні сплави) та 17-23% (заевтектичні сплави).

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ПОРШНІВ, ВИМОГИ ДО ПОРШНІВ

Поршні, призначені для двигунів, виготовляються з висококремністого евтектичного алюмінієвого сплаву. Для покращення взаємодії поршня з гільзою його поверхня покривається тонким (0,003-0,006 мм) шаром олова. На спідниці поршня передбачене спеціальне відрізняння для форсунки охолодження, а також дві бічні виїмки для запобігання зіткненню з колінчастим валом. Зовнішня поверхня поршня має чотири (або п'ять) канавок для поршневих кілець. Три верхні канавки призначені для компресійних кілець, а одна канавка вище за поршневий палець призначена для розміщення масловідбійного кільця.

Велика увага приділяється застосуванню різних покриттів. Напряму частину поршня покривають тонким шаром свинцю, олова або цинку, що запобігає виникненню задирів у разі погіршення умов мастила при певних режимах роботи.

Поршневий палець, який забезпечує з'єднання поршня з шатуном, є пустотілим, плаваючого типу. Виготовляють його зі сталі 12ХНЗА. Зовнішні поверхні пальців цементуються на глибину 10-14 мм, піддаються закалюванню і відпуску до твердості 56-65 НРС. Зовнішній діаметр пальця становить 50 мм.

Поршні відлиті з евтектичного алюмінієво-кремнієвого сплаву. Охолодження поршня мастилом здійснюється через фіксовану форсунку. На спідниці поршня розміщена виїмка для форсунки охолодження. У днищі поршня розташована камера згоряння. Маркування поршнів виконується під час лиття зсередини та на днищі.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

1.1. БУДОВА ПОРШНЯ

Стандартний поршень автомобільного двигуна складається з трьох основних частин: днища, поршневих кілець та напрямної (спідниці) Рис. 1.



Рис. 1 Конструкція поршня

Розглянемо кожен компонент докладніше.

Днище поршня

Форма днища поршня залежить від типу двигуна, особливостей камери згоряння та багатьох інших факторів. Поршень може мати плоске, увігнуте або опукле днище.

Деталі з плоским днищем є найпростішими у виробництві і використовуються як у бензинових, так і в дизельних двигунах вихрекамерного та передкамерного типу.

Поршні з увігнутим днищем характерні для дизельних двигунів. Вони забезпечують більш ефективну роботу камери згоряння, проте сприяють більшому утворенню відкладень при згорянні палива.

Випукла форма днища покращує продуктивність поршня, але знижує ефективність процесу згоряння паливної суміші в камері.

Дно поршня приймає на себе основне термонавантаження, у зв'язку з чим має найбільшу, в порівнянні з іншими деталями, товщину: 7-9 мм у звичайних бензинових, 11 мм – у турбомоторах, 10-16 мм – у дизельних двигунах.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Існують також автомобілі, в яких встановлені поршні з товщиною днища менше за стандартну – наприклад, у деяких моделях Honda вона становить всього 5,5-6 мм.

Днища деяких поршнів з метою збільшення міцності, зниження ймовірності перегріву та прогорання піддаються твердому анодуванню: на верхній шар алюмінію накладається керамічне покриття завтовшки 8-12 мкм.

Ущільнююча частина

До ущільнюючої частини поршня (рис. 2.) відносяться кільця поршневі, встановлені в спеціальних канавках. У більшості сучасних двигунів використовується три кільця – одне маслоснімне та два компресійні.



Рис. 2. Ущільнююча частина поршня

Маслоснімні кільця, як випливає з назви, призначені для видалення надлишків масла зі стінок циліндра і запобігання його потраплянню в камеру згорання. Для цього на кільці є наскрізні отвори, розташовані по периметру, через які масло надходить усередину поршня, а потім відводиться в піддон картера двигуна (рис. 3.).



Рис. 3. Ущільнююча частина поршня з отворами

Компресійні кільця запобігають проникненню відпрацьованих газів з камери згоряння в картер. Вони можуть мати трапецієподібну, конічну або бочкоподібну форму. Деякі види компресійних кілець оснащені пружинним розширювачем для покращення ущільнення.

Найбільші навантаження сприймає перше (верхнє) компресійне кільце, тому для збільшення його ресурсу канавка під це кільце зміцнюється за допомогою сталеві вставки.

Діаметр ущільнюючої частини поршня менший за діаметр його напрямної частини через різницю в нагріванні цих зон – в районі кілець він значно вищий. Мінімальний діаметр жарового пояса дозволяє уникнути задирів і заклинювання кілець у канавках.

Якість кілець має велике значення для ущільнення поршня. У цьому відношенні чавунні маслоснімні кільця набагато надійніші за складові, оскільки при їх установці виникає менше помилок.

Напрямна частина

					<i>ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Напрямну частину поршня називають спідницею. З внутрішньої сторони вона має бобишки, в яких знаходиться отвір під поршневий палець.

Нижня кромка спідниці призначена для розточування та припасування поршня. На ній є спеціальний буртик, з внутрішньої сторони якого під час механічної обробки знімається частина металу.

У місцях отворів під поршневий палець із зовнішньої частини спідниці вирізаються спеціальні поглиблення, завдяки чому стінки цих зон не контактують зі стінками циліндра, утворюючи так звані "холодильники".

Стінки спідниці призначені для сприйняття бокового тиску. Природно, тертя між поршнем і стінками циліндра, а також нагрівання обох деталей при цьому збільшується.

Щоб забезпечити вільне переміщення поршня в циліндрі, між спідницею і стінками гільзи передбачений зазор. Його величина залежить від лінійного розширення металу поршня та циліндра за нормальної роботи двигуна. При занадто маленькому зазорі виникає перегрів, що загрожує утворенням задирів на поверхнях і заклинюванням поршня в циліндрі. Великий зазор також не рекомендований, оскільки поршень при цьому не виконує своїх ущільнювальних властивостей.

Багато автовиробників ще на етапі виробництва поршнів наносять на спідниці спеціальні антифрикційні покриття. Це дозволяє захистити їх поверхні від передчасного зносу та полегшити приробітку.

Причини зносу поршнів

Під час щоденної експлуатації транспортного засобу двигун працює стабільно лише до певного моменту, після якого поршні, як і будь-які інші елементи двигуна, починають зношуватися і можуть виникнути несправності.

Ознаками некоректної роботи поршневої групи є:

- Підвищена витрата моторного масла та палива
- Виділення синього диму з вихлопної труби
- Нестабільна робота двигуна на холостих обертах
- Зниження потужності двигуна
- Нагар на свічках запалювання

При демонтажі ЦПГ можуть виявлятися проблеми, які потребують термінового вирішення та визначення причин. Наприклад, задираки на днищі поршня виникають внаслідок його перегріву, що може бути спричинено порушенням процесу згоряння паливно-повітряної суміші, деформацією або засміченням масляної форсунки, встановленням поршнів неправильного розміру та параметрів, або несправностями в системі охолодження.

Сліди від ударів на днищі свідчать про надмірний виступ деталі, неправильну посадку клапана, відкладення масляного нагару, неналежне ущільнення ГБЦ та інші проблеми.

Причинами появи тріщин на днищі можуть бути недостатня компресія в циліндрах (рис. 4-5), погане охолодження поршня або несправність форсунки, що впорскує паливо.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рис. 4. Пошкоджений поршень

Пошкодження поршневих кілець може виникнути через неправильне встановлення поршнів. У таких випадках кільця піддаються вібрації та сильному зносу в області канавок.

Радіальне зношування поршнів виникає через надмірну кількість палива в камері згоряння, що може бути спричинено збоями в приготуванні суміші, порушенням процесу згоряння, недостатнім тиском стиснення або неправильним розміром виступів поршнів.

Осьовий знос відбувається через забруднення поршнів продуктами зносу, що утворюються під час роботи двигуна.

Ушкодження спідниці поршня можуть виникати з різних причин, таких як асиметрична пляма контакту, викликана скручуванням або деформацією шатуна, а також великим люфтом шатунного підшипника.

Задири під кутом утворюються через надто тісну посадку поршнів, помилки при монтажі шатуна гарячим пресуванням або недостатнє мастило під час першого пуску двигуна.

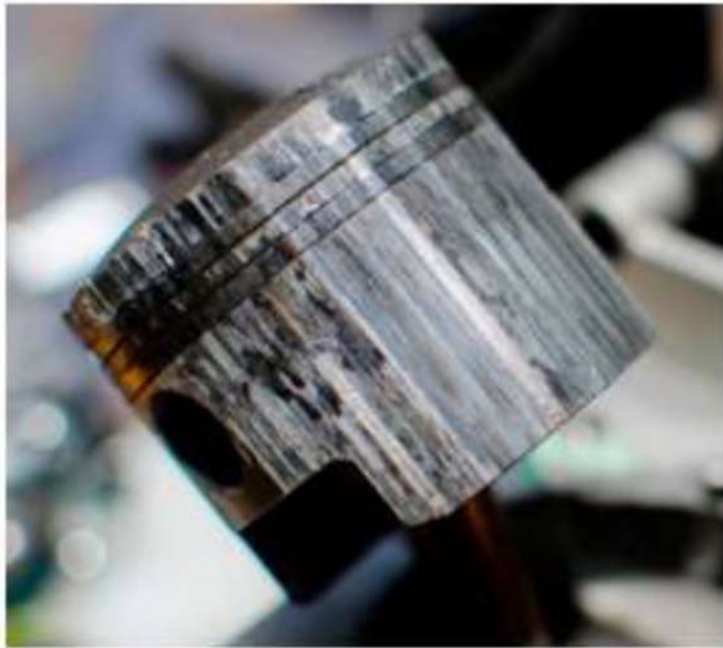


Рис. 5. Пошкоджений поршень

Поверхні спідниці піддаються посиленому тертю через перенасичення паливно-повітряної суміші, її недостатнє стиснення, несправності пускового пристрою холодного двигуна, перебої в запаленні тощо.

Основною причиною виходу з ладу гільз є кавітація, викликана недостатнім охолодженням, використанням неякісної охолоджуючої рідини, неправильною або неточною посадкою гільз циліндрів, а також застосуванням ущільнювальних кілець з круглим перерізом.

Блискучі місця у верхній частині циліндра є масляним нагаром, який утворюється внаслідок несправності деяких деталей та проникнення мастила разом із газами у всмоктуючий тракт.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2 ТИПИ ПОРШНІВ.
1.2.1. ПОРШЕНЬ З ЧОТИМИ ПОРШНЕВИМИ КІЛЬЦЯМИ



Рис. 1 Поршень КМЗ 238НБ-1004015

Поршень 238НБ-1004015 з 4-ма канавками під поршневі кільця (три під компресійні та одна під маслознімне кільце). Камера згоряння зміщена на 5мм. На спідниці – виріз для охолодження поршня мастилом. Камера згоряння циліндрична без розсікача. Матеріал: алюмінієвий сплав АК12М2МгН. Покриття: олово.

Поршень застосовують на автомобілі МАЗ, КраЗ, ЗІЛ, Урал, трактори "ХТЗ", з двигунами ЯМЗ-236Н, -236НЕ, -236БЕ,-236Б, -238Б, -238БВ, -238БЕ, -238БЛ, -238БК, -238Д, -238ДЕ, -238ДК, -238НДЗ(4,5), -238Л, -238Н та їх модифікації.

					<i>ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

1.2.2 ПОРШЕНЬ З П'ЯТЬМА ПОРШНЕВИМИ КІЛЬЦЯМИ



Рис. 2 Поршень КМЗ 236-1004015К

Поршень КМЗ 236-1004015К встановлюється лише з гільзою КМЗ 236-1002021-А (L285). Поршень до двигуна ЯМЗ. Поршень із двома маслоснімними канавками. Камера згоряння циліндрична з високим розсікачем. Матеріал: алюмінієвий сплав АК12М2МгН. Покриття: олово.

Поршень на автомобілі МАЗ, КраЗ, ЗІЛ, Урал, автобуси ЛАЗ, катери, компресорні установки з двигунами ЯМЗ-236М2, ЯМЗ-236Г, ЯМЗ-236А, ЯМЗ-23 - 236Д, ЯМЗ-238М2, ЯМЗ-238 АМ2, ЯМЗ-238БМ, ЯМЗ-238ГМ2, ЯМЗ-238ІМ2, ЯМЗ-238КМ2, ЯМЗ-238АК, ЯМЗ-240 БМ2-1 (з загальною головкою) та їх модифікаціям.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

1.2.3. ПОРШЕНЬ З ПОКРИТТЯМ



Мал. 3 ПОРШЕНЬ КМ3 238НБ-1004015

Поршень до двигуна ЯМЗ. Поршень "Супер МАЗ". На спідниці – виріз для охолодження поршня мастилом. Камера згоряння циліндрична без розсікача. Матеріал: алюмінієвий сплав АК12М2МгН. Покриття: Molykote.

Застосування антифрикційного покриття Molykote для зменшення зносу, виключення задир поршнів і стінок циліндрів під час приробітку і холодного пуску двигуна. Утворює мастильну плівку весь термін ЦПГ двигуна. Захищає від корозії.

Застосовується поршень на автомобілях МАЗ, КраЗ, ЗІЛ, Урал, трактори "Кіровоць", комбайни "Дон", "Полісся", "Єнісей" з двигунами ЯМЗ-236Н, - 236НЕ, -236БЕ, -236Б, -238Б, -238БВ, -238БЕ, -238БЛ, -238БК, -238Д, -238ДЕ, -238ДК, -238НДЗ (4,5), -238Л, -238Н та їх модифікації.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

1.3. Матеріали виготовлення поршнів

Алюмінієві сплави

Блок-картери з алюмінієвих сплавів ще вважаються відносно новими, особливо для дизельних двигунів. Густина алюмінієвих сплавів становить приблизно третину порівняно зі сірим чавуном. Проте, це не означає, що перевага в масі має таке ж співвідношення, оскільки з метою компенсації меншої міцності такий блок-картер доводиться робити більш масивним. Інші характеристики алюмінієвих сплавів включають:

- відмінна теплопровідність;
- висока хімічна стійкість;
- непогані прочності;
- проста обробка.

Чистий алюміній не підходить для лиття блок-картера через його недостатню міцність. На відміну від сірого чавуну, основні легуючі компоненти додаються тут у великих кількостях.

Сплави поділяються на чотири групи в залежності від основної легуючої добавки. Ці добавки включають:

- кремній (Si);
- мідь (Cu);
- магній (Mg);
- цинк (Zn).

Для виготовлення алюмінієвих блок-картерів двигунів використовуються

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

виключно сплави AlSi. Вони покращуються невеликими додатками міді або магнію. Кремній має позитивний вплив на міцність сплаву. Якщо вміст кремнію становить більше 12%, спеціальна обробка може забезпечити дуже високу твердість поверхні, хоча різання при цьому ускладнюється. Приблизно на рівні 12% спостерігаються визначні ливарні властивості. Додавання міді (2-4%) може поліпшити ливарні властивості сплаву, якщо вміст кремнію менше 12%. Маленьке додавання магнію (0,2-0,5%) значно підвищує міцність. Для бензинових і дизельних двигунів використовується алюмінієвий сплав AlSi7MgCuO, 5. Як видно з позначення AlSi7MgCuO, 5, цей сплав містить 7% кремнію і 0,5% міді. Він відрізняється високою динамічною міцністю. Іншими позитивними характеристиками є хороші ливарні властивості і пластичність. Однак він не забезпечує достатньо зносостійкої поверхні, яка необхідна для дзеркала циліндра. Тому блок-картери з AlSi7MgCuO, 5 мають бути виконані з гільзами циліндрів.

Прогресивні дослідники розглядають можливість використання ще легкого матеріалу - магнієвих сплавів. Були створені прототипи двигунів, в яких металеві гільзи циліндрів встановлювалися в легкі пластикові блоки, проте ці двигуни виявилися дуже шумними.

Позначення:

HВ - Твердість за методом Брінелля, [МПа]

T - Температура, при якій отримані дані властивості, [Град]

E - Модуль пружності першого роду, [МПа]

α - Коефіцієнт температурного (лінійного) розширення, [1/Град]

l - Коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), [Вт/(м·град)]

r - Густина матеріалу, [кг/м³]

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

З - Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20о-Т), [Дж/(кг·град)]

R - Питомий електричний опір, [Ом·м]

Висновок: Для свого алюмінієвого поршня двигуна я буду використовувати виключно сплави AlSi, зокрема АЛ4. Вони покращуються невеликими додатками міді або магнію. Кремній має позитивний вплив на міцність сплаву. Якщо вміст кремнію перевищує 12%, за допомогою спеціальної обробки можна досягти високої твердості поверхні, хоча різання при цьому стає складнішим. На рівні навколо 12% спостерігаються виразні ливарні властивості. Додавання міді (2-4%) може поліпшити ливарні характеристики сплаву, якщо вміст кремнію менше 12%. Маленьке додавання магнію (0,2-0,5%) істотно підвищує динамічну міцність. Іншими позитивними властивостями є хороші ливарні характеристики і пластичність. Однак він не забезпечує достатньо зносостійкої поверхні, яка необхідна для внутрішньої поверхні циліндра.

Алюміній (від лат. Aluminium, від alumen - галун) - це хімічний елемент III групи періодичної системи, з атомним номером 13 та атомною масою 26,98154. Він представляє собою сріблясто-білий метал, який є легким, пластичним і має високу електропровідність. Температура плавлення алюмінію становить 660 °С. Хімічно він активний, адже на повітрі утворює захисну оксидну плівку. За поширеністю в природі алюміній посідає третє місце серед всіх хімічних елементів та перше серед металів, складаючи 8,8% маси земної кори. У рейтингу електропровідності алюміній займає четверте місце, поступаючись лише сріблу (яке посідає перше місце), міді та золоту. Це особливо важливо, враховуючи доступність алюмінію. В порівнянні з залізом його кількість вдвічі більша, а порівняно з міддю, цинком, хромом, оловом та свинцем разом взятими - у 350 разів більше. Щільність

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

алюмінію становить лише $2,7 \cdot 10^3$ кг/м³. Алюміній має кристалічну ґратку кубічної гранцентованої структури, яка залишається стійкою від температур -269 °С до точки плавлення (660 °С). Його коефіцієнт теплопровідності складає $2,37 \text{ Вт} \times \text{см}^{(-1)} \times \text{К}^{(-1)}$ при 24 °С. Електроопір високоочищеного (99,99%) алюмінію становить $2,6548 \times 10^{(-8)}$ Ом \times м, що складає 65% від електроопору міжнародного еталону, який виготовлений з обпаленого міді. Відбивна здатність полірованої поверхні алюмінію перевищує 90%.

Основні легуючі елементи в алюмінієвих сплавах та їх функції

Чистий алюміній - м'який метал, майже втричі м'якший за мідь. Проте, коли алюміній утворює сплави (їх існує величезна кількість), його твердість може зрости в десятки разів. Найширше використання мають такі:

Берилій додається для зменшення окислення при високих температурах. Навіть додавання невеликих кількостей берилію (0,01 - 0,05%) у ливарні алюмінієві сплави поліпшує плинність при виготовленні деталей двигунів внутрішнього згоряння, таких як поршні та головки циліндрів.

Бор вводять для підвищення електропровідності та як рафінуючу добавку. Цей елемент додають у сплави, що використовуються в атомній енергетиці (за винятком деталей реакторів), оскільки він поглинає нейтрони, що допомагає утримувати радіацію. Зазвичай бор додають у кількості від 0,095 до 0,1%.

Вісмут. Метали з низькою температурою плавлення, такі як вісмут, свинець, олово, кадмій, додають у алюмінієві сплави для поліпшення оброблюваності різання. Ці елементи утворюють м'які легкоплавкі фази, які полегшують формування стружки та змащують різці.

Галій додається у кількості від 0,01 до 0,1% у сплави, з яких виробляються

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

аноди.

Залізо. У виробництві проводів додають у невеликих кількостях (приблизно до 0,04%) для збільшення міцності та покращення характеристик повзучості. Залізо також зменшує прилипання до стінок форми під час лиття в кокіль.

Індій. Додаток у кількості 0,05 - 0,2% підвищує міцність алюмінієвих сплавів під час старіння, особливо у випадку низького вмісту міді. Індієві домішки застосовуються в алюмінієво-кадмієвих підшипникових сплавах.

Кадмій, у вмісті приблизно 0,3%, додають для підвищення міцності та поліпшення корозійних властивостей сплавів.

Кальцій надає пластичність. У сплаві з вмістом кальцію 5% відзначається надпластичність.

Кремній є однією з найбільш використовуваних домішок у ливарних сплавах. У кількості від 0,5% до 4% він зменшує схильність до утворення тріщин. Комбінація кремнію з магнієм робить можливим термоуцільнення сплаву.

Магній. Додаток магнію значно підвищує міцність без зниження пластичності, покращує зварюваність і збільшує корозійну стійкість сплаву.

Мідь відома своїм зміцнюючим ефектом у сплавах, і максимальне зміцнення досягається при вмісті міді 4 - 6%. Сплави, що містять мідь, широко використовуються у виробництві поршнів для двигунів внутрішнього згорання, а також у виготовленні високоякісних литих деталей для літальних апаратів. Олово відоме своєю здатністю поліпшувати обробку різанням.

Титан відіграє важливу роль у сплавах, його основне завдання - подрібнювати зерна у виливках і злитках, що значно підвищує міцність і забезпечує рівномірність властивостей у всьому обсязі.

Алюміній є одним із найпоширеніших і доступних металів. Важко переоцінити його значення в сучасному житті. Без алюмінію складно уявити багато галузей промисловості та побуту. Цей метал добре піддається різним видам обробки, таким як кування, штампування, прокатка, волочіння та пресування. Чистий алюміній вважається досить м'яким металом і використовується для виробництва електричних дротів, конструкційних деталей, фольги для упаковки харчових продуктів, кухонного посуду та фарбування. Його легкість і привабливий зовнішній вигляд зробили його популярним матеріалом у будівництві та авіаційній промисловості. Алюміній має високу відбивну здатність, тому його часто використовують для виготовлення дзеркал методом напилення металу у вакуумі.

У авіаційній та автомобільній промисловості, а також при виготовленні будівельних конструкцій, використовують значно твердіші сплави алюмінію, оскільки вони мають високі показники міцності. Один з найвідоміших таких сплавів - дюралюмін, який складається з алюмінію, міді та магнію (відомий також як "дюраль"). Названий на честь німецького міста Дюрена, цей сплав відзначається відмінним поєднанням міцності і пластичності, хоча він не дуже стійкий до корозії. Типовим прикладом дюралюміну є сплав Д16, що містить 4,3% міді, 1,5% магнію та 0,6% марганцю. Цей сплав, після термічної обробки, набуває особливої твердості і стає приблизно в сім разів міцнішим, ніж чистий алюміній, при цьому майже втричі легший за залізо. Для його отримання алюміній сплавають з невеликими додатками міді, магнію, марганцю, кремнію та заліза.

Широко застосовуються силуміни - литі алюмінієві сплави з додаванням кремнію. Також виробляють високоміцні, криогенні (стійкі до низьких температур) і жароміцні сплави. На вироби з алюмінієвих сплавів легко наносяться захисні та

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

декоративні покриття. Алюмінієва бронза, яка містить до 11% алюмінію, володіє високими механічними властивостями і стійкістю до морської води, а також до розведеної соляної кислоти.

Однією з основних вимог до матеріалів, які використовуються в автомобільній промисловості, є мала маса і висока міцність. При цьому важливо також мати на увазі корозійну стійкість та естетичний вигляд матеріалу.

Висока питома міцність алюмінієвих сплавів збільшує вантажопідйомність та зменшує експлуатаційні витрати транспортних засобів. Водночас висока корозійна стійкість матеріалу сприяє подовженню термінів експлуатації, розширює спектр перевезених товарів, включаючи рідини і гази з високою ступенем агресивності.

При виготовленні елементів каркаса, обшивки кузова напівпричепа автофургона, рефрижератора, транспортних засобів для перевезення тварин тощо перспективними матеріалами є алюмінієві сплави АД31, 1915 (пресовані профілі), а також сплави АМг2, АМг5 (лист).

У сучасному світі важко знайти галузь промисловості, де б не використовувався алюміній або його сплави - від мікроелектроніки до важкої металургії. Це пояснюється його відмінними механічними властивостями, легкістю, низькою температурою плавлення, що спрощує обробку, та високою стійкістю до корозії. При огляді перелічених та багатьох інших фізичних та хімічних властивостей алюмінію, а також його безмежної кількості в земній корі, можна стверджувати, що алюміній - один з найперспективніших матеріалів майбутнього.

За оцінками експертів, до 2010 року обсяг використання алюмінію у

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

будівництві, зокрема в зведенні будинків та інженерних споруд, таких як мости чи спортивні масові об'єкти, подвоїться порівняно з показниками 2006 року.

Проте, хоча алюміній і відіграє важливу роль у будівництві, він не є основним матеріалом для спорудження, наприклад, хмарочосів. Структурні елементи багатоповерхових будівель наразі і в найближчому майбутньому переважно виготовляються з бетону і сталі. Проте, завдяки своїм унікальним властивостям, алюміній все частіше використовується для зменшення тиску на опори і фундамент будівлі, зокрема в тих випадках, коли це важливо для збільшення ефективності та стійкості конструкцій.

По-перше, фасади сучасних висотних будівель переважно складаються з алюмінієвих конструкцій, що поєднують в собі міцність та відносно невелику вагу.

По-друге, покрівлі з алюмінію виявляються більш функціональними порівняно з традиційними матеріалами.

По-третє, з ростом кількості офісних будівель, алюмінієві перегородки між приміщеннями дозволяють виконати вимоги надійності та економічності.

По-четверте, алюміній широко використовується у виробництві дверних і віконних прорізів.

По-п'яте, вентиляційні системи новобудов практично повністю складаються з алюмінієвих компонентів.

По-шосте, алюміній є незамінним для втілення в життя багатих фантазій сучасних архітекторів і дизайнерів.

Нарешті, як не згадати про такий важливий елемент міської архітектури, як численні торгові точки - павільйони, кіоски і ларьки також неабиякій частині будуються з алюмінію і його сплавів. Таким чином, алюміній буде

використовуватися в будівництві максимально широко, оскільки в даний момент просто немає гідної альтернативи.

Чавун – це сплав заліза з вмістом вуглецю більше 2% і кремнію більше 1,5%. У сірому чавуні надлишковий вуглець міститься у формі графіту. Для поршнів дизельних двигунів використовують чавун з пластинчастим графітом, який отримав свою назву через розташування графіту в сплаві. Інші складові чавуну – це марганець, сірка і фосфор у дуже малих кількостях.

Чавун спочатку пропонувався як матеріал для блок-картерів серійних двигунів, оскільки він недорогий, легко обробляється і має необхідні властивості. Легкі сплави довго не могли задовольнити цим вимогам. Автовиробники використовують чавун з пластинчастим графітом для своїх двигунів завдяки його особливим властивостям, а саме:

- хороша теплопровідність;
- високі міцнісні властивості;
- легкість механічної обробки;
- відмінні ливарні властивості;
- дуже хороші демпфувальні властивості.

Демпфування – одна з визначних властивостей чавуну з пластинчастим графітом. Це означає здатність поглинати та гасити коливання завдяки внутрішньому тертю, що значно покращує вібраційні та акустичні характеристики двигуна. Висока міцність і легкість обробки роблять блок-картери з сірого чавуну конкурентоспроможними навіть сьогодні. Завдяки цим властивостям, бензинові двигуни і дизельні двигуни досі виготовляються з блок-картерами з сірого чавуну.

Проте зростаючі вимоги до зменшення маси двигуна в легкових автомобілях у майбутньому зможуть задовольнити лише легкі сплави.

Основною структурною складовою білих чавунів є крихкий та твердий цементит, що призводить до їхньої високої твердості та крихкості. Через ці властивості їх мало використовують у техніці і не застосовують у будівництві. Білі чавуни підлягають переробці на сталь та сірі чавуни. У доменних печах виплавляють білі чавуни трьох типів: ливарний коксовий, передільний коксовий і феросплави.

Ливарний коксовий чавун (згідно з ГОСТ 4832-72) містить від 3,5 до 4,6% вуглецю та використовується для виробництва сірих чавунів. Передільний коксовий чавун використовується для виплавки сталі та виробництва виливків. Феросплави використовуються як добавки при виплавці сталі. Вони містять підвищену кількість марганцю та кремнію. Наприклад, один із видів фероспла - вовзеркальний чавун - містить 10-25% марганцю, феромарганець - 70-80% марганцю, а феросиліцій - 9-12% кремнію.

Сірий чавун

Назва "сірий чавун" походить від сірого кольору зламу, на відміну від сріблястого кольору зламу білих чавунів. Сірий колір зламу обумовлюється наявністю вуглецю у вільному стані у вигляді графіту, що входить до складу сірого чавуну. Графіт утворюється внаслідок розпаду тендітного цементиту, процес якого називається графітизацією. Розпад цементиту може викликатися штучно, наприклад, введенням кремнію або спеціальною термічною обробкою білого

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

чавуну.

Структура сірих чавунів включає металеву основу та включення графіту, що не зв'язані з нею. Механічні властивості сірих чавунів залежать від структури металевої основи, кількості вуглецю та конфігурації включень графіту. Металева основа може складатися з одного фериту або перліту або їх комбінації. Серед них найміцнішим, але одночасно й найменш пластичним, є чавун на перлітній основі.

Чавун на феритній основі має найвищу пластичність при найменшій міцності. Структура металевої основи залежить від режиму термічної обробки чи кількості кремнію. При збільшенні кількості введеного кремнію зростає ступінь графітизації. Коли в структурі сірого чавуну введено близько 5% кремнію, цементит, що раніше був присутній, повністю замінюється феритом.

Сірі чавуни ливарні на всіх трьох металевих основах. Графітові включення у чавуні не пов'язані з металевою основою, тому зі збільшенням вмісту вуглецю зростає кількість графітових включень, що знижує їх міцність. Цим пояснюється невеликий вміст вуглецю (від 3,5% до 4,5%) у граничних коксових чавунах, що застосовуються для виробництва виливків із сірого чавуну. Конфігурація графітових включень суттєво впливає на механічні властивості сірих чавунів. Чавуни з пластинчастими включеннями графіту мають найгірші властивості, тоді як ті, що містять глобулярні (кулясті) або пластів'ямоподібні включення, показують найкращі результати. Серед них, чавуни з точковими включеннями графіту вважаються найкращими. Конфігурація включення графіту залежить від методу виготовлення сірого чавуну.

Промисловість випускає сірі чавуни в різних варіантах, включаючи високоміцні, леговані та ковкі чавуни. Сірі чавуни з пластинчастим графітом

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

(згідно з ГОСТ 1412-79) мають маркування від СЧ10 до СЧ45, де літери вказують на найменування чавуну, а цифри вказують на межу міцності чавуну при розтягуванні, в Н/мм².

Графітизація в сірих чавунах досягається шляхом введення у їх склад від 1 до 2,9% кремнію, що призводить до формування пластинчастих графітових включень. Для отримання покращених механічних властивостей сірого чавуну використовують його модифікацію. У розплавлений чавун вводять 0,3-0,8% модифікаторів, таких як феросиліцій або силікокальцій, що містять 65-70% кремнію і 30-35% кальцію. Після такої модифікації графіт розподіляється у вигляді точкових включень.

Високоміцні чавуни (згідно з ГОСТ 7293-79) - це різновид сірих чавунів, які отримують під час модифікації магнієм або церієм. Графітові включення в таких чавунах мають кулясту форму. Такі чавуни, які мають високу межу міцності до 12 МПа та відносно велике подовження до 17%, маркуються від ВЧ38-17 до ВЧ120-2. Літери вказують на найменування чавуну, перші дві цифри - на межу міцності при розтягуванні чавуну в кгс/мм², другі - на відносне подовження при розтягуванні в %.

Леговані чавуни отримують за допомогою додавання невеликої кількості легуючих добавок, таких як хром, нікель, мідь, титан, які поліпшують механічні властивості металевої основи чавуну та сприяють формуванню сприятливої форми графіту.

Ковкі чавуни (згідно з ГОСТ 1215-79) - це різновид сірих чавунів, які отримують шляхом тривалого (до 80 годин) витримування білих чавунів при

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

високій температурі, що називається томленням. Під час цієї термічної обробки цементит розпадається, і утворюються пластів'яноподібні включення графіту. Відповідно до температури та тривалості витримування, чавуни можуть отримувати феритну або феритно-перлітну основу. Ці чавуни вважаються найбільш пластичними серед усіх видів чавуну. Відносне подовження феритного ковкого чавуну досягає 12% при межі міцності на розтяг 3,7 МПа, а феритно-перлітного - 5% при межі міцності до 5 МПа.

Ковкі чавуни випускають марок від КЧЗО-6 до КЧ50-5, де розшифровка марки така сама, як і у високоміцного чавуну. Усі види чавуну мають відмінні ливарні властивості та добре протистоять корозії. З сірих чавунів виготовляють елементи будівельних конструкцій, у тому числі таких відповідальних, як опорні частини залізобетонних балок, ферми, черевики під колони, тюбинги для тунелів метрополітену.

Бейнітні чавуни - це чавуни, структура металевої основи яких частково або повністю складається з бейніту. Бейнітні структури формуються внаслідок перетворення аустеніту при температурі 250-500 °С та швидкому охолодженні легованого аустенізованого чавуну або при ізотермічній витримці аустенізованого чавуну в інтервалі температур бейнітного перетворення. Аустеніт при температурі 500-350 °С розпадається на ферит (α -фазу) та γ -аустеніт з підвищеним вмістом вуглецю. Довготривала витримка при температурі розпаду аустеніту призводить до утворення дисперсних карбідів. Розпад аустеніту під час ізотермічної витримки залежить від його стану, а саме, від вмісту вуглецю та хімічного складу чавуну. При високій температурі аустенізації концентрація вуглецю в аустеніті підвищується, і подальший розпад аустеніту стає неможливим. Вміст вуглецю, розчиненого в

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

аустеніті, визначається тривалістю витримки при температурі аустенізації. Залежність кількості пов'язаного вуглецю ССВ у чавуні від температури та часу витримки стає очевидною при перлітній та феритній вихідній структурі.

При виборі гартувального середовища важливо враховувати наступне: швидкість, з якою вилівки з певною формою і товщиною стінки можуть бути охолоджені в певному гартівному середовищі; прожарювання чавуну, яке має бути достатнім для придушення перлітного перетворення під час охолодження до температури ізотермічної витримки.

Швидкість охолодження (v) у соляній ванні можна розрахувати за рівнянням:

$$[v = 9,41 - 1,56 \log D - 2,54 \log T, \]$$

де (v) - швидкість охолодження, ($^{\circ}\text{C}/\text{c}$); (D) – діаметр циліндра, мм; (T) – температура соляної ванни, ($^{\circ}\text{C}$).

У структурі нижнього бейніту - фаза, утворена в зернах вихідного аустеніту, аналогічна мартенситним голкам і за перенасиченістю вуглецем займають проміжне положення між мартенситом і феритом. При тривалій витримці з неї виділяється вуглець, формуючи дисперсну будову карбідів. Аустеніт при утворенні та виділенні α -фази виявляється менш насиченим вуглецем, ніж при утворенні верхнього бейніту. Бейнітні структури нестабільні, тому максимальні температури експлуатації та відпускання не повинні перевищувати температури ізотермічного розпаду аустеніту.

Аустеніт, що не розпався при бейнітному перетворенні, зазвичай називають залишковим, хоча він відрізняється від вихідного вмістом вуглецю. Властивості бейніту визначаються його структурою, яка при даній температурі (T_i) і

тривалості аустенізації (t_a) залежить від температури (T_i) і тривалості (t_i) ізотермічної витримки в області температур бейнітного перетворення. Зі зниженням (T_i) масова частка вуглецю у ферриті бейніту підвищується, структура його набуває голчастого характеру, міцність і твердість спочатку зростають, а потім знижуються.

Нижній бейніт відрізняється від верхнього більш вираженою голчастістю й рельєфністю структури. При отриманні бейніту в результаті охолодження регульованих виливок з легованого чавуну, тобто під час перетворення аустеніту у певному інтервалі температур, структура формується неоднорідною і може складатися з конгломерату структур, таких як сорбітоподібний перліт, верхній та нижній бейніт, мартенсит і залишковий аустеніт. У чавуні виникають значні, головним чином фазові, напруги, для зниження рівня яких зазвичай проводиться відпустка.

Швидкість і температура перетворення і пов'язані з цим зміни обсягу у чавуні та сталі мають суттєві відмінності. Аустеніт утворюється головним чином навколо включень графіту за високих температур і за межами зерен за низьких температур бейнітного перетворення. При цьому напруження на витривалість, напруження при 0,2% деформації та твердість збільшуються зі зростанням об'ємного вмісту бейніту.

Кований чавун

Кований чавун отримується шляхом термічної обробки білого чавуну. Цей матеріал отримав свою назву завдяки високій пластичності та в'язкості, хоча й не

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

піддається обробці тиском. Кований чавун має підвищену міцність при розтягуванні та високий опір удару. З нього виготовляють деталі складної форми, такі як картери заднього моста автомобілів, гальмівні колодки, трійники, косинці тощо. Кований чавун маркується двома літерами та двома числами, наприклад, КЧ 370-12. Літери КЧ вказують на кування чавуну, перше число відображає межу міцності на розрив (в МПа), а друге число показує відносне подовження (у відсотках), що характеризує пластичність чавуну.

Спеціальні чавуни

Залежно від призначення виділяють зносостійкі, антифрикційні, жаростійкі та корозійностійкі леговані чавуни. Хімічний склад, механічні властивості при нормальних температурах та рекомендовані види термічної обробки легованих чавунів регламентуються за ГОСТ 7769-82. У позначенні марок легованих чавунів використовуються букви і цифри, що відповідають змісту елементів, які використовуються для легування, ідентичні до тих, що використовуються в маркуванні сталей.

Зносостійкі чавуни, леговані нікелем (до 5%) і хромом (0,8%), використовуються для виготовлення деталей, які працюють у абразивних середовищах. Чавуни (до 0,6% Сг і 2,5% Ni) з додаванням титану, міді, ванадію, молібдену мають підвищену зносостійкість в умовах тертя без мастильного матеріалу. Їх використовують для виготовлення гальмівних барабанів автомобілів, дисків зчеплення, гільз циліндрів та інших деталей. Жароміцні леговані чавуни, такі як ЧНМШ, ЧНПГ7Х2Ш з кулястим графітом, зберігають працездатність при

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

температурах 500-600°C і використовуються для виготовлення деталей дизелів, компресорів та інших в умовах газового, повітряного та лужного середовищ.

Їх застосовують для виготовлення деталей вузлів тертя, що працюють при підвищених температурах, таких як поршневі кільця, блоки і головки циліндрів двигунів внутрішнього згорання, деталі дизелів, компресорів і багато іншого. Антифрикційні чавуни застосовуються як матеріали для підшипників, оскільки вони відповідають правилу Шарпі (тверда фаза в м'якій основі), і придатні для роботи в умовах тертя, наприклад, як підшипники ковзання. Для легування антифрикційних чавунів використовуються хром, мідь, нікель, титан. Згідно з ГОСТ 1585-85, існує шість марок антифрикційного сірого чавуну (АЧС-1 - АЧС-6) з пластинчастим графітом, дві марки високоміцного (АЧВ-1, АЧВ-2) і дві марки ковкого (АЧК-1, АЧК-2) чавунів. Цей стандарт регламентує хімічний склад, структуру, режими роботи, і містить рекомендації щодо використання антифрикційних чавунів. Розрізняють перлітні та перлітно-феритні антифрикційні чавуни. Антифрикційні чавуни з перлітною структурою (АЧС-1, АЧС-2) та перлітно-феритним (АЧС-3) використовуються при тиску в зоні контакту фрикційних пар до 50 МПа. Чавуни з кулястим графітом, такі як АЧВ-1 (з перлітною структурою) та АЧВ-2 (з перлітно-феритною структурою), застосовуються при високих навантаженнях (до 120 МПа).

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2. ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПОРШНІВ.

Для виготовлення поршнів ДВЗ переважно використовують алюмінієві сплави.

Алюмінієві сплави мають низьку щільність, що дозволяє зменшити масу поршня, і високу теплопровідність, що сприяє збереженню нижчих температур у деталях поршневої групи. Плюсом таких сплавів є малі значення коефіцієнта тертя у парі з чавунними гільзами циліндрів.

Однак поршням з алюмінієвих сплавів притаманні певні недоліки - низька міцність у втомі, яка різко зменшується при підвищенні температури, високий коефіцієнт лінійного розширення, менша, ніж у чавунних поршнів, зносостійкість, а також порівняно велика вартість.

Для виготовлення поршнів використовуються ливарні та кувальні сплави алюмінію з кремнієм - силуміни з вмістом кремнію від 11 до 14% (доевтектичні) та від 17 до 25% (заевтектичні).

Збільшення вмісту кремнію в сплаві призводить до зменшення коефіцієнта лінійного розширення, підвищення термо- і зносостійкості, але при цьому погіршуються його технологічні якості, зростає вартість виробництва.

Для покращення фізико-механічних властивостей силумінів використовуються різні легуючі добавки. Введення до сплаву до 6% міді підвищує втомну міцність, збільшує теплопровідність, покращує ливарні якості. Однак при цьому дещо знижується зносостійкість поршня. Використання як легуючі добавки натрію, азоту, фосфору збільшує зносостійкість сплаву. Легування нікелем,

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

хромом, магнієм підвищує жароміцність та зносостійкість.

Заготовки поршнів з алюмінієвих сплавів отримують шляхом виливки в кокіль або гарячим штампуванням. Першою операцією виготовлення заготівлі є отримання виливки. Перед заливкою металу всі внутрішні поверхні форми покривають фарбою, кокіль підігрівають до температури 220 ... 280°C. Після збирання кокіля (установка центрального стрижня, терморегулюючих пластин, вставки та стрижня-пальця) заливають сплав під тиском при температурі 730°C. На другій операції видаляється литникова система, і зачищаються задирки на опорній частині. Третя операція здійснюється на агрегатному верстаті – обробляється зовнішня поверхня, обрізається прибуток, знімаються фаски, проточується днище та контролюється маса заготівлі. На четвертій операції заготівля термообробляється для стабілізації структури металу та зняття внутрішніх напруг. Твердість матеріалу поршня становить 100 - 130 НВ.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

3. МАТЕРІАЛИ ПОРШНІВ

Найбільшого поширення набули для поршнів вітчизняних двигунів доевтектичні сплави Al25 та Al30. Вони добре обробляються різанням, мають гарні ливарні властивості і високу корозійну стійкість. Для швидкохідних форсованих двигунів, наприклад, ВАЗ, поршні виготовляють зі сплаву АК10М2Н, тобто з добавками міді та нікелю, що відрізняється більшою міцністю та жаростійкістю порівняно зі сплавами Al25 і Al30.

Для поршнів дизельних двигунів поширення знайшли заевтектичні алюмінієві сплави – АК15МН, АК18 – двигуни КамАЗ та ЯМЗ. Для деяких двигунів із повітряним охолодженням застосовуються сплави із вмістом кремнію до 25%. Для поршнів тихохідних двигунів застосовують чавун, що має більшу міцність та зносостійкість.

Таблиця 1 – Матеріали для виготовлення поршнів

АК12ММгН	Базовий сплав. АК12ММГН має оптимальним поєднанням таких властивостей, як зносостійкість і жароміцність, має високу теплопровідність
АК13М3МгН2	Сплав за своїми властивостями аналогічний АК12ММГН. Відрізняється підвищеним вмістом міді та нікелю. Поршень з даного виду сплаву має більшу міцність, термостійкість, стійкість до прогорання і підвищеною теплопровідністю.
АК13М5МгН2	Даний сплав має найбільшу міцність серед сплавів даного типу. За своїми властивостями метал аналогічний АК12ММГН, але на відміну від АК13М3МгН2 має більший вміст міді. Завдяки цьому поршні з даного сплаву

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ

Арк.

36

KS1275	Запатентований сплав німецького концерну Kolbenschmidt KS1275 застосовується при литті поршнів для бензинових та дизельних двигунів. Має високу теплопровідність,
KS1295	Збільшений вміст нікелю та міді в запатентованому компанією Kolbenschmidt сплаві KS1295 надає виробу найбільшої міцності та жаростійкості. Завдяки своїм властивостям поршні з цього виду сплаву витримують.
AK18	Базовий заевтектичний метал. Жаростійкий, має високу твердість. Завдяки зносостійкості оптимальний для виготовлення поршнів вантажних та тракторних дизельних двигунів. Має низький температурний коефіцієнт
AK21M3H1	Має всі позитивні властивості сплаву AK18. Завдяки збільшеному вмісту міді та нікелю відрізняється підвищеною міцністю та теплопровідністю. Низький коефіцієнт теплового розширення даного сплаву дозволяє зменшити тепловий зазор між поршнем і циліндром.

Евтектичний метал – це метал, у якому основний (алюміній) і легуючий (кремній) компоненти перебувають у рівновазі. Заевтектичний сплав – це сплав, склад якого має надлишок легуючого елемента порівняно зі складом евтектичного сплаву. Виливки поршнів піддаються спеціальній термічній обробці для зняття внутрішньої напруги, що робить матеріал поршня більш пластичним і пружним.

Механічна обробка поршнів здійснюється на автоматичних лініях, що забезпечує стабільність властивостей та параметрів, таких як форма зовнішньої

поверхні, камери згоряння і т. д., кожного окремо взятого поршня при великосерійному виробництві. На бічній поверхні поршнів за допомогою спеціальної механічної обробки створюється мікрорельєф, що знижує втрати на тертя між поршнем та циліндром і, як наслідок, збільшує довговічність і знижує витрату палива.

Поршні піддаються фосфатуванню, що підвищує твердість поверхні, збільшує її зносостійкість та корозійну стійкість. Хімічний склад матеріалів, які застосовуються у виробництві поршнів, наведено в «ДОДАТКУ А».

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

5. ТЕОРЕТИЧНА ОЦІНКА РЕСУРСУ СПОРУДЖЕННЯ

5.1. АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ

Як вихідні дані приймаємо:

- пара тертя: поршень - гільза циліндра (Алюмінієвий сплав – Чавун (спец. складу));
- різні механічні і теплофізичні властивості матеріалів;
- номінальна площа контакту $A_a = 1000 \text{ мм}^2$;
- масив середніх нормальних навантажень $N = 1000 \dots 5000 \text{ Н}$ із кроком 500 Н ;
- швидкість ковзання $= 9,8 \text{ м/с}$;
- загальна глибина зношування $H = 300 \text{ мкм}$;
- інші дані.

Таблиця 4. Різні властивості матеріалів та вихідні дані для пари тертя.

Параметр	Позначення	Матеріал		Розмірність
		Сплав	Чавун	
Коефіцієнт теплопровідності	λ	35	21	Вт/(м*К)
густина	ρ	2720	7500	кг*м ³
Питома теплоємність	c_p	900	469	Дж/(кг*К)
Модуль пружності	E	$0,69 * 10^5$	$0,9 * 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона	μ	0,36	0,29	
Твердість по Брінелю	HB	90	270	
Відношення висоти хвилі шорсткості до її кроку	a_w/L_w	$4 * 10^{-4}$	$4 * 10^{-4}$	
Межа міцності	σ_{BP}	186	330	МПа
Коефіцієнт акумуляції енергії	ρ_R	$0,4 * 10^{-5}$	$0,4 * 10^{-5}$	

5.2. ОЦІНКА ВИТРАТИ ПОТУЖНОСТІ НА ЗДІЙСНЕННЯ РОБОТИ ТРЕННЯ У СПОЛУКАХ

Параметри досліджуваних пар двигуна 4Ч 13/14:

Коефіцієнт тертя (для всіх режимів навантаження): 0,05

Номінальний тиск у парі: 0,4 МПа

Номінальна частота обертання колінчастого валу: 2100 хв⁻¹

Для оцінки окружної швидкості ковзання слід використовувати залежність:

$$V = 2\pi \cdot n \cdot R_{\text{п.п.}} = 9,8 \text{ м/с}$$

Середнє нормальне навантаження в поєднанні може бути визначено з співвідношення тиску в поєднанні та номінальній площі контакту.

Сила N діюча перпендикулярно осі циліндра, називається нормальною силою та сприймається стінками циліндра:

$$N = P_{\Sigma} \cdot \text{tg}\beta, \text{ кН};$$

$$N = 11,949 \cdot (-0,089) = -1,0635 \text{ кН.}$$

$$N_{\min} = -2,697 \text{ кН, при } \alpha = 240^{\circ} \text{ ПКВ}$$

$$N_{\max} = 5,109 \text{ кН, при } \alpha = 380^{\circ} \text{ ПКВ}$$

Нормальна сила N вважається позитивною, якщо створюваний нею момент щодо осі колінчастого валу спрямований протилежно напрямку обертання валу двигуна.

На підставі динамічного розрахунку (ДОДАТОК Б) маємо:

$$N = p_e \cdot F_{\text{п}} = 1 \text{ кН}$$

Робота тертя, віднесена до часу контактної взаємодії, тобто. до часу ковзання тіл тертя, формує потужність тертя:

$$N_T = f \cdot N \cdot V = 490 \text{ Вт}$$

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

V, м\с	f	N _T , Вт	N, Н
9,8	0,05	490	1000
9,8	0,05	735	1500
9,8	0,05	980	2000
9,8	0,05	1225	2500
9,8	0,05	1470	3000
9,8	0,05	1715	3500
9,8	0,05	1960	4000
9,8	0,05	2205	4500
9,8	0,05	2450	5000

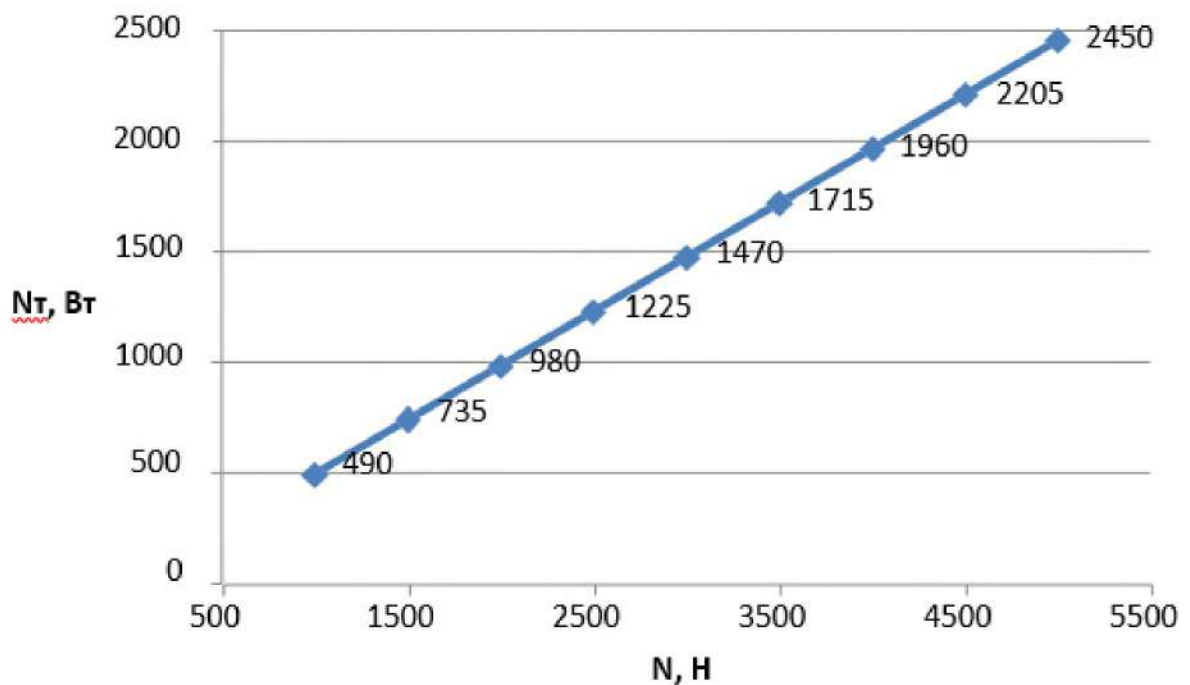


Рис. 5. Графік залежності потужності тертя від середнього нормального навантаження.

5.3 ПОБУДУВАННЯ ОПОРНОЇ КРИВОЇ

Опорна крива дозволяє виявити розподіл металу в поверхневому шарі з урахуванням шорсткості і визначити показники опорної кривої і b, використовувані для оцінки співвідношення площ.

Показники опорної кривої визначаються за двома точками, вибраними на умовно прямої частини графіка.

Координати точок 1 та 2 зведені в таблицю 5.

Таблиця 5 – Координати точок 1 та 2

№ точки	t_p	ε
1	0,2	0,35
2	0,75	0,8

Коефіцієнти v і b визначаються за формулами:

$$v = \frac{\lg(t_{p_1}) - \lg(t_{p_2})}{\lg(\varepsilon_1) - \lg(\varepsilon_2)},$$

де t_p, ε – координати відповідних точок (таблиця 5).

$$v = \frac{\lg 0,2 - \lg 0,75}{\lg 0,35 - \lg 0,8} = 1,66.$$

$$\lg b = 0,5 \cdot [(\lg(t_{p_1}) + \lg(t_{p_2})) - v(\lg(\varepsilon_1) + \lg(\varepsilon_2))];$$

$$\lg b = 0,5 \cdot [(\lg 0,32 + \lg 0,75) - 1,66 \cdot (\lg 0,35 + \lg 0,8)] = 0,05;$$

$$b = 1,1.$$

5.4 ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРУ КОНТАКТУВАННЯ, КОНТУРНОГО ТИСКУ І ПЛОЩІ

Комплекс шорсткості для одиничного профілю поверхні визначається за формулою:

$$\Delta = \frac{R_{max}}{R \cdot b^v}$$

де $R_{max} = 7,5$ мкм – висота профілю;

R – середній радіус мікронерівностей, $R = 20$ мкм.

$$\Delta = \frac{7,5}{20 \cdot 1,1^{1,66}} \approx 0,36.$$

З метою оцінки співвідношення між номінальною та фактичною площею контактування, слід визначити контурний та фактичний тиск, залежно від виду контактування:

$$A \leq P_c < B,$$

де P_c – контурний тиск контакту, МПа;

$$A = 5,4 \cdot \frac{(1-\mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} \quad \text{— межа пружного контакту;}$$

$$B = 14,5 \cdot \frac{(1-\mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} \quad \text{— межа пластичного контакту.}$$

$$P_c = 1,87 \cdot E^{0,5} \cdot \left(\frac{a_\omega}{L_\omega}\right)^{0,5} \cdot P_a^{0,5},$$

де $a_\omega/L_\omega = 4 \cdot 10^{-4}$ – ставлення хвилі шорсткості до її кроку.

Вид контактування:

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- $P_c < A$ - Пружне контактування;
- $B \geq P_c$ - Пластичне контактування;
- $A \leq P_c < B$ - Пружно-пластичне контактування.

Розрахунки будемо проводити для деформованого матеріалу. У цьому випадку таким матеріалом є алюміній.

Відносне зближення поверхонь ϵ знаходиться за формулою:

$$\epsilon = \left[\frac{4,2 \cdot P_c \cdot (1 - \mu^2)}{\Delta^{0,5} \cdot E} \right]^{\frac{2}{3}}$$

Фактичний тиск у пружній зоні контакту визначається за формулою:

$$P_r = 0,28 \cdot E^{\frac{6}{7}} \cdot \left(\frac{R_{max}}{R} \right)^{\frac{3}{7}} \cdot P_c^{\frac{1}{7}}$$

Фактичний тиск у пластичній зоні контакту визначається за формулою:

$$P_r = HB \cdot 10.$$

Фактичну площу контакту знайдемо виходячи з рівності нормального навантаження:

$$N = P_a \cdot A_a = P_r \cdot A_r \rightarrow A_r = \frac{P_a \cdot A_a}{P_r}$$

Результати всіх розрахунків зводяться до таблиці 6.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Таблиця 6. Розрахунок поршня (Алюміній АЛ 25)

№ п/п	P_a , МПа	N , Н	P_c , МПа	Вид контакту	P_r , МПа	A_r , мм ²	A_d/A_r
1	1	1000	9,84	Пластичний	90	11,11	90
2	1,5	1500	12,05		90	16,67	60
3	2	2000	13,91		90	22,22	45
4	2,5	2500	15,55		90	27,78	36
5	3	3000	17,04		90	33,33	30
6	3,5	3500	18,40		90	38,89	25,7
7	4	4000	19,67		90	44,44	22,5
8	4,5	4500	20,87		90	50,00	20
9	5	5000	21,99		90	55,56	18

5.5 ОЦІНКА РЕСУРСУ СПРЯЖЕННЯ

Ресурс сполучення визначається тривалістю його фактичної роботи.

Зношування - це процес зміни геометричних параметрів трибосполучення, фізико-механічних характеристик його компонентів або експлуатаційних властивостей під час роботи.

Однією з основних характеристик зношування є його інтенсивність. Ресурс роботи:

$$t = \frac{h}{I_h \cdot v'}$$

де h - Глибина зношеного шару, м;

I_h - Лінійна інтенсивність зношування.

$$I_h = \frac{f \cdot P_a}{\left[\frac{\sigma_{вп}^2 \cdot \sigma^2}{2 \cdot E} \right]} \cdot \rho_R^2,$$

де $\rho_R = 3 \cdot 10^{-6}$ - коефіцієнт акумуляції енергії.

Сумарний знос сполучення:

$$H = h_1 + h_2; H = 300 \text{ мкм.}$$

Припускаємо співвідношення глибин зношених верств рівним співвідношенню лінійних інтегральних інтенсивностей зношування. Отже:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{I_{h1}}{I_{h2}}$$

У зоні контакту $\sigma = P_r$.

Результати розрахунків зводяться до таблиць 7 і 8.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

Таблиця 7. Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра. (Чугун спец. складу)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	146	36500
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	146	24333,33
3	2	270	2000	0,05	8E-10	146	18250
4	2,5	270	2500	0,05	1E-09	146	14600
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	146	12166,67
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	146	10428,57
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	146	9125
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	146	8111,11
9	5	270	5000	0,05	2E-09	146	7300

Таблиця 8. Розрахунок ресурсу сполучення для поршня (АЛ 25)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	90	2000	0,05	4,16667E-10	154	36500
2	1,5	90	2500	0,05	6,25E-10	154	24333,33
3	2	90	3000	0,05	8,33333E-10	154	18250
4	2,5	90	3500	0,05	1,04167E-09	154	14600
5	3	90	4000	0,05	1,25E-09	154	12166,67
6	3,5	90	4500	0,05	1,45833E-09	154	10428,57
7	4	90	4000	0,05	1,66667E-09	154	9125
8	4,5	90	4500	0,05	1,875E-09	154	8111,11
9	5	90	5000	0,05	2,08333E-09	154	7300

Таблиця 9. Розрахунок ресурсу сполучення для циліндра (Чугун спец. складу)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	151	37786,52
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	151	25191,01
3	2	270	2000	0,05	8E-10	151	18893,26
4	2,5	270	2500	0,05	1E-08	151	15114,61
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	151	12595,51
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	151	10796,15
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	151	9446,63
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	151	8397,00
9	5	270	5000	0,05	2E-08	151	7770,30

Таблиця 10. Розрахунок ресурсу сполучення для поршня (АК21М2,5Н2,)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	100	1000	0,05	3,93E-10	149	37786,51
2	1,5	100	1500	0,05	5,90E-10	149	25191,01
3	2	100	2000	0,05	7,87E-10	149	18893,25
4	2,5	100	2500	0,05	9,84E-10	149	15114,60
5	3	100	3000	0,05	1,18E-09	149	12595,50
6	3,5	100	3500	0,05	1,37E-09	149	10796,14
7	4	100	4000	0,05	1,57E-09	149	9446,62
8	4,5	100	4500	0,05	1,77E-09	149	8397,00
9	5	100	5000	0,05	1,96E-09	149	7770,30

Таблиця 11. Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра (Чугун спец.складу)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	165	41234,40
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	165	27489,60
3	2	270	2000	0,05	8E-10	165	20617,20
4	2,5	270	2500	0,05	1E-08	165	16493,76
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	165	13744,80
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	165	11781,25
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	165	10308,60
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	165	9163,20
9	5	270	5000	0,05	2E-08	165	8090,88

Таблиця 12. Розрахунок ресурсу сполучення для поршня (АМг4К1,5М)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	104	1000	0,05	3,27E-10	135	41234,40
2	1,5	104	1500	0,05	4,91E-10	135	27489,60
3	2	104	2000	0,05	6,55E-10	135	20617,20
4	2,5	104	2500	0,05	8,18E-10	135	16493,76
5	3	104	3000	0,05	9,82E-10	135	13744,80
6	3,5	104	3500	0,05	1,14E-09	135	11781,25
7	4	104	4000	0,05	1,31E-09	135	10308,60
8	4,5	104	4500	0,05	1,47E-09	135	9163,20
9	5	104	5000	0,05	1,63E-09	135	8090,88

Таблиця 13. Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра (Чугун спец. складу)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N, H	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	170	42605,63
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	170	28403,75
3	2	270	2000	0,05	8E-10	170	21302,81
4	2,5	270	2500	0,05	1E-08	170	17042,25
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	170	14201,87
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	170	12173,03
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	170	10651,40
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	170	9467,91
9	5	270	5000	0,05	2E-08	170	8521,12

Таблиця 14. Розрахунок ресурсу сполучення для поршня (АК8МЗч)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N, H	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	110	1000	0,05	3,04E-10	129	42605,63
2	1,5	110	1500	0,05	4,56E-10	129	28403,75
3	2	110	2000	0,05	6,08E-10	129	21302,81
4	2,5	110	2500	0,05	7,60E-10	129	17042,25
5	3	110	3000	0,05	9,12E-10	129	14201,87
6	3,5	110	3500	0,05	1,06E-09	129	12173,03
7	4	110	4000	0,05	1,21E-09	129	10651,40
8	4,5	110	4500	0,05	1,36E-09	129	9467,91
9	5	110	5000	0,05	1,52E-09	129	8521,12

Таблиця 15. Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра (Чугун спец. складу)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	178	44747,90
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	178	29831,93
3	2	270	2000	0,05	8E-10	178	22373,95
4	2,5	270	2500	0,05	1E-08	178	17899,16
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	178	14915,97
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	178	12785,11
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	178	11186,97
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	178	9943,98
9	5	270	5000	0,05	2E-08	178	8949,58

Таблиця 16. Розрахунок ресурсу пари для поршня (АМ4,5Кд)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	120	1000	0,05	2,70E-10	121	44747,90
2	1,5	120	1500	0,05	4,05E-10	121	29831,93
3	2	120	2000	0,05	5,40E-10	121	22373,95
4	2,5	120	2500	0,05	6,76E-10	121	17899,16
5	3	120	3000	0,05	8,11E-10	121	14915,97
6	3,5	120	3500	0,05	9,46E-10	121	12785,11
7	4	120	4000	0,05	1,08E-09	121	11186,97
8	4,5	120	4500	0,05	1,21E-09	121	9943,98
9	5	120	5000	0,05	1,35E-09	121	8949,58

Змн.	Арк.	№ докум.	Гідпис	Дата

ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ

Арк.

65

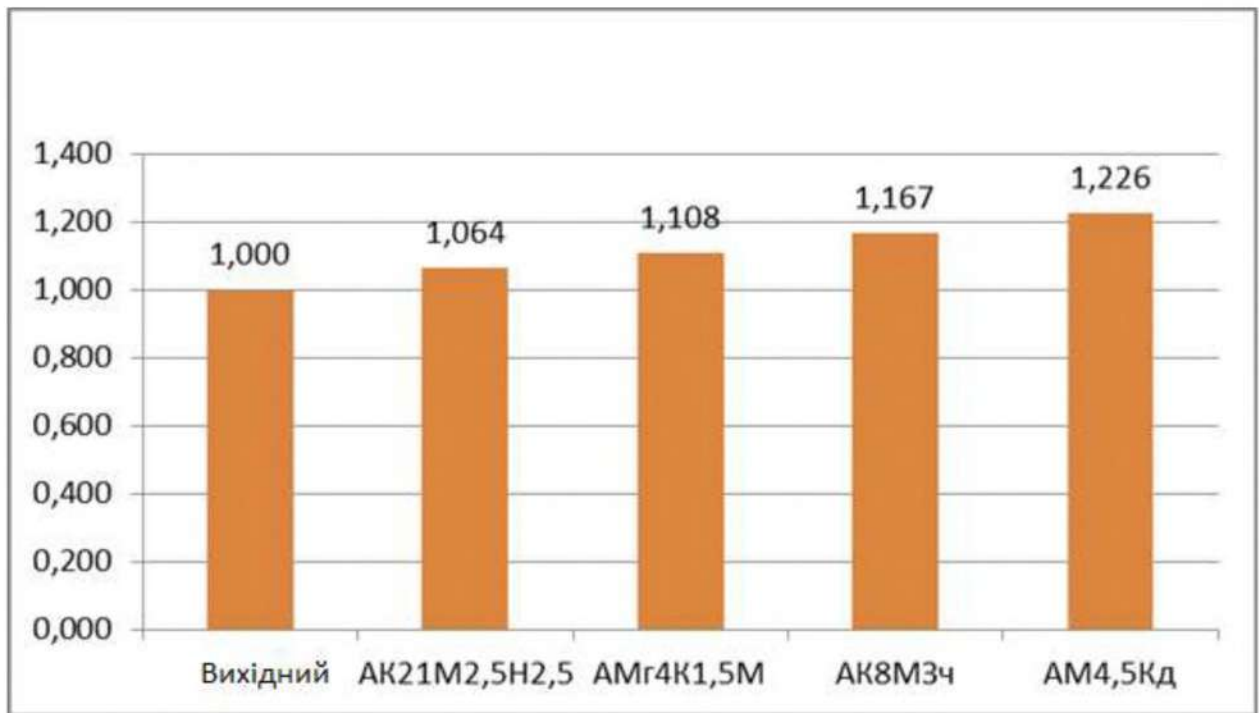


Рис. 5. Графік ресурсу сполучення щодо вихідного матеріалу поршня.

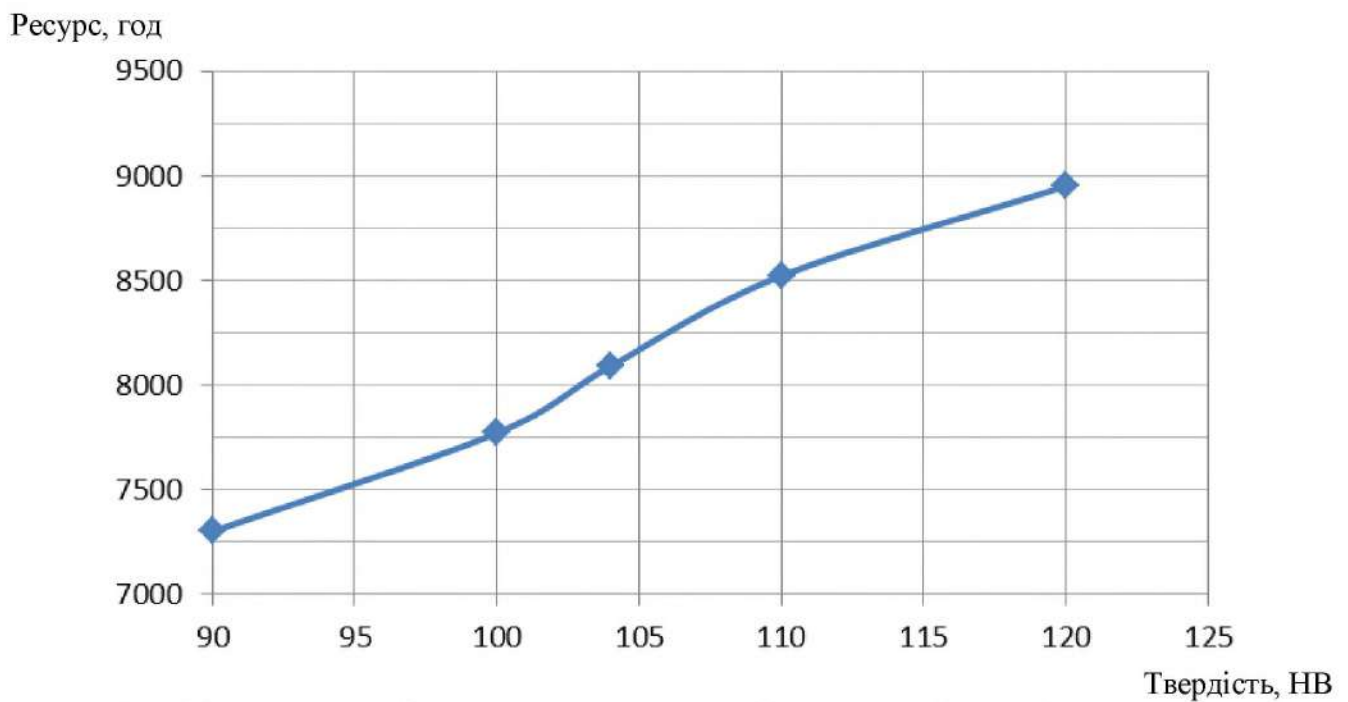


Рис. 6. Графік залежності ресурсу сполучення від твердості матеріалу поршня.

6 АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

За результатами розрахунків було побудовано графік ресурсу сполучення щодо вихідного матеріалу поршня та графік залежності ресурсу сполучення від твердості матеріалу поршня.

При збільшенні твердості матеріалу поршня з НВ=90 од., як у вихідного зразка, до НВ=100од. у сплаву АК21М2,5Н2,5 спостерігається підвищення ресурсу на 6,4%. Розглядаючи матеріал поршня АМг4К1,5М із твердістю НВ=104 од., приріст ресурсу сполучення становить до 10,8%. Сплав АК8М3ч, що використовується при розрахунках поршня, має твердість НВ=110 од. у свою чергу, підвищує ресурс на 16,7%. Останній із розглянутих зразків, АМ4,5Кд із твердістю НВ=120 од. збільшує ресурс сполучення на 22,6%.

Механічні властивості матеріалу циліндра гільзи при проведенні дослідження не змінювалися, для отримання більш точних результатів залежності ресурсу сполучення.

В роботі досліджувалась залежність ресурсу сполучення «поршень – гільза циліндра» від твердості матеріалу поршня і, отже, оптимальним варіантом матеріалу поршня двигуна є алюмінієвий сплав марки АМ4,5Кд із твердістю НВ 120 од.

Зміна твердості на 30 одиниць по Брінеллю не спричинить зміни технологічного процесу виробництва поршнів, отже, і не вимагає за собою впровадження модернізованого обладнання

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Бобровицький, В. І., Сидоров, В. А. Механічне обладнання: технічне обслуговування та ремонт. - Донецьк: Південний Схід, 2011. - 238 с.
2. Методи поверхневого зміцнення у процесі виготовлення деталей машин: навчальний посібник / [А.Г. Фесенкота ін.]; Дніпропетровський національний університет ім. Олеся Гончара. – Дніпропетровськ: РВВ ДНУ, 2015. – 103 с.
3. В.І. Пожуєв, В.І. Іващенко, І.Ф. Червоний, В.П. Грицай. Металургія кольорових металів. Підручник. 4.1 / Під ред. докт. техн. наук, професора Червоного.
4. Деркач Ф. А. Хімія. — Л. 1968.
5. Зюзькевич С.А. Очищення деталей від жирових забруднень перед нанесенням гальванічних покриттів // Світ гальваніки. № 1, 2007, с. 34.
6. Мохорт А. В. Термічна обробка металів. / А. В. Мохорт, М. Г. Чумак // К. : Либідь, 2002. – 512 с.
7. Гріліхес С.Я. Знежирення, травлення та полірування металів. Л.: Машинобудування. 1983, 101с.
8. Вансовская К.М. Металеві покриття, нанесені хімічним способом. Л.: Машинобудування, 1985, 103с.
9. В.В. Скорчеллетті. Теоретичні основи корозії металів. Л.:Хімія, 1973, 264 с.
10. Antony K. C. Wear resistant cobalt-base alloys // J. Metals. – 1983. – V. 35. – №2. – P. 52–60.
11. А.А. Герасименко, В.І. Микитюк. Визначення параметрів електрохімічних процесів осадження покриттів. 1980, 111 с.
12. Ю.Д. Гамбург. Гальванічні покриття. Довідник по застосуванню. М.: Техносфера. 2006, 216 с.
13. А.М. Ямпільський, В.А. Ільїн. Короткий довідник гальванотехніка. Л.: Машинобудування. 1972, 269 с.

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

14. Патент США N 3822146, кл. В 05 В 13/06, 1974.
15. А.М. Ямпільський, В.А. Ільїн.Короткий довідник гальванотехніка. Л.: Машинобудування. 1972, 269 с.
16. А.М. Ямпільський. Міднення та нікелювання. Л.: Машинобудування. 1971, 136с.
17. Choong-Nyeon Park, Min-Ho Chang. Діяльність нікелевих тверджень на властивості металів hydride electrodes // J. of Alloys and compounds. 1995. № 231, pp. 846-851.
18. A. Turonova, M. Galova, L. Lux, M. Gal. Електрохімічні процеси під час пофарбування статей за Ni і Ni / Cu coating в fluidized bed // J. Solid State Elektrochem. 2001 №5, pp. 502-506.
19. Розовський Г І, Вяшкаліс А. І. Хімічне міднення. Вільнюс, РІНТІП, 1966. 60 с.
20. Yu Xingwen, Cao Chunan etc. Study double layer rare earth metal conversion coating on aluminum alloy LY12 // Corrosion Science. 2001 №43, pp. 1283-1294.
21. Zum Gahr K.-H. Microstructure and wear of materials. – Amsterdam : Elsevier, 1987. – 560 p.
22. Wang Y.-L. An analysis of the influence of plastic indentation on three-body abrasive wear of metals / Y.-L. Wang, Z.-S. Wang // Wear, 1988. – V.122. – N2. – P.123–133.
23. Beckmann G., Gotzmann J. Analytische Betrachtung zum Strahleverschleis von Metall // Schmierungstechnik. – 1979. – V.10. – N4. – S.104–107.
24. Spurr R.T. The nature of contact during abrasion // Wear. – 1981. – V.67. – N3. – P.375–379.
25. Torrance A. A. An explanation of the hardness differential needed for abrasion // Wear. – 1981. – V.68. – N2. – P.263–266.
26. Rohrig K. Abrasionsbestandige Eisenguswerkstoffe. – VDI-Z. – 1962. – 124. – N5. – P. 11–14, 17–20, 23–24.

27. Kassim S. Al-Rubaie. Equivalent hardness concept and two-body abrasion of iron-base alloys // *Wear*. – 2000. – V.243. – 1-2. – P. 92–100.

ДОДАТКИ

					ДРМТВАТАМ 24. 21171.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

**Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства**

Тема:

**Підвищення зносостійкості поршнів дизельних двигунів
підбором раціональних матеріалів**

Спеціальність 132 – «Матеріалознавство»

Студент групи МТВАс -21-2

Владислав ПОДОЛЯ

КОНСТРУКЦІЯ ПОРШНЯ



Ущільнююча частина поршня



Ущільнююча частина поршня

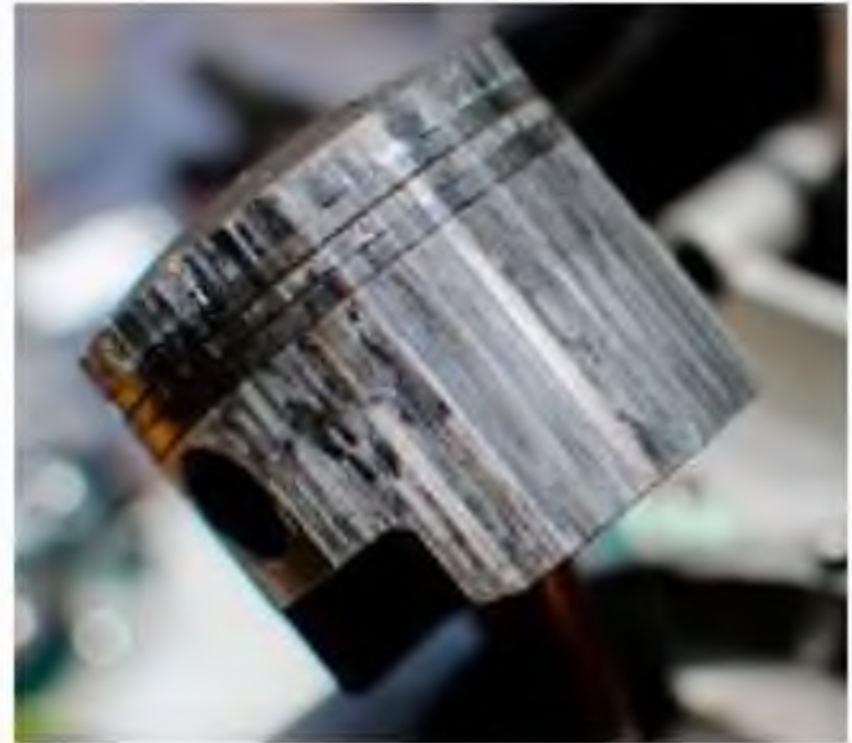


Ущільнююча частина поршня з отворами

Пошкодження поршнів



Тріщина та сліди ударів на днищі поршня



Знос поверхні

Матеріали для досліджень.

Хімічний склад

Марка сплаву	Вміст компонентів, %					
	магній	кремній	марганець	мідь	титан	нікель
AK21M2,5H2,5	0,2-0,5	20-22	0,2-0,4	2,2-3	0,1-0,3	2,2-2,8
AMГ4К1,5М	4,5-5,2	1,3-1,7	0,6-0,9	0,7-1	0,1-0,2	0,003Be
AK8M3ч	0,2-0,4	7-8,5	0,75Zn	2,5-3,5	0,1-0,25	0,005 В -0,1
AM4,5Кд	-	-	0,35-0,8	4,5-5,1	0,15-0,35	0,07-0,25Cd

Механічні властивості

Марка сплаву	Межа міцності	Твердість HB
AK21M2,5H2,5	157-186	90-100
AMГ4К1,5М	211-265	90-104
AK8M3ч	215-392	90-110
AM4,5Кд	294-490	90-120

Вихідні дані для розрахунку

- пара тертя: поршень - гільза циліндра (Алюмінієвий сплав – Чавун);
- номінальна площа контакту $A = 1000 \text{ мм}^2$;
- масив середніх нормальних навантажень $N = 1000 \dots 5000 \text{ Н}$ із кроком 500 Н ;
- швидкість ковзання $= 9,8 \text{ м/с}$;
- загальна глибина зношування $H = 300 \text{ мкм}$;
- коефіцієнт тертя (для всіх режимів навантаження): $0,05$
- номінальний тиск у парі: $0,4 \text{ МПа}$
- номінальна частота обертання колінчастого валу: 2100 хв^{-1}
- довідникові дані;
- різні механічні і теплофізичні властивості матеріалів:

Параметр	Позначення	Матеріал		Розмірність
		Сплав	Чавун	
Коефіцієнт теплопровідності	λ	35	21	Вт/(м*К)
густина	ρ	2720	7500	кг*м ³
Питома теплоємність	c_p	900	469	Дж/(кг*К)
Модуль пружності	E	$0,69 * 10^5$	$0,9 * 10^5$	МПа
Коефіцієнт Пуассона	μ	0,36	0,29	
Твердість по Брінеллю	HB	90	270	
Відношення висоти хвилі шорсткості до її кроку	a_w/L_w	$4 * 10^{-4}$	$4 * 10^{-4}$	
Межа міцності	σ_{BP}	186	330	МПа
Коефіцієнт акумуляції	ρ_R	$0,4 * 10^{-5}$	$0,4 * 10^{-5}$	

Основні формули для розрахунків

$$\varepsilon = \left[\frac{4,2 \cdot P_c \cdot (1 - \mu^2)}{\Delta^{0,5} \cdot E} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot \text{відносне зближення}$$

$$A = 5,4 \cdot \frac{(1 - \mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} \text{ — межа пружного контакту;}$$

$$B = 14,5 \cdot \frac{(1 - \mu^2)^4 \cdot HB^5}{\Delta^2 \cdot E^4} \text{ - межа пластичного контакту.}$$

$$P_c = 1,87 \cdot E^{0,5} \cdot \left(\frac{a_\omega}{L_\omega} \right)^{0,5} \cdot P_a^{0,5}, \text{ контурний тиск контакту}$$

$$Pr = HB \cdot 10.$$

фактичний тиск в пластичній зоні

$$P_r = 0,28 \cdot E^{\frac{6}{7}} \cdot \left(\frac{R_{max}}{R} \right)^{\frac{3}{7}} \cdot P_c^{\frac{1}{7}}.$$

фактичний тиск у пружній зоні

$$I_h = \frac{f \cdot P_a}{\left[\frac{\sigma_{вп}^2 \cdot \sigma^2}{2 \cdot E} \right]} \cdot \rho_R^2,$$

інтенсивність зношування

$$t = \frac{h}{I_h \cdot v}, \text{ ресурс роботи}$$

Розрахунки

Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра.
(Чавун)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	146	36500
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	146	24333,33
3	2	270	2000	0,05	8E-10	146	18250
4	2,5	270	2500	0,05	1E-09	146	14600
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	146	12166,67
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	146	10428,57
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	146	9125
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	146	8111,11
9	5	270	5000	0,05	2E-09	146	7300

Розрахунок ресурсу сполучення для поршня (АЛ 25)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	90	2000	0,05	4,16667E-10	154	36500
2	1,5	90	2500	0,05	6,25E-10	154	24333,33
3	2	90	3000	0,05	8,33333E-10	154	18250
4	2,5	90	3500	0,05	1,04167E-09	154	14600
5	3	90	4000	0,05	1,25E-09	154	12166,67
6	3,5	90	4500	0,05	1,45833E-09	154	10428,57
7	4	90	4000	0,05	1,66667E-09	154	9125
8	4,5	90	4500	0,05	1,875E-09	154	8111,11
9	5	90	5000	0,05	2,08333E-09	154	7300

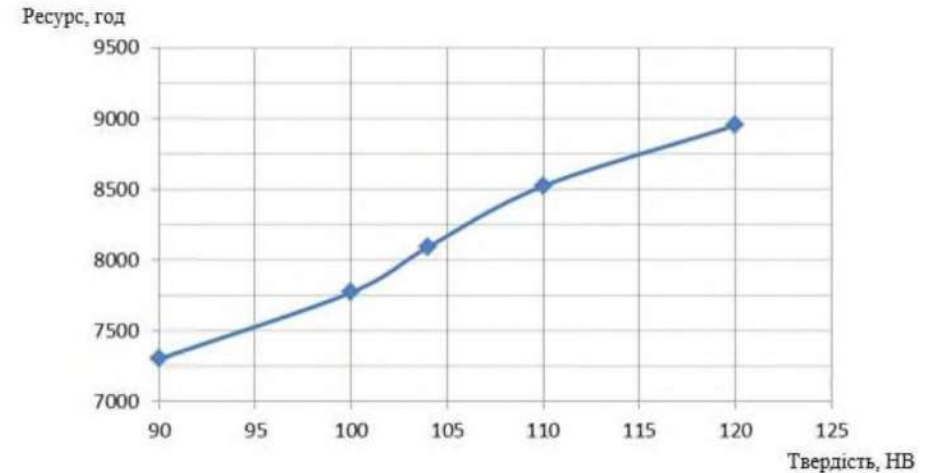
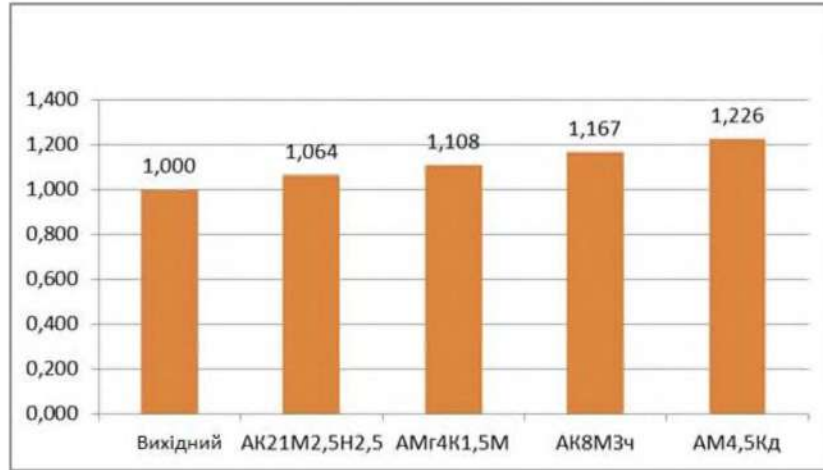
Розрахунок ресурсу сполучення для гільзи циліндра
(Чавун)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	270	1000	0,05	4E-10	178	44747,90
2	1,5	270	1500	0,05	6E-10	178	29831,93
3	2	270	2000	0,05	8E-10	178	22373,95
4	2,5	270	2500	0,05	1E-08	178	17899,16
5	3	270	3000	0,05	1,2E-09	178	14915,97
6	3,5	270	3500	0,05	1,4E-09	178	12785,11
7	4	270	4000	0,05	1,6E-09	178	11186,97
8	4,5	270	4500	0,05	1,8E-09	178	9943,98
9	5	270	5000	0,05	2E-08	178	8949,58

Розрахунок ресурсу пари для поршня (АМ4,5Кд)

№п/п	P_a , МПа	P_r , МПа	N , Н	f	I_h , м/м	h , мкм	t , год
1	1	120	1000	0,05	2,70E-10	121	44747,90
2	1,5	120	1500	0,05	4,05E-10	121	29831,93
3	2	120	2000	0,05	5,40E-10	121	22373,95
4	2,5	120	2500	0,05	6,76E-10	121	17899,16
5	3	120	3000	0,05	8,11E-10	121	14915,97
6	3,5	120	3500	0,05	9,46E-10	121	12785,11
7	4	120	4000	0,05	1,08E-09	121	11186,97
8	4,5	120	4500	0,05	1,21E-09	121	9943,98
9	5	120	5000	0,05	1,35E-09	121	8949,58

ВИСНОВКИ



Графік ресурсу спряження щодо вихідного матеріалу поршня та залежності ресурсу сполучення від твердості матеріалу поршня

1. В роботі досліджувалась залежність ресурсу сполучення «поршень – гільза циліндра» від твердості матеріалу поршня і, отже, оптимальним варіантом матеріалу поршня двигуна є алюмінієвий сплав марки АМ4,5Кд із твердістю НВ 120 од. Механічні властивості матеріалу циліндра гільзи при проведенні дослідження не змінювалися, для отримання більш точних результатів залежності ресурсу спряження

2. При збільшенні твердості матеріалу поршня з НВ=90 од., як у вихідного зразка, до НВ=100од. у сплаву АК21М2,5Н2,5 спостерігається підвищення ресурсу на 6,4%. Зразок, АМ4,5Кд із твердістю НВ=120 од. збільшує ресурс спряження на 22,6%.

Дякую за увагу