

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: **«Розробка технології термічної обробки поршнів двигуна
автомобіля з вибором матеріалу»**

Шифр **ДРМТВА 24. 21141.000 ПЗ**

Виконав: студент 3-го курсу,
група МТВАс-21-2


Підпис

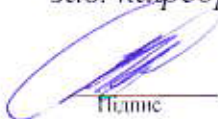
Роман ГНАП
Ім'я, прізвище

Керівник к.т.н., доц. каф ТАМ.


Підпис

Сергій ПОСОНСЬКИЙ
Ім'я, прізвище

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


Підпис

Олександр ДИХА
Ім'я, прізвище

4 06 2024 р.

Хмельницький, 2024

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра трибології, автомобілів та матеріалознавства

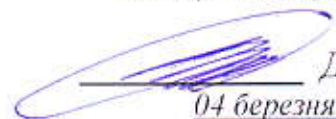
Освітній рівень бакалавр

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

Гіану Роману Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові

1. Тема роботи: *Розробка технології термічної обробки поршнів двигуна автомобіля з вибором матеріалу.*

керівник роботи: *Посонський Сергій Феліксович, 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 проєкту (роботи) на кафедру 12.06.2024 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) *Матеріали курсових робіт та проєктів.*

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

- 1) Аналіз конструкції та умов роботи поршнів ДВЗ.*
- 2) Вибір матеріалів та методи виготовлення поршнів ДВЗ.*
- 3) Планування термічної діляниці.*

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	Аналіз конструкції та умов роботи поршнів ДВЗ.	4.04.2024	вик
2	Вибір матеріалів та методи виготовлення поршнів ДВЗ.	18.05.2024	вик
3	Планування термічної ділянки.	25.05.2024	вик
4	Оформлення роботи	6.06.2024	вик
5	Захист роботи	12.06.2024	

Студент


Підпис

Р.О. Гнат
Ініціали, прізвище




Керівник роботи


Підпис

С.Ф. Посонський
Ініціали, прізвище

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ РОБОТИ ПОРШНІВ ДВЗ	7
1.1 Службове призначення поршня та аналіз за технічною вимогою	7
1.2 Конструктивні особливості поршнів ДВЗ.	7
1.3 Технологічні та експлуатаційні вимоги до поршня ДВЗ.	12
1.4 Динаміка поршня двигуна внутрішнього згорання.	14
РОЗДІЛ 2. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРШНІВ ДВЗ	28
2.1 Матеріали поршнів ДВЗ.	28
2.2 Технології виготовлення поршнів.	40
2.3 Термічна обробка поршня.	43
2.3.1 Гартування алюмінієвих сплавів.	43
2.3.2 Вибір охолоджуючого середовища при загартуванні.	45
2.3.3 Прожарювання.	46
2.4 Старіння матеріалу.	46
2.5 Обґрунтування та розрахунок режимів термічної обробки поршнів.	52
2.6 Нанесення покриття.	56
РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ	60
3.1. Характеристика заданого виробництва.	60
3.2 Розрахунок та вибір потрібної кількості обладнання.	61
3.3 Устаткування для термічної обробки.	62
3.4 Обладнання для фосфатування.	64
3.5 Обладнання для загально цехових підйомно-транспортних робіт.	71
3.6 Планування та загальна площа ділянки.	73
ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТКИ	78

ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ								
Зм	Арк	№ Докум.	Підпис	Дата	Розробка технології термічної обробки поршнів двигуна автомобіля з вибором матеріалу	Літера	Аркшл	Аркушів
Виконав		Гнап						
Перевір.		Посонський					4	78
І.контр. І.атвер.		Бабак Духа				МТВАс-21-2		

ВСТУП

Актуальність теми. Для розвитку виробництва машинобудівної галузі важливою проблемою залишається пошук і розробка найбільш прогресивних способів, що дозволяють випуск конкурентоспроможної продукції період ринкової економіки. Науково-технічна революція викликає переозброєння всіх галузей промисловості та, в першу чергу, машинобудування та приладобудування.

У зв'язку з бурхливим розвитком автомобільної та авіаційної промисловості виник попит у розробці та одержанні нових конструкційних матеріалів, що застосовуються для виготовлення вузлів та механізмів ДВЗ. З'явилася потреба у вдосконаленні робочого процесу деталі, оптимізації вимог: технологічних, економічних та експлуатаційних, умов роботи. Тому одним із актуальних завдань транспортної промисловості є покращення потужнісних, економічних та екологічних показників двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ).

Підвищення швидкості автомобіля, збільшення габаритів машини значно посилюють вимоги до якості поршнів, до показників їхньої міцності, довговічності та точності виготовлення.

У вирішенні цих важливих завдань велика роль відводиться термічній обробці як одному з ефективних та економічних методів зміцнення металів та сплавів. Термічна обробка - найпоширеніший у сучасній техніці спосіб зміни властивостей металів та сплавів. Термообробку застосовують як проміжну операцію для поліпшення технологічних властивостей (оброблюваності тиском, різанням тощо) та як остаточну операцію для надання металу або сплаву такого комплексу механічних, фізичних та хімічних властивостей, який забезпечує необхідні експлуатаційні характеристики виробу.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Мета дипломної роботи полягає у виборі сплаву, який буде відповідати всім вимогам до поршня, вибрати технологію виготовлення, розробити термічну обробку деталі, для поліпшення властивостей сплаву та спроектувати заготівельно-термічний ділянку з виготовлення поршня двигуна внутрішнього згорання.

Завданням дипломної роботи:

- Виконати аналіз конструкції та умов роботи поршня;
- Аналізувати властивості чавуну та алюмінієвих сплавів, що застосовуються у виробництві поршнів для автомобілів;
- Обрати матеріал поршнів та обґрунтувати його якості;
- Розрахувати технологічний режим термічної обробки поршнів;
- Виконати планування ділянки для термічної обробки з призначенням необхідного обладнання.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ТА УМОВ РОБОТИ ПОРШНІВ ДВЗ

1.1 Службове призначення поршня та аналіз за технічною вимогою

Поршень — деталь циліндричної форми, яка здійснює зворотно-поступальний рух усередині циліндра і служить для перетворення зміни тиску газу, пари або рідини на механічну роботу, або навпаки — зворотно-поступального руху на зміну тиску. Поршень ДВЗ призначений для сприйняття тиску газів, передачі зусилля шатуну та створення змінного надпоршневого об'єму. При цьому він ущільнює надпоршневий об'єм, передає бічне навантаження на циліндр, забезпечує відведення теплоти в стінку циліндра (охолодному середовищі) та в моторне масло [1]. Поршень входить до складу поршневої групи, в яку також входять кільця поршневі (компресійні і маслоснімні), поршневий палець і елементи, які обмежують його осьові переміщення. Надійність поршневої групи має важливе значення, оскільки визначає надійність всього двигуна.

1.2 Конструктивні особливості поршнів ДВЗ.

Складне взаєморозташування конструкцій поршня, що швидко змінюються по величині на його елементи, призводять до нерівномірного розподілу температур за його обсягом і, як наслідок, до значних змінних за часом локальних термічних напружень та деформацій [2].

Розглянемо конструктивні елементи поршня (рис. 1.1), які дозволять глибше зрозуміти складність завдань, що стоять перед виробниками. Головка поршня - це верхня частина, яка включає днище 18 і зону канавок 1, 2 під поршневі кільця. Разом з головкою циліндра днище поршня утворює камеру згоряння 16. Днище поршня сприймає тиск газів,

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що розвивається надпоршневому просторі при реалізації в ньому робочого циклу і через палець передає зусилля на шатун. Канавки під поршневі кільця розташовуються на бічній поверхні головки поршня 13. Зазвичай їх три: дві під компресійні 1, 2 і одна під кільця маслосборні 4. Поршневі кільця утворюють ущільнення між поршнем і стінкою циліндра, не допускаючи прориву гарячих газів в картер і масла в камери згоряння.

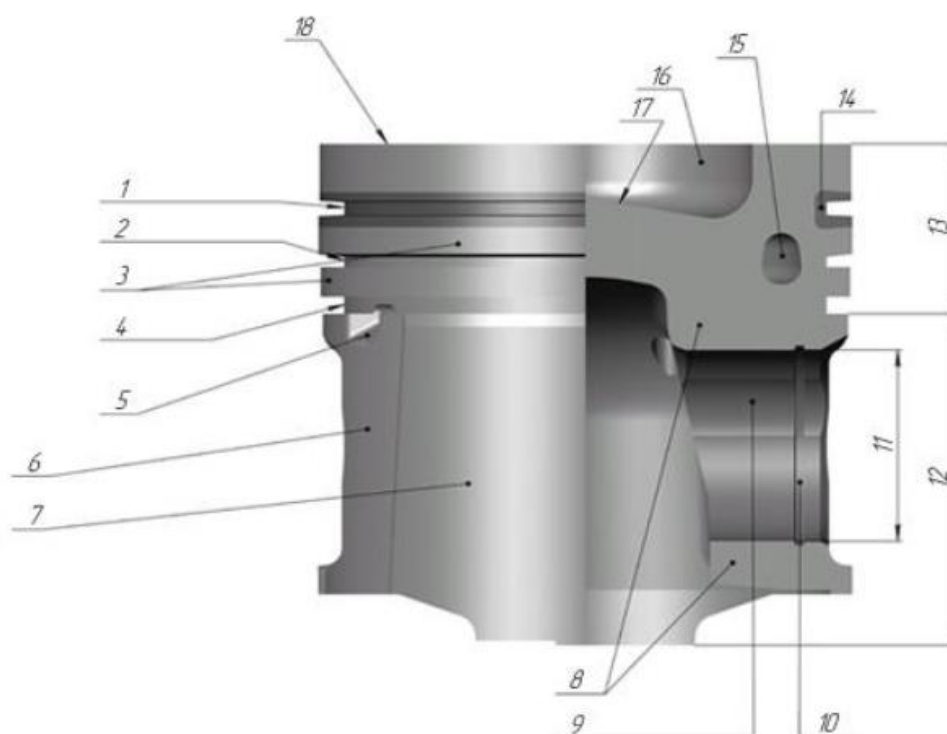


Рисунок 1.1 – Основні елементи конструкції поршня:

1 – канавка під перше компресійне кільце; 2 – канавка під друге компресійне кільце; 3 – міжкільцеві перемички; 4 – канавка під маслосборні кільця; 5 – вибірка для зливу масла; 6 – охолоджувач; 7 – спідниця поршня; 8 – бобишка під пальцевий отвір; 9 – вибірка для розвантаження; 10 – канавка для стопорного кільця; 11 – отвір під палець; 12 – спідниця поршня, що складається з бобишок і направляючої частини; 13 – головка поршня, яка включає днище; 14 – нерезистова вставка; 15 – масло охолоджувана порожнина; 16 – камера згоряння; 17 – конусний витискувач; 18 – днище поршня.

						ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			8

Перемички 3 між канавками (особливо між першою та другою для компресійних кілець) піддаються високим механічним та тепловим навантаженням – 50...60 % тепла відводиться в циліндр через компресійні кільця. Згоряння паливоповітряної суміші відбувається за температури 1800...2600 °С. Ця температура значно перевищує температуру плавлення поршневого сплаву з урахуванням алюмінію (~ 660 °С).

Щоб не розплавитися, поршень повинен ефективно охолоджуватися, передаючи тепло від камери згоряння через кільця, спідницю, стінки циліндра, палець і внутрішню поверхню рідини, що охолоджує, і масло. При нагріванні поршня відбувається зниження межі міцності матеріалу, виникають термонапруження від перепадів температури його тіла, які накладаються на напруги від сил тиску газів та інерційних сил. Отже, поршень працює у важких умовах, властивості, які повинен мати поршень важко сумісні та технічно їх важко реалізувати. Щоб поршень протистояв цим впливам, він має бути легким, міцним, зносостійким, добре проводити тепло.

Усі перелічені умови мають бути враховані під час проектування. Форма внутрішніх поверхонь та конструктивних елементів поршня повинна забезпечувати задану міцність та працездатність за рахунок раціонального розподілу та використання матеріалу. Особливу увагу приділено формі зовнішньої поверхні. Зовнішній профіль бічної поверхні поршня формується з урахуванням деформацій від механічних навантажень (тиску газів та інерційних сил) та теплового впливу від згоряння паливоповітряної суміші таким чином, щоб ні за яких умов не відбулося заклинювання в циліндрі, прорив гарячих газів у картер, прогорання камери згоряння. Температура поршня в зоні камери згоряння (на днищі) вище, ніж на спідниці, температурне розширення головки більше, ніж спідниці, тому поршень у холодному стані – бочкоподібний, зі

						Арк.
					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зменшенням діаметра від спідниці до головки. Сила тиску газів, сили інерції та бічна сила деформують поршень так, що спідниця приймає овальну форму. Для компенсації цієї деформації поршень спочатку виконується з «протиеліпсом», велика вісь якого розташована в перпендикулярній осі пальцевого отвору. Зазори між поршнем і циліндром повинні бути зведені до мінімуму для запобігання шуму, особливо у холодному двигуні. Але вони повинні бути достатніми для запобігання заклинювання під час роботи прогрітого двигуна.

Поршень працює у дуже важких умовах: при високих газових та знакозмінних інерційних навантаженнях, що мають ударний характер; при високих температурних навантаженнях. У разі недосконалого змащування він піддається значному зносу. Середня швидкість поршня досягає 8...20 м/с, що можна порівняти зі швидкістю автомобіля. Під впливом бічної сили він здійснює вторинний рух (перекладку) не більше зазору поршень – гильза [3].

При експлуатації двигуна в різних частинах поршня можуть переважати різні температури. Температура днища поршня розігрівається значно більше ніж спідниця поршня. Тому поршень розширюється у різних зонах нерівномірно. Таким чином, під впливом зовнішніх температурних та силових навантажень циліндричний поршень може набути овальної форми. Для усунення цього явища поршень спочатку робиться овальним, але в протилежному напрямку, в результаті чого в міру прогріву двигуна, поршень, під впливом бічних сил, набуває круглої форми. Тому конструктори поршнів виготовляють поршні, форма яких у холодному стані нагадує бочку, якщо дивитися на поршень збоку, і овал - якщо дивитися на поршень зверху. На рисунку 1.2 показано зовнішню форму поршня.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

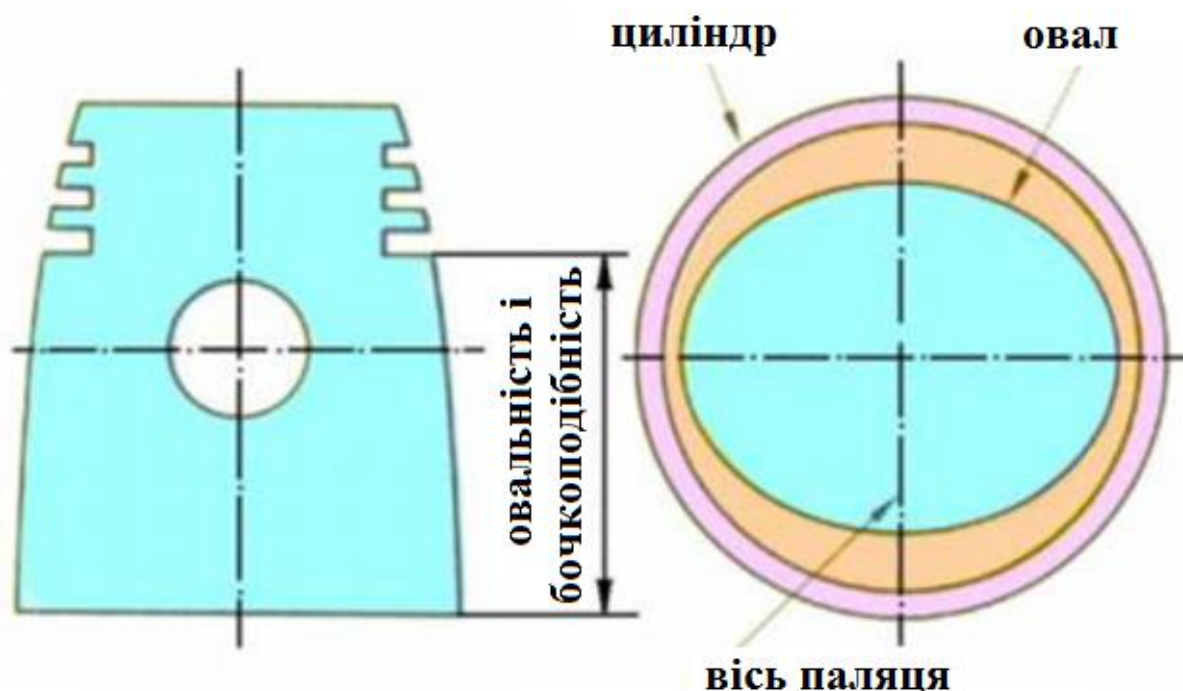


Рисунок 1.2 – Зовнішня форма поршня

Для примусового охолодження поршнів сучасних двигунів можуть застосовуватись такі способи:

- струменеві обприскування маслом внутрішньої поверхні днища поршня. Масло під тиском підводиться від колінчастого валу по каналу в стрижні шатуна до отвору, що калібрується, у верхній поршневій головці шатуна. Це забезпечує зниження температури днища поршня на 15...20 °С. Масло може розпорошуватися через форсунку, нерухомо встановлену в зоні нижньої частини циліндра на корпусі двигуна, що дозволяє зменшити температуру днища на 25...30 °С;

- заповнення маслом 1/3 порожнини в поршні через шатун. При русі поршня масло постійно омиває днище поршня, перемішуючись, підвищує тепловідведення. Цей спосіб дозволяє зменшити температуру днища поршня на 30...40 °С.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1.3 Технологічні та експлуатаційні вимоги до поршня ДВЗ.

Поршень повинен вирішувати такі завдання [4]:

- 1) тиск згоряння перетворювати на механічний рух;
- 2) передавати бічні зусилля на стінки циліндра;
- 3) ущільнювати камеру згоряння циліндра з боку картера колінчастого валу;
- 4) передавати частину тепла, що отримується дніщем поршня, через кільця та спідницю поршня, що знаходяться в контакті з циліндром двигуна, і далі в систему охолодження;
- 5) керувати зміною заряду у циліндрі 2-тактного двигуна.

Технологічні вимоги до поршня ДВЗ:

– температура в камері згоряння може досягати більше 2000 °С, відповідно температура поршня без ризику втрати міцності матеріалу не повинна перевищувати 350 °С;

– тиск у камері згоряння може досягати 80 атмосфер, при такому тиску поршень зазнає навантаження на днище понад 4 тонни. Відповідно, товщина стінок і днища поршня має витримувати значні навантаження. Але будь-яке збільшення маси виробу призводить до збільшення динамічних навантажень на елементи двигуна, що веде до зростання маси двигуна;

– при виборі матеріалу для поршня необхідно враховувати теплове розширення матеріалу та виключити можливість заклинювання поршня в циліндрі, адже зазор між поршнем та поверхнею циліндра повинен забезпечувати ефективне мащення та мінімальне тертя;

Експлуатаційні вимоги до поршня ДВЗ:

- 1) поршень повинен чинити опір високій температурі, тиску газів і надійно ущільнювати канал циліндра, оскільки переміщаючись у циліндрі,

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

дозволяє розширюватися стислим газам, продукту горіння палива, та здійснювати механічну роботу;

2) найкращим чином відповідати вимогам пари тертя з метою мінімізувати механічні втрати і, як наслідок, знос, оскільки є разом з циліндром і поршневыми кільцями лінійний підшипник ковзання;

3) повинен витримувати механічну дію, оскільки відчуває навантаження з боку камери згоряння та реакцію від шатуна;

4) здійснюючи зворотно-поступальний рух з високою швидкістю, повинен якнайменше навантажувати кривошипно-шатунний механізм інерційними силами;

5) мати малу масу, і, як наслідок, мати невелику силу інерції;

6) мати жаростійке днище поршня та еластичне тіло поршня;

7) конструкція деталі повинна складатися із стандартних та уніфікованих конструктивних елементів та бути стандартною в цілому;

8) деталі повинні виготовлятися із стандартних чи уніфікованих заготовок;

9) розміри та поверхні деталі повинні мати відповідно оптимальні, тобто, економічно та конструктивно обґрунтовані точність та шорсткість;

10) фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу, жорсткість деталі, її форма та розміри повинні відповідати вимогам технології виготовлення, зберігання та транспортування;

11) показники базової поверхні деталі (точність, шорсткість) повинні забезпечувати точність установки, обробки та контролю;

12) заготівлі мають бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;

13) метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

14) сполучення поверхні деталей різних класів точності та шорсткості повинні відповідати застосовуваним методам та засобам обробки;

15) конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових та стандартних технологічних процесів її виготовлення.

16) матеріал для виготовлення має бути дешевим та відповідати умовам масового виробництва.

Таким чином, ідеальний поршень у таких жорстоких умовах має бути легким та абсолютно жорстким, тобто ніяк не змінювати свою форму. Теплові навантаження не повинні його деформувати. Його вага має бути близька до нуля. Знос від контакту зі сполученими деталями повинен бути відсутнім. Необхідно підібрати сплав, що відповідає всім вимогам.

1.4 Динаміка поршня двигуна внутрішнього згорання.

Довговічність циліндро поршневої групи двигуна залежить від ряду факторів, які можна розділити на конструктивні, експлуатаційні та технологічні. Конструктивні фактори є основними і значною мірою визначають ступінь впливу всіх інших факторів на працездатність сполучення під час всього життєвого циклу. Тому більш повне розуміння процесів, що відбуваються в ЦПГ, ще на стадії проектування закладають основу для досягнення більш ефективної роботи двигуна.

Основним вузлом тертя ЦПГ, що впливає на механічні втрати, є пара тертя «поршень – циліндр». Від досконалості цього сполучення залежить траєкторія поршня в циліндрі, тепловий стан двигуна, кількість масла, що надходить до поршневих кілець, рівень вібрацій та шуму. Працездатність цієї пари характеризується зазорами між поршнем та циліндром, профілем спідниці, місцем розташування пальцевого отвору.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Крім цього, особливістю роботи поршня є те, що він знаходиться під дією вкрай нестаціонарних теплових та силових факторів, внаслідок чого відбуваються теплові та силові деформації, що призводять до суттєвої зміни зазорів у поєднанні.

Розглянемо поршень двигуна внутрішнього згоряння як деформоване матеріальне тіло, що здійснює складний плоскопаралельний рух межах циліндра. При описі цього руху, крім зусиль, що діють у кривошипно-шатунному механізмі, враховуються також силові фактори, що виникають при роботі пари тертя «поршень - циліндр» в умовах рідинного змащення. При цьому облік гідродинамічних сил і моментів проводиться з використанням методів, розроблених при дослідженні підшипників ковзання, оскільки пара тертя «поршень – циліндр» є своєрідним підшипником ковзання. Величина гідродинамічної реакції мастильного шару є функцією від положення поршня в циліндрі (товщини мастильного шару), і визначається з урахуванням того, що поршень деформується в межах циклу під дією змінних теплових і силових навантажень.

Таким чином, для математичного опису руху поршня в такій постановці переставлено методика, засновану на спільному рішенні нестаціонарної гідродинамічної задачі про розподіл нормальних і дотичних тисків, що виникають у зазорі, завдання визначення змінного розподілу напружено-деформованого стану поршня та завдання динамічної рівноваги поршня. Дана методика включає використання ряду стандартних чисельних методів, передбачає застосування CAD/CAE систем для вирішення задач визначення напружено-деформованого стану (НДС) методом кінцевих елементів і частково спирається на результати експериментальних досліджень.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для прикладу визначення НДС поршня розглянемо ЦПГ 4-го циліндра двигуна Fiat DOBLO 1.4 843 A1.000 із серійним комплектом поршнів. Двигун Fiat DOBLO 1.4 843 A1.000 у штатному виконанні чотирьохтактний, бензиновий, з робочим об'ємом 1,4 л, ступенем стиснення 9,9. Номінальна потужність двигуна 57 кВт при частоті обертання колінчастого валу 5600 хв⁻¹; максимальний крутний момент 107 Нм при 3400 об/хв. Для змащення двигуна використовується напівсинтетичне моторна масло Esso 20W40.

Рівняння руху поршня. Рух поршня в циліндрі складається з поступальних переміщень вздовж осі циліндра, переміщень у площині, перпендикулярної вісі циліндра, а також обертання довкола вісі поршневого пальця. Для опису цього руху в рамках даної методики розглядається динамічна рівновага (принцип Даламбера) деформованого поршня, що «спливає» на мастильному шарі в просторі зазору циліндра двигуна. При складанні системи рівнянь динамічної рівноваги поршня прийняті наступні припущення:

1) палець з поршнем у розрахунку приймається як одне ціле – в масово-інерційні характеристики поршня включені вага та момент інерції пальця;

2) зазорами в парах «палець – шатун» та «шатун – колінчастий вал» нехтуємо через їх малі значення;

3) частота обертання колінчастого валу на розрахунковий режим – постійна;

4) сили, що діють у напрямку, перпендикулярній площині руху поршня, не розглядаються через симетричність поршня.

Осьова швидкість, прискорення, бічна та інерційні сили, що діють на поршень, по всьому циклу визначалися з рівнянь кінематики та динаміки кривошипно-шатунного механізму. Індикаторна діаграма розрахункового режиму роботи двигуна отримана шляхом класичного

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

розрахунку робочого процесу. Таким чином, розрахункова схема динамічного рівноваги поршня представлена на рис. 1.3. Система рівнянь рівноваги поршня під дією доданих сил і сил інерції має вигляд [3,5]:

$$\vec{P}_B + \vec{P}_H + \vec{R}_{\text{тср}} + \vec{P}_{\text{трк}} + \vec{F}_{nZ} - m_n \vec{\ddot{z}} = 0, \quad (1.1)$$

$$\vec{P}_Л + \vec{P}_П + \vec{F}_{nY} - m_n \vec{\ddot{y}} = 0, \quad (1.2)$$

$$\vec{P}_B r_B + \vec{P}_{\text{трП}} r_{\text{П}} + \vec{P}_{\text{трЛ}} r_{\text{Л}} + \vec{M}_Л + \vec{M}_П + \vec{M}_{\text{под}} - J_n \vec{\epsilon}_n = 0, \quad (1.3)$$

де \vec{P}_B, \vec{P}_H – рівнодіючі тиску газу та картерних газів (відповідно зверху та знизу поршня); $\vec{P}_П, \vec{P}_Л$ – рівнодіюча нормальних гідродинамічних сил у мастильному шарі, діючих на бічну поверхню поршня (праворуч і ліворуч щодо отвору пальця); r_B, r_H, r_P, r_L – відстань від сил $\vec{P}_B, \vec{P}_H, \vec{P}_П, \vec{P}_Л$ відповідно до осі повороту (вісь пальця); $\vec{R}_{\text{тср}}$ – рівнодіюча дотичних гідродинамічних сил у мастильному шарі, діючих на поршень; $\vec{P}_{\text{трк}}$ – сила тертя між поршневыми кільцями та циліндром; \vec{F}_{nZ} та \vec{F}_{nY} – проекції сил в опорі пальця, що діють із боку шатуна; m_n – маса поступово рухливих елементів; $\vec{\ddot{z}}$ – проекція на вісь OZ прискорення поршня; $\vec{\ddot{y}}$ – проекція на вісь OY прискорення поршня; $\vec{P}_{\text{трП}}, \vec{P}_{\text{трЛ}}$ – рівнодіюча дотичних гідродинамічних сил у мастильному шарі, що діють на бічні поверхні поршня (праворуч і ліворуч відповідно); $\vec{M}_Л, \vec{M}_П$ – моменти, що перекидають поршень, що виникають від дії нормальних гідродинамічних сил у мастильному шарі (праворуч і ліворуч щодо пальцевого отвору); $\vec{M}_{\text{под}}$ – момент тертя в підшипнику пальця; J_n – масовий момент інерції поршня (з урахуванням пальця); $\vec{\epsilon}_n$ – кутове прискорення поршня.

Змінний напружено деформований стан поршня. Змінне напружено деформований стан поршня на розрахунковому режимі отримано за

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

методики [6] у CAD/CAE системі автоматизованого проектування SolidWorks. Визначення розподілу НДС поршня по всьому циклу двигуна передбачало проведення двох розрахунків:

- 1) розрахунок температурного поля та теплових деформацій поршня;
- 2) розрахунок деформацій поршня, спричинених силовими факторами.

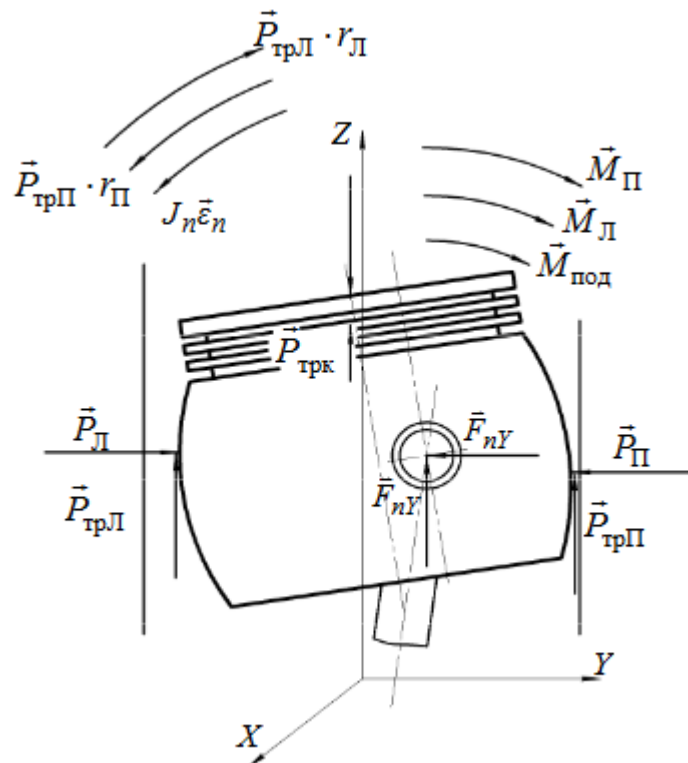


Рисунок 1.3 – Розрахункова схема навантаження поршня.

В обох розрахунках використовувалася об'ємна кінцево-елементна модель серійного поршня що складається з 65722 тетрадральних елементів. З метою зменшення обсягів обчислень та витрат машинного часу розрахунки проводилися на моделі половини поршня, що є допустимим, за рахунок симетрії поршня.

Закріплення поршня (рис. 1.4) здійснювалося: по поверхні 1 від переміщення перпендикулярно цій поверхні та обертань по 2 осях, перпендикулярним до осі пальцевого отвору (3 ступеня волі); від радіальних переміщень щодо пальцевого отвору по поверхням 2 або 3 в

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

залежності від напрямку дії сили в парі «поршень – палець» (2 ступеня волі); від повороту навколо осі пальцевого отвору - по краю 4 (1 ступінь волі).

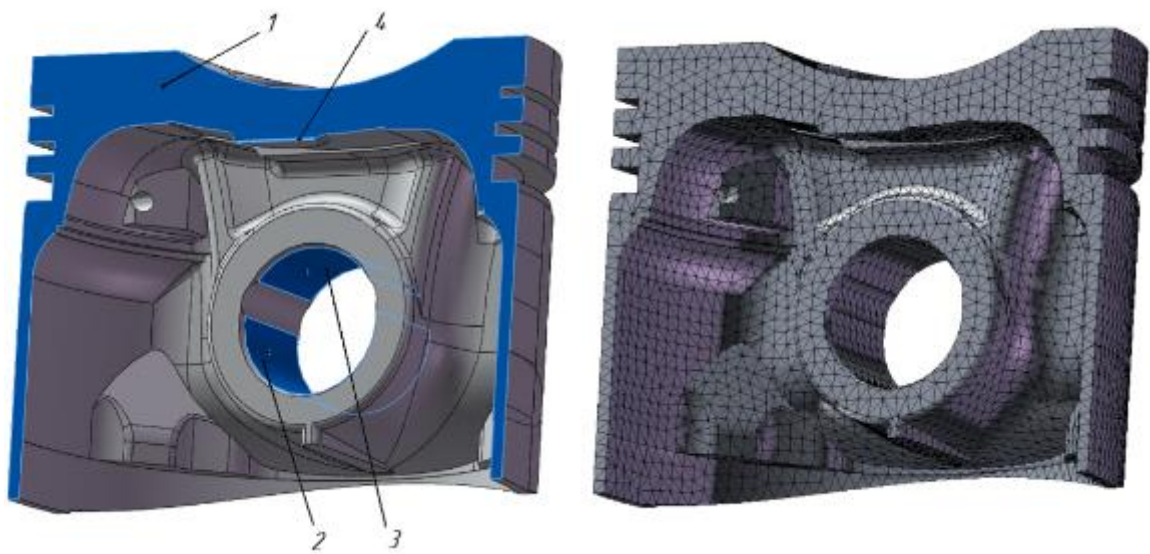


Рисунок 1.4 – Схема закріплення поршня та сітка кінцевих елементів.

Визначення температурного поля і теплових деформацій поршня представляє собою рішення задачі теплопровідності при заданих граничних умовах. Розрахунок проводився в стаціонарній постановці при середніх за цикл значеннях граничних умов на поверхнях теплообміну.

Граничні умови 3-го роду визначались на підставі розрахунку робочого процесу в циліндрі на заданому режимі, (рис. 1.5).

Результати розрахунків стаціонарного температурного поля та теплового деформованого стану поршня представлені на рис. 1.6.

Розрахунок деформацій поршня, спричинених силовими факторами, проводився з дискретністю по кутку повороту колінчастого валу – 5° . Навантаження, що діють на поршень, визначались по розрахунковій індикаторній діаграмі та із системи рівнянь динаміки кривошипно-шатунного механізму. При цьому для кожного розрахункового положення поршня обчислювалося значення та знак бічної сили (або пари сил), які рівномірно розподілялися по еліптичних

										Арк.
										19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						

площадкам, виконаним на тривимірній моделі поршня окремо для кожного розрахункового випадку.

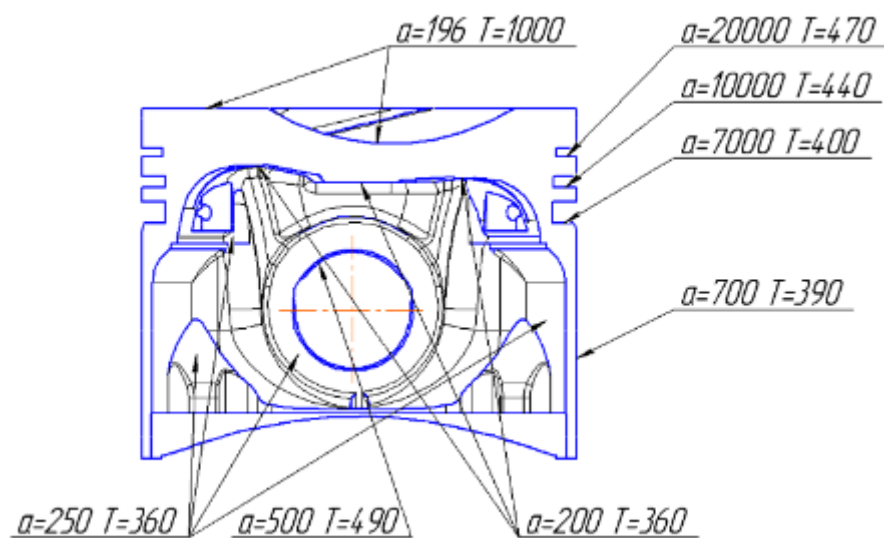


Рисунок 1.5 – Граничні умови теплообміну 3-го роду:
 α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²К; T – температура, К

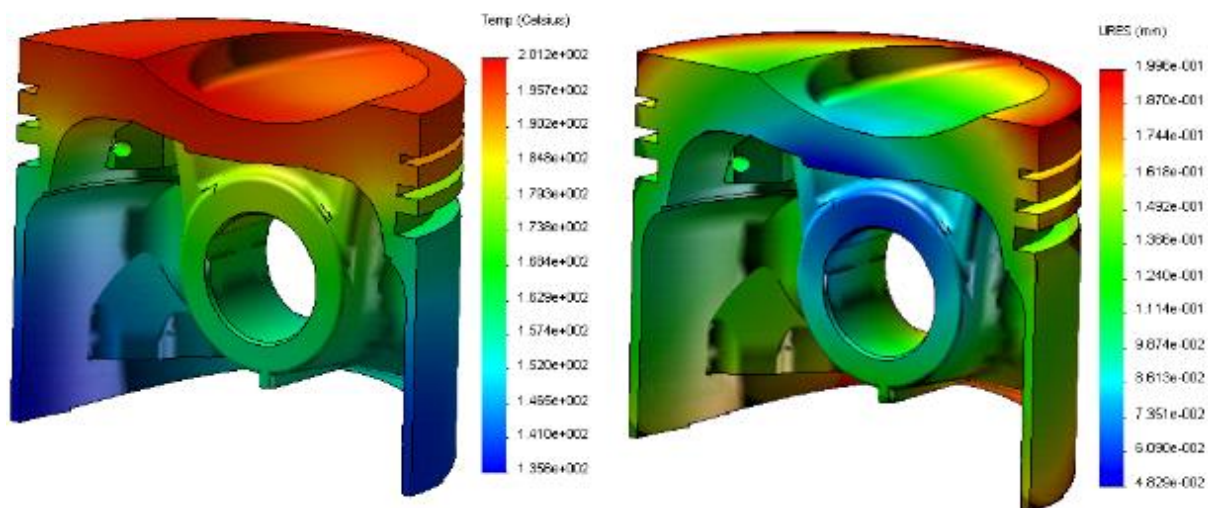


Рисунок 1.6 – Поле температур (ліворуч) та теплових деформацій поршня на розрахунковому режимі (праворуч).

Розташування центрів еліптичних майданчиків (плеч докладання бічних сил) визначалися за величиною бічної сили та за значеннями

										Арк.
										20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ					

моменту, що обертає поршень щодо осі отвору пальця. Розміри еліптичних майданчиків у першому наближенні визначалися конструктивними міркуваннями (обмеження по ширині та висоті), і уточнювалися в процесі розрахунку. Таким чином, схема силового навантаження була реалізована наступним чином: тиск від газових сил прикладався до донця поршня, інерційна сила задавалася величиною прискорення і прикладалася в центрі тяжіння, бічні сили (реакції) розподілялися рівномірно по еліптичних майданчиках на спідниці поршня.

В результаті розрахунку змінного НДС було визначено деформацію спідниці поршня (рис. 1.7) в залежності від кута повороту колінчастого валу. Ці результати сформовані у вигляді 144 масивів складових сумарних деформацій у напрямку осей OX та OY у 48 дискретних точок поверхні спідниці поршня.

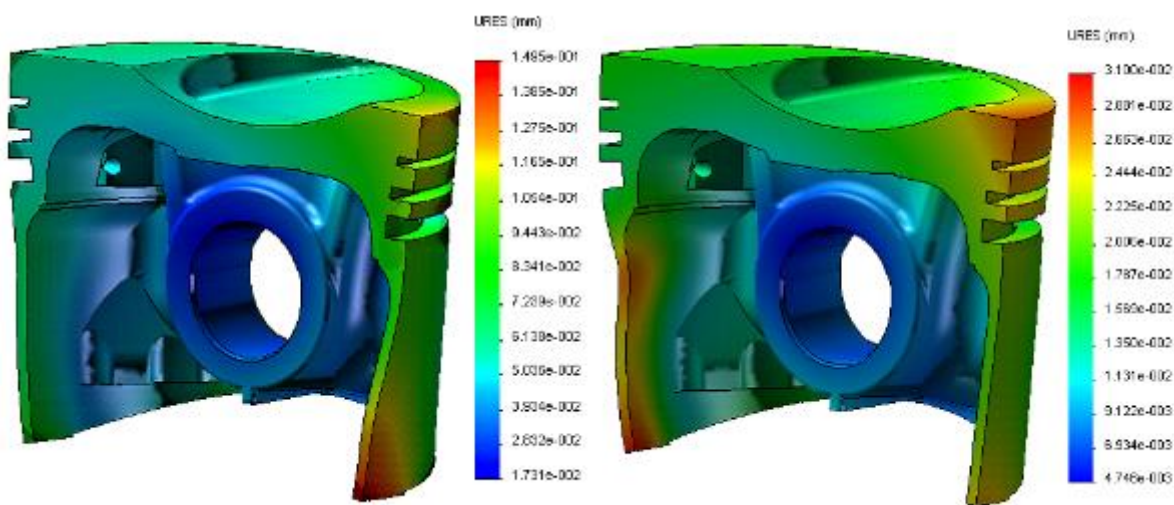


Рисунок 1.7 – Поле деформацій поршня під дією силових факторів у кривошипно-шатунному механізмі: кут повороту колінчастого валу $\varphi = 375^\circ$ (ліворуч) та $\varphi = 420^\circ$ (праворуч).

Гідродинамічні сили та моменти в мастильному шарі. При вирішенні задачі знаходження гідродинамічних реакцій у мастильному шарі прийняті такі припущення:

- 1) тиск по товщині мастильного шару прийнято постійним;
- 2) тиск на межах кінцево-різницевої сітки приймається картерним;
- 3) в'язкість мастильної рідини приймається постійною і не залежить від тиску і координат точок шару мастила;
- 4) мастило розглядається як ньютонівська рідина, в якій напруження пропорційні швидкості деформації;
- 5) протягом мастильного шару прийнято ламінарним;
- 6) температура мастильного шару прийнята за наслідками експериментальних досліджень [7].

Для отримання гідродинамічних сил та моментів, визначалися функції розподілу нормальних та дотичних тисків у мастильному шарі по всій бічній поверхні поршня. Вихідним рівнянням визначення цих тисків було рівняння Рейнольдса [8]. При цьому рішення рівняння Рейнольдса отримано разом із рішенням системи рівнянь руху поршня та з урахуванням результатів розрахунку змінного НДС поршня. Таким чином, якщо не враховувати інерційні ефекти в мастильному шарі і вважати масло нестисливою рідиною ($\rho = \text{const}$), рівняння Рейнольдса може бути записано у такому вигляді:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6 \left[-2V - U \frac{\partial h}{\partial x} + W \frac{\partial h}{\partial z} \right], \quad (1.4)$$

після перетворень:

$$\frac{3h^2}{\mu} \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{3h^2}{\mu} \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial^2 p}{\partial z^2} = 6 \left[-2V - U \frac{\partial h}{\partial x} + W \frac{\partial h}{\partial z} \right], \quad (1.5)$$

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

де h - текуча товщина мастильного шару; p – нормальний тиск, що виникає в мастильному шарі у розглянутій точці бічної поверхні; U, V, W – окружна, радіальна та осьова швидкості поверхні поршня, що обмежує мастильний шар; μ, ρ – динамічна в'язкість та щільність мастильного матеріалу.

Перебіг мастильного шару в зазорі між поршнем і циліндром породжує дотичні зусилля, подолання яких потребує витрат енергії. Сумарні дотичні напруження, еквівалентні цими витратами, визначаються за залежностями:

$$\tau_x = \frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \frac{U}{h}; \tau_z = \frac{h}{2} \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \frac{W}{h}. \quad (1.6)$$

Аналіз в'язкісно - температурної характеристики моторного масла показав, що в діапазоні температур робочого режиму в'язкість масла протягом циклу змінюється не більше ніж на 6 %, та може бути прийнята як постійна при розрахунку гідродинамічних параметрів у мастильному шарі. Тепловий стан масляного шару у зазорі між поршнем та циліндром було отримано експериментально [7].

Оскільки профіль спідниці поршня є складною овально-бочкоподібною поверхнею, можливе лише чисельне рішення рівняння Рейнольдса з дискретизацією розрахункового поля шару мастила. Такої дискретизації було досягнуто створенням кінцево-різницевої сітки на спідниці поршня - розбиттям бічної поверхні на двовимірні прямокутні регіони. Граничні умови для гідродинамічних тисків задавалися як для постійних величин картерного тиску на межі спідниці поршня. Таким чином, вирішення даного диференціального рівняння (крайової задачі) звелось до формування та вирішення системи лінійних алгебраїчних

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рівнянь $\bar{A} \cdot \bar{X} = \bar{B}$, де \bar{A} – матриця коефіцієнтів, \bar{X} – вектор невідомих гідродинамічних тисків, \bar{B} – вектор правої частини рівняння.

Для вирішення цієї системи був застосований метод $\bar{L}\bar{U}$ розкладання матриці \bar{A} , заснований на тому, що якщо головні мінори матриці відмінні від нуля, тоді матрицю \bar{A} можна представити, причому єдиним чином, у вигляді $\bar{A} = \bar{L}\bar{U}$, де \bar{L} – нижня трикутна матриця з ненульовими діагональними елементами та \bar{U} – верхня трикутна матриця з одиничною діагоналлю.

Результатом розв'язання даної системи є функції розподілу нормальних та стискаючих тисків (рис. 1.8). Сумарна величина гідродинамічної реакції була отримана інтегруванням елементарних складових сил по всіх елементарних майданчиках на бічній поверхні поршня.

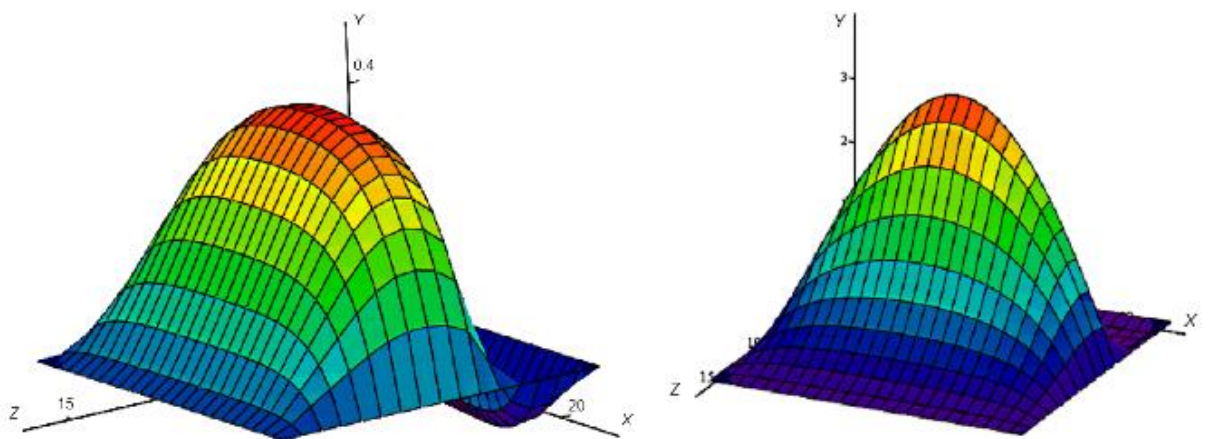


Рисунок 1.8 – Розподіл нормальних тисків по бічній поверхні поршня, МПа, (зліва і праворуч відповідно) при куті повороту колінчастого валу $\varphi = 420^\circ$.

Траєкторія руху поршня в циліндрі. Найбільшу інформацію про параметри завантаженості ЦПГ дає траєкторія руху поршня. Для заданих навантажень вирішення системи рівнянь руху одночасно з

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

гідродинамічною задачею дозволяє розрахувати координати центру поршневого пальця, а потім і критерії, що характеризують механічні втрати у спряженні.

Однак опис поведінки в'язкого стисканого мастила в зазорі між поршнем і циліндром рівняннями гідродинаміки можливо лише за умови ненульових швидкостей поршня. А оскільки поршень в циліндрі здійснює зворотно-поступальні рухи зі знакозмінними швидкостями та прискореннями, то при роботі ЦПГ виникають ділянки, на яких швидкості поршня близькі до нуля. Такі ділянки, як правило, лежать в околицях верхньої та нижньої мертвих точок і характеризуються недостатньою несучою здатністю мастильного шару або граничним режимом тертя у поєднанні. В рамках даної методики траєкторія поршня на цих ділянках визначається за наслідками експериментальних даних [6].

Одночасно з цим ділянки, де поршень рухається зі швидкостями, при яких гідродинамічні реакції від мастила достатні для врівноваження бічної сили і перекидаючого моменту, характеризуються рідинним режимом тертя. Величина гідродинамічної реакції в цьому випадку є функцією від положення поршня в циліндрі (товщини мастильного шару), тобто справедлива система рівнянь руху поршня:

$$m_n \ddot{z} = \vec{R}_z + \vec{F}_z(\varphi), \quad (1.7)$$

$$m_n \ddot{y} = \vec{R}_y + \vec{F}_y(\varphi), \quad (1.8)$$

$$J_n \ddot{\epsilon}_n = \vec{M}_o + \vec{M}_o(\varphi), \quad (1.9)$$

$$\varphi = \varphi(t). \quad (1.10)$$

де $\vec{F}_z(\varphi)$, $\vec{F}_y(\varphi)$, $\vec{M}_o(\varphi)$ – зовнішні сили та моменти, що діють на поршень у КШМ; \vec{R}_z , \vec{R}_y , \vec{M}_o – реакції та момент, що діють на поршень з боку мастильного шару; φ – кут повороту колінчастого валу; t – поточний час.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Для вирішення цієї системи рівнянь був застосований метод, заснований на так званих формули диференціювання у зворотному напрямку (ФДЗН). Цей метод передбачає зведення системи диференціальних рівнянь другого порядку до системи першого порядку та використання зворотного методу Ейлера. Зворотний метод Ейлера - це приклад неявного алгоритму інтегрування, в якому для визначення функції на $i + 1$ кроці потрібні додаткові обчислення, оскільки невідомі значення $i + 1$ входять як у ліву, так і в праву частину різницевого рівняння. При цьому неявні методи порівняно з аналогічними прямими алгоритмами більш стійкі та дають більш високу точність обчислень – це обумовлено наявністю саме $i + 1$ члена у правій частині різницевого рівняння, що може розглядатися як вид зворотного зв'язку.

Таким чином, результатом вирішення цієї системи є функції переміщення поршня у поперечному напрямку циліндра (вздовж осі OY) та функції кута нахилу поршня в циліндрі по часу. Ці залежності порівняно з експериментальними даними на розрахунковому режимі представлені на рис. 1.9, 1.10.

Аналіз отриманих результатів дозволяє визначити точки перекладки поршня та з урахуванням розрахованого НДС виділити плями контакту пари. Крім цього, є можливим виявити ділянки з характерними режимами тертя (рідинним та граничним), а також оцінити величину механічних втрат за умов рідинного режиму тертя. Для двигуна Fiat DOBLO 1.4 843 A1.000 (на розрахунковому режимі встановлено, що поршень 4-го циліндра працює в умовах грачного тертя 12,63 % часу циклу).

Порівняння результатів розрахунків за запропонованою методикою з експериментальними даними показує достатню якісну збіжність.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

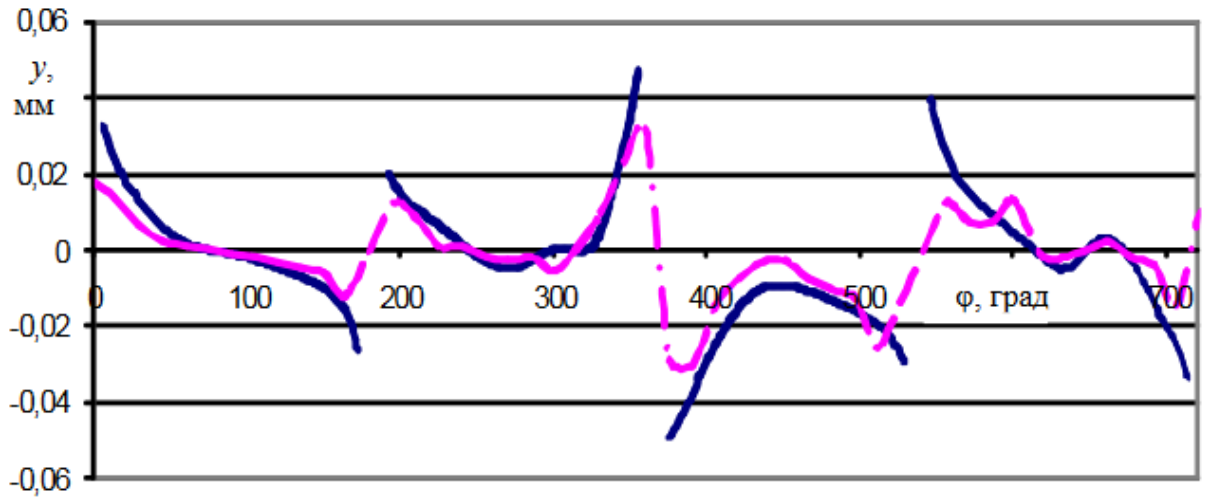


Рисунок 1.9 – Координати центру отвору пальця поршня в залежності від кута повороту колінчастого валу ϕ (суцільна крива – розрахунок; штрихпунктирна – експеримент).

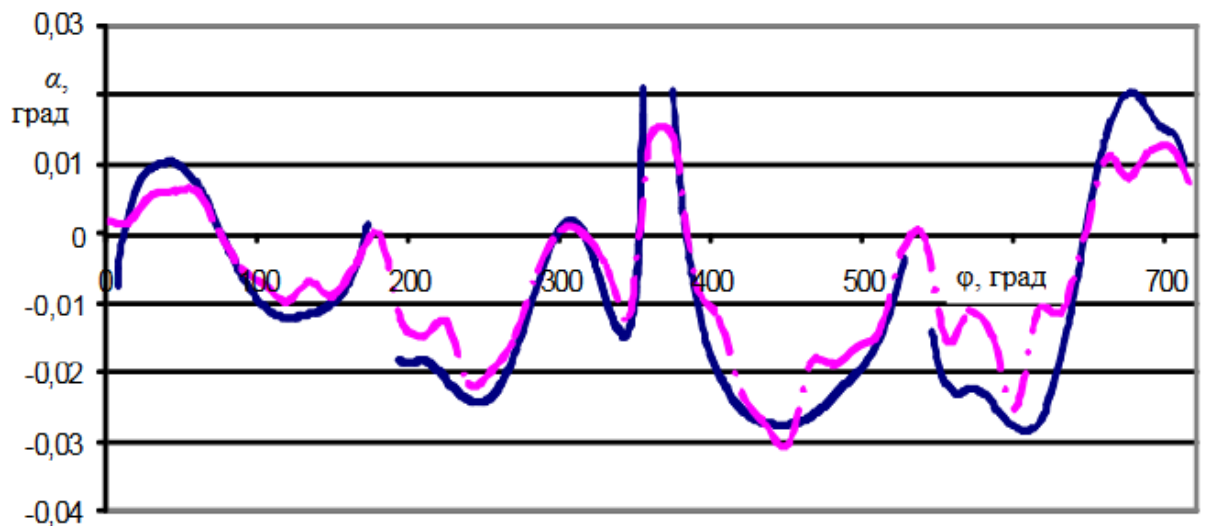


Рисунок 1.10 – Кут нахилу поршня α в залежності від кута повороту колінчастого валу ϕ (суцільна крива – розрахунок; штрихпунктирна – експеримент).

Середня похибка розрахункової методики щодо траєкторії становить трохи більше 21 %. Ця похибка може бути пов'язана зі значними припущеннями, прийнятими при розрахунку змінного НДС поршня, та похибками вимірювань під час експериментальних досліджень.

РОЗДІЛ 2. ВИБІР МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРШНІВ ДВЗ

2.1 Матеріали поршнів ДВЗ.

Вимоги до поршнів пред'являються дуже високі, у зв'язку з цим жорсткі вимоги пред'являються і до матеріалів, з яких виготовляються поршні, вони повинні володіти [9]:

1. міцністю, володіючи малою питомою вагою;
2. низьким коефіцієнтом температурного розширення;
3. високою теплопровідністю та теплоємністю, що дозволяє зменшувати тепло напруженість деталей поршневої групи;
4. низьким коефіцієнтом тертя у парі з матеріалом, з якого виготовлені стінки циліндрів;
5. корозійною стійкістю;
6. високою опірністю зносу;
7. гарною технологічністю, тобто легко піддаватися всім видам обробки, наприклад, литтям у процесі виробництва;
8. мінімальною вартістю, бути загальнодоступними.
9. зберігати свої фізичні властивості під впливом навантажень, що викликають втомне руйнування матеріалу;
10. зберігати свої механічні властивості (міцність) за зміни температур.

Максимальні можливості від використання матеріалу, що використовується для виготовлення поршня, можна буде досягти тільки при комплексній оптимізації всіх деталей циліндропоршневої групи, кілець і гільзи циліндра. Встановлення поршня в гільзу, виготовлених з одного матеріалу, дозволить забезпечити мінімальні монтажні зазори, зменшити

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількість поршневих кілець та, можливо, повністю відмовитися від їх використання. Оптимізація конструкції поршня та поршневого пальця на основі розрахунково-експериментальних досліджень дозволить зменшити масу, що також сприятиме покращенню показників двигуна, а підвищення загального рівня температур збільшить індикаторні показники та, отже, ефективні показники двигуна. Розробка методів впливу на властивості матеріалів залежно від його складу, будова компонентів та технології виготовлення дозволить створювати конструкції, які максимально враховують особливості роботи поршня в двигуні. Наприклад, зміна теплопровідності поршня дозволить змінювати температури днища поршня. Для двигунів із самозайманням гомогенної суміші від стиснення потрібне збільшення максимальних температур днища поршня для поліпшення сумішоутворення, а в бензинових двигунах для забезпечення роботи без детонації необхідно обмежувати максимальні температури [5].

Проаналізувавши умови роботи деталі та комплекс вимог до нього, враховуючи його економічні показники, можна відзначити, що для виготовлення поршнів в даний час в основному використовують алюмінієві сплави, рідше сірий чавун, а також композиційні матеріали та в окремих випадках сталі. Розглянемо як можливий матеріал: сплави на основі алюмінію та сірий чавун.

Переваги поршнів з алюмінієвих сплавів:

- мала щільність, що дозволяє знизити масу (мінімум на 30 % менше порівняно з чавунними);
- висока теплопровідність (у 3-4 рази вище за теплопровідність чавуну), що забезпечує нагрівання днища поршня не більше 250 °С, що сприяє кращому наповненню циліндрів і дозволяє підвищити ступінь стиснення в бензинових двигунах;
- хороші антифрикційні властивості;

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- малі значення коефіцієнта тертя у парі з чавунними чи сталевими гільзами. Недоліки поршнів з алюмінієвих сплавів:

- невисока міцність втоми, що зменшується при підвищенні температури;

- більший коефіцієнт лінійного розширення, ніж у чавунних поршнів,

- порівняно більша вартість.

- Значне зниження міцності при нагріванні (підвищення температури до 300 °С призводить до зниження механічної міцності алюмінію на 50-55 % проти 10 % у чавуну),

- менша твердість і зносостійкість поршневих канавок.

Визначивши недоліки поршнів, виготовлених з алюмінієвих сплавів, такі як: значне зниження міцності при високих температурах, високий коефіцієнт теплового розширення і низька зносостійкість, проводять коригування за рахунок конструкційних і технологічних заходів, таких як:

- розробка спеціальних сплавів з додаванням компонентів характеристики при високих температурах та зменшують теплове розширення;

- використання спеціальних технологій виготовлення заготовок поршнів: лиття під тиском, ізотермічна та «рідка» штампування для евтектичних сплавів, у тому числі гранульованих.

Переваги поршнів з чавуну:

- мають значну міцність;

- високі показники жаростійкості та зносостійкості;

- хороші антифрикційні властивості;

- мають малий температурний коефіцієнт розширення, завдяки чому зменшується зазор спідницею;

- чавун дешевший за інші матеріали.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Недоліки поршнів з чавуну:

- велика питома вага, тому чавунні поршні застосовують у тихохідних двигунах, де газові сили значно більші за інерційні, і цей недолік нівелюється;

- низька теплопровідність, через що нагрівання днища поршнів досягає 350 - 400 °С. Це неприпустимо у бензинових двигунах, оскільки він може призвести до виникнення калильного запалювання. Коефіцієнт наповнення також знижується.

Вимоги до поршнів останнім часом сильно змінилися, і як впливає зі викладеного вище, ні силуміни, ні чавун не є оптимальними матеріалами для виготовлення поршнів.

Порівняємо характеристики сплавів на основі алюмінію АК4, АЛ2 та сірий чавун СЧ24, хімічний склад та властивості котрих наведено в таблицях 2.1 – 2.5 [10].

В таблицях застосовані наступні позначення:

ψ - Відносне звуження, %; σ_B - межа короткочасної міцності, МПа; δ - Відносне подовження після розриву, % ; HB - твердість по Брінеллю, МПа; α - коефіцієнт температурного (лінійного) розширення (діапазон 20 ° - Т), 1/°С; E - модуль пружності нормальний, МПа; R - питомий електроопір, Ом · м; ρ - щільність, (кг/м³); λ - коефіцієнт теплопровідності (теплоємність матеріалу), Вт/(м·°С)

Таблиця 2.1 – Хімічний склад АК4, %

Fe	Si	Mn	Ni	Ti	Al	Cu	Mg	Zn
0,8-1,3	0,5-1,2	До 0,2	0,8-1,3	0,02-0,1	92,05-96,08	1,9-2,5	1,4-1,8	До 0,3

Таблиця 2.2 – Механічні, фізичні та технологічні властивості сплаву АК4.

Марка	Механічні властивості				Фізичні властивості				Технологічні властивості		
	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	НВ	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м ⁰ С)	$\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Оброблюваність різанням	Здатність до зварювання	Пластичність при обробці тиском
АК4	421	10	20-25	117,8	2725	180	22	0,72	В	З	Н

Таблиця 2.3 – Значення твердості сплаву АК4.

Твердість АК4	НВ 10 ⁻¹ = 100 МПа
Твердість АК4 після гартування і старіння	НВ 10 ⁻¹ = 120 МПа

Характеристика алюмінію АК4: за даними таблиці 2.1 жароміцні сплави типу АК4-1 системи Al-Cu-Mg-Fe-Ni за хімічним і фазовим складами дуже близькі до дуралюмінів, але замість марганцю в якості легуючих елементів містять залізо і нікель.

За даними таблиць 2.2 і 2.3 у яких зазначені механічні, фізичні та технологічні властивості сплаву АК4, можна зробити висновок, що сплави добре деформуються в гарячому стані; мають високу корозійну стійкість, не схильні до корозійного розтріскування під напруженнями незалежно від

стану матеріалу. Втім для захисту від корозії деталі піддаються анодуванню, оксидуванню та покриваються лакофарбовими матеріалами.

Сплави задовільно з'єднуються точковим, шовним та аргонодуговим зварюванням. Оброблюваність різанням у відпаленому стані незадовільна, у загартованому та зістареному – задовільна.

Сплави відрізняються високою зносостійкістю (низький коефіцієнт тертя). Сплав АК4 використовується для виготовлення деталей реактивних двигунів (крильчатки насосів, колеса, компресори, диски, лопатки) [10].

Алюмінієво-кремнієвий сплав АК12 (АЛ2), що відноситься до силумінів, має хорошу корозійну стійкість, а також підвищений рівень ливарних та механічних властивостей (таблиця 2.5, 2.6). Високий відсоток кремнію – 10...13 %, що міститься в сплаві АК12, забезпечує його відмінну рідину і ливарні якості, дозволяючи знижувати температуру лиття і продовжувати термін служби виливки. Невеликі добавки різних металів, що вводяться до складу сплаву АК12 значно підвищують його експлуатаційні характеристики. Марганець не тільки збільшує термічну міцність, але й перешкоджає приставанню деталей, що відливаються до стінок форм, а також пов'язує домішки заліза і зменшує його шкідливий вплив на якість матеріалу. Добавки титану, що призводять до подрібнення зерна, також позитивно впливають на ливарність та механічну оброблюваність металу (таблиця 2.4). Завдяки евтектичній структурі має відмінні ливарні властивості при невисоких механічних. Межа короткочасної міцності цього силуміну менша, тому спектр його застосування обмежений деталями, що працюють під невеликим навантаженням.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Таблиця 2.4 – Хімічний склад АЛ2, %.

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Mg	Zn
До 1,5	10-13	До 0,5	До 0,1	84,3-90	До 0,6	До 0,1	До 0,1	До 0,3

Таблиця 2.5 – Механічні, фізичні та технологічні властивості сплаву АЛ2.

Марка	Механічні властивості			Фізичні властивості				Рекомендовані способи лиття		Зварюваність, способи зварювання
	σ_B , МПа	δ , %	<i>НВ</i>	ρ , кг/м ³	λ , Вт/(м ⁰ С)	$\alpha \cdot 10^6$, 1/°С	$E \cdot 10^{-5}$, МПа	Температура °С	Позначення	
АЛ2	147	2,0	49,0	2850	176	21,1	0.7	690-760	З, К, Д	Х, Г, А-Д, А-В

Зварюваність: Х - хороша, З - задовільна, П - погана.

Способи лиття: З - в піщану форму, К - в кокіль, Т - під тиском.

Способи зварювання: Г - газове, А-Д – аргано дугове, А-В - атомно-водневе.

Таблиця 2.6 – Значення твердості сплаву АЛ2.

Твердість АЛ2	$НВ 10^{-1} = 55$ МПа
Твердість АЛ2 після загартування та старіння	$НВ 10^{-1} = 110$ МПа

Він має важливі властивості, які важко вдається отримати у більш міцних алюмінієвих сплавах:

- висока рідко текучість;
- низька лінійна усадка;
- чудова зварюваність.

При цьому виливки, за рахунок їх малого інтервалу кристалізації (близького до нуля), мають невелику пористість. Але через схильність алюмінієво-кремнієвого сплаву до газонасичення виробу можуть містити концентровані газові раковини – закриті відкриті або порожнини з шорсткою поверхнею. Саме через них виникають чималі труднощі при виготовленні масивних і складних форм заготовок з АК12. Корозійна стійкість – другий після ливарних якостей, але не менш важливий параметр сплаву АК12. В цілому він має середній рівень антикорозійності, тому може використовуватися в промисловості без захисного покриття або з нанесеним на його поверхню шаром фарби.

Виливки з АК12 виходять з мінімальною ливарною усадкою, вони мають хорошу щільність і високу герметичність. Міцність деталей не сильно коливається у менший бік, при виливку товстостінних виробів.

Корозійна стійкість у звичайній воді та атмосфері – хороша. Зварюваність АК12 – без обмежень аргонно-дуговим або точковим зварюванням, про що свідчить таблиця 2.5.

Зважаючи на хорошу плинність, герметичність, корозійну стійкість цей матеріал рекомендується застосовувати для виливки деталей техніки, апаратури, приладів складної форми. Однак крихкість цього сплаву не дозволяє використовувати його для виливки відповідальних деталей, що працюють під навантаженням.

СЧ24. Раніше поршні з чавуну мали широке поширення у всіх галузях двигунобудування. Однак згодом досконаліші поршні з легких сплавів майже повністю витіснили поршні з чавуну. Незважаючи на

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вдосконалення, розробку високоякісних сортів чавуну, близьких за своїми властивостями до сталі і значно знизили вагу поршня, застосування чавуну обмежене (таблиці 2.8, 2.9 і 2.10). В основному чавунні поршні знайшли своє застосування в поршневих компресорах, в яких застосування поршнів з легких сплавів перешкоджає корозії. Також вони застосовуються в стаціонарних та тракторних двигунах із запаленням від стиску, що характеризуються низькою термічною та механічною напруженістю. Чавунні поршні можуть застосовуватися в двотактних двигунах із запаленням від стиснення, до поршні яких не пред'являються підвищені вимоги щодо ваги поршня. В цьому випадку для зниження температури поршня необхідно масляне охолодження. Для забезпечення необхідної надійності при значних термічних деформації як матеріал для виготовлення поршнів двотактних двигунів використовуються більш в'язкий ковкий чавун і модифікований сірий чавун.

Таблиця 2.7 – Хімічний склад СЧ24, % .

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
2.9-3.2	1.2-1.6	0.8-1.2	до 0.2	до 0.15	до 0.3	до 0.5

Таблиця 2.8 – Механічні властивості виливків із сірого чавуну СЧ24.

Марка	Межа міцності, МН/м ² (кгс/мм ²)		Твердість за Брінеллем, НВ	Тимчасовий опір при розтягуванні σ_v , МПа (кгс/мм ²)
	При розтягуванні	При згинні		
СЧ24	240 (24)	440 (44)	170...241	240 (24)

Таблиця 2.9 – Тимчасовий опір при розтягуванні та твердість у стінках виливки різного перерізу

Марка чавуну	Товщина стінки виливки, мм						
	4	8	15	30	50	80	150
Тимчасовий опір при розтягуванні, МПа, щонайменше							
СЧ24	310	270	250	210	180	165	150
Твердість НВ, не більше							
СЧ24	260	255	245	238	187	170	156

Фосфор вводять для збільшення рідини, одночасно підвищуючи зносостійкість і схильність чавуну до зростання. Легуванням покращують властивості чавунів, так для збільшення твердості та зносостійкості вводять хром, для подрібнення структури та зменшення теплового розширення – нікель (таблиця 2.7). Головними перевагами чавунних поршнів є: міцність, зносостійкість, мінімальний коефіцієнт лінійного розширення [10].

Висновок: Розглянувши ряд матеріалів для виготовлення поршня, бачимо, що чавун і алюмінієвий сплав АК12, слід виключити і списку, оскільки їм властивий ряд серйозних недоліків, основними з яких є невисока міцність втомі, що зменшується при підвищенні температури, незначна зносостійкість. А також робота поршнів із СЧ24 та алюмінієвого сплаву АК12, неможлива, при високій температурі. Незважаючи на те, що сплав силумін АК12 володіє меншим коефіцієнтом теплового розширення, трохи меншим ніж у АК4, найбільше досліджуваних матеріалів відповідає вимогам для виготовлення поршня сплав АК4, за механічними властивостями значно перевищує сплави АК12 і СЧ24, також він стійкий до впливу високої температури, має мінімальний коефіцієнт розширення.

Таблиця 2.10 – Фізичні властивості чавуну з пластинчастим графітом

Марка чавуну	Щільність, ρ кг/м ³	Лінійне усадження, ϵ , %	Модуль пружності при розтягуванні, $E \times 10^{-2}$ МПа	Питома теплоємність при температурі від 20 до 200°C, C , Дж/(кг×К)	Коефіцієнт лінійного розширення при температурі від 20 до 200°C, α 1/°C	Теплопровідність при 20 °C, λ , Вт (м × К)
СЧ24	$7,2 \times 10^3$	1,2	Від 900 до 1100	500	$10,0 \times 10^{-6}$	50

Алюмінієвий силумін АК4 практично не зазнав корозійних руйнувань в бензині і моторному маслі, так як цей сплав, виготовлений з додаванням кремнію, має хорошу корозійну стійкість по відношенню до низьких агресивних середовищ, що відповідає вимогам до вибору матеріалу для виготовлення поршня.

Таким чином, вибір матеріалів для виготовлення деталей ДВЗ здійснюється тільки при їх ретельному дослідженні, для досягнення заданих експлуатаційних характеристик матеріалів при строгому виконанні всіх режимів у процесах виготовлення та зміцнюючої термічної обробки виробу. Остаточний вибір матеріалу для поршня здійснено з урахуванням основних вимог до поршня, його технологічності виготовлення деталі. Отже, серед трьох пропонованих матеріалів: сірого чавуну, алюмінієвих сплавів АЛ2, АК4, заданій умові та вимогам відповідає тільки алюмінієвий сплав АК4.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Легуючі елементи сплаву АК4.

Для поліпшення фізико-механічних властивостей силумінів вводять різні легуючі добавки. Магній трохи підвищує корозійну стійкість, підвищуються механічні властивості та оброблюваність різанням. У магнію мала щільність (1,74 г/см³), що важливо при виготовленні легких деталей літаків і здатність поглинати вібрації.

Залізо знижує корозійну стійкість та пластичність алюмінію, але дещо підвищує його міцність. Залізо - шкідлива домішка не тільки в алюмінії, а й у сплавах алюмінію з кремнієм та магнієм. В анодному алюмінії залізо є шкідливою домішкою. Однак у жароміцних алюмінієвих сплавах залізо є корисною домішкою.

Кремній – робить найбільший внесок у зміцнення металу, що утворює з алюмінієм евтектику. Розчинність кремнію в алюмінії при евтектичній температурі (577 °С) становить 1,65 %, а при кімнатній – 0,05 %. Якщо вміст кремнію в сплаві вище 0,05 %, у структурі алюмінію відбувається виділення крихкого твердого розчину кремнію з алюмінієм (98 % Si) у вигляді голкоподібних кристалів, які, розташовуючись по межах зерен алюмінію, різко зменшують пластичність сплаву та його тріщиностійкість. Кремній у алюмінієвих сплавах покращує їх ливарні властивості, знижує температуру плавлення. Введення кремнію в сплави типу магналій сприяє також зменшенню чутливості до утворення тріщин та підвищення жароміцності.

Нікель як і хром підвищує жароміцність сплавів, загальмовуючи процеси дифузії та утворюючи стабільні складнолеговані зміцнюючі фази.

Титан – подрібнює зерна у виливках та зливках, що дуже підвищує міцність та рівномірність властивостей у всьому обсязі.

Марганець – вводиться в поєднанні типу магналій підвищує жароміцність та покращує корозійну стійкість алюмінієвих сплавів.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Цинк – зміцнює алюмінієву матрицю. Додаток до алюмінієво-кремнієвого сплаву до 6 % міді призводить до підвищення втомної міцності, покращує теплопровідність, забезпечує хороші ливарні якості і, отже, меншу вартість виготовлення. Однак при цьому дещо знижується зносостійкість поршня. Використання як легируючі добавки натрію, азоту, фосфору збільшує зносостійкість сплаву [11].

2.2 Технології виготовлення поршнів.

Заготовки поршнів з алюмінієвих сплавів отримують шляхом виливки в кокіль або ізотермічним штампуванням, при ізотермічному штампуванні матеріал не розплавляють, а попередньо нагрівають його до стану пластичної деформації і штамнують на гідравлічному пресі в спеціальній оснастці. зносостійкості, а також для попередження жолоблення при експлуатації. Ковані поршні поки що використовуються рідше, ніж литі [12].

У серійному та масовому виробництві поршні з алюмінієвих сплавів відливають, але найміцнішими поршнями вважаються - ковані, тобто зроблені із заготовок, отриманих методом лиття, а згодом підданих куванню. Для кожного металу існує своя кувальна температура, у алюмінію вона не висока - в районі 500 °С.

Лиття в кокіль - найпростіший технологічний процес, що дозволяє використовувати поршневі сплави з низьким коефіцієнтом лінійного розширення (КЛР) і отримувати виливки складної конфігурації. Однак у даному випадку виявляються два істотних недоліки: невисока якість заготовок (наявність дефектів) і низький коефіцієнт використання металу (КВМ), оскільки велика кількість металу йде у відходи ливарного виробництва. Заготовки, отримані гарячим штампуванням сплавів, що деформуються, відрізняються високою якістю, але деформовані сплави в

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

порівнянні з ливарними мають на 15-20% вищі значення КЛР, а КВМ при гарячому штампуванні ще менше, ніж при литті в кокіль, так як метал йде у відходи виробництва - облії та напуски від штампувальних ухилів [12]. Розглянемо їхню відмінність і призначимо раціональну технологію виготовлення (таблиця 2.11).

Таблиця 2.11 – Порівняльна характеристика литих і кованих поршнів

№		Литі поршні	Ковані поршні
1.	Застосування	Для легкових автомобілів, двигунів, які не сприймають важкі навантаження.	Для форсованих двигунів, тому що литі не здатні витримувати високих навантажень.
2.	Обсяг продукції, що виготовляється	Серійне, масове виробництво	Одиничне виробництво
3.	Вартість	Дешевші	Дорожчі
4.	Вага	Легші	Тяжкі
5.	Міцність	Литі поршні поступаються кованим	
6.	Структура	Крупна	Дрібна
7.	Твердість, од.	80-90	130
8.	Робоча температура днища	До 200 °С	До 350 °С та вище
9.	ЛЕ	Бажано менший вміст Si	Бажано більший вміст Si
10.	Термоциклічна стійкість		В 6 раз більше

№ 4 таблиця 2.11. Двигун працює у важких умовах, тому всі його комплектуючі зазнають дуже великого навантаження, особливо поршні. При високих навантаженнях поршні, які рухаються з дуже великою швидкістю зазнають великих навантажень, причому чим більше вага поршня тим навантаження більше. Ковані у свою чергу, легші за литі, тому навантаження на них менші.

№ 5 таблиця 2.11. При виготовленні литих поршнів, утворюється велика кількість мікроскопічних дефектів, які не виявляються при заданій потужності двигуна, але при збільшенні потужності двигуна навантаження на поршень істотно збільшується і можлива деформація або руйнування поршня.

№ 9 таблиця 2.11. Зміст кремнію дуже впливає на технологію виготовлення, тому ковани і литі поршні виготовляють різних сплавів. При виготовленні кованих поршнів використовують сплави з великим вмістом кремнію, який дає хорошу теплостійкість, невелике теплове розширення, а при литті утворюються дефекти і відбувається нерівномірна кристалізація частинок кремнію, утворюється тендітна структура [10].

У цій дипломній роботі ми розглядаємо серійне виробництво, тому, незважаючи на всі позитивні характеристики ізотермічного штампування, вибираємо лиття як основний спосіб виготовлення поршня легкового автомобіля.

Вимоги до кокілів.

Перед початком заливання кокіль готують до роботи:

1. Поверхня робочої порожнини та роз'єм ретельно очищають від слідів забруднень, іржі, олії;
2. Перевіряють легкість переміщення рухомих частин, точність їхнього центрування, надійність кріплення;
3. На поверхню робочої порожнини та металевих стрижнів наносять вогнетривкі облицювання та фарби (покриття) [11].

Після нанесення вогнетривкого покриття кокіль нагрівають до робочої температури, що залежить в основному від складу сплаву, що заливається, товщини стінки виливки, її розмірів, необхідних властивостей. Зазвичай температура нагріву кокіля перед заливкою 150-250 °С. Виробляють заливку. Після охолодження виливка до заданої температури кокіль розкривають і видаляють виливок з кокіля. Потім цикл повторюється [12].

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3 Термічна обробка поршня.

Термічна обробка алюмінієвих сплавів проводиться для отримання заданих властивостей, забезпечується часом нагріву до заданої температури, часом витримки за цієї температури і швидкістю охолодження. Різними способами теплової обробки можна досягти широкого розмаїття структури та властивостей. Час нагріву залежить від типу печі, розмірів деталі, їх укладання в печі; час витримки залежить від швидкості перебігу фазових перетворень.

Силуміни слабо зміцнюються термічною обробкою, їх властивості суттєво залежать від технології лиття, проте для їх зміцнення застосовують загартування та старіння, а для усунення нерівноважних структур та деформаційних дефектів будови, що знижують пластичність сплаву, – відпал.

2.3.1 Гартування алюмінієвих сплавів.

Загартування полягає в отриманні в сплаві гранично нерівноважного фазового стану (пересиченого твердого розчину з максимальним вмістом легуючих елементів). Такий стан забезпечує, з одного боку, безпосереднє підвищення (порівняно з рівноважним станом) твердості та міцності, а з іншого боку, можливість подальшого зміцнення при подальшому старінні. Загартування застосовують для сплавів, що зазнають фазових перетворень у твердому стані. У алюмінієвих сплавах, що використовуються в промисловості, спостерігається лише один вид фазових перетворень.

Загартування полягає в нагріванні сплаву до температури, при якій надлишкові інтерметалідні фази повністю або здебільшого розчиняються в

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

алюмінії, витримці при цій температурі та швидкому охолодженні до нормальної температури для отримання пересиченого твердого розчину.

Температура нагрівання під загартування повинна забезпечити якнайповніше розчинення інтерметалідних фаз в алюмінії, при цьому важливо, щоб охолодження було досить швидким. Основною особливістю алюмінієвих сплавів є малий інтервал температур нагріву під загартування.

Температура нагрівання під загартування різних промислових сплавів коливається не більше від 450 до 560 °С.

Правильність вибору температури під загартування забезпечує якість виробу, так при значно високих температурах спостерігається несправне явище – перепал (оплавлення по межах зерен), що призводить до утворення тріщин, бульбашок на поверхні напівфабрикатів, знижуються опір корозії, механічні властивості та опір крихкому руйнуванню. Це явище не можна виправити і заготівля зазвичай відправляється до інших бракованих виробів.

Витримка при температурі нагрівання під загартування має бути мінімальною, забезпечувати розчинення інтерметалідних фаз, тому вона залежить від величини частинок та характеру їхнього розподілу. У деформованих виробах інтерметалідні фази перебувають у основному вигляді дрібних вторинних кристалів, а виливках - як досить грубих евтектичних включень. Звідси різна тривалість витримки при температурі нагрівання під загартування для сплавів, що деформуються, вона вимірюється десятками хвилин, а для ливарних - годинами або навіть десятками годин.

Необхідна швидкість охолодження при загартуванні визначається швидкістю випадання надлишкових фаз з переохолодженого та пересиченого твердого розчину. Охолодження при загартуванні слід проводити з такою швидкістю, яка забезпечить відсутність розпаду твердого розчину в процесі охолодження. Ця швидкість повинна бути

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

більшою за певну певну для кожного сплаву критичної швидкості охолодження $V_{кр}$, яка визначається як найменша швидкість охолодження сплаву, при якій розпад твердого розчину в процесі охолодження ще не відбувається. Значення критичних швидкостей охолодження для різних сплавів можуть бути визначені приблизно за діаграмами ізотермічного розпаду переохолодженого твердого розчину. Частковий розпад твердого розчину знижує механічні властивості та корозійну стійкість після старіння. Щоб уникнути часткового розпаду твердого розчину, час перенесення нагрітого напівфабрикату (деталі) з печі в гартований бак не повинен перевищувати 15-30 с. Прожарюваність алюмінієвих сплавів становить $d_k=120-150$ мм [12]. Після гарту сплави мають порівняно невисоку міцність $\sigma_{B \sigma_{0,2}}$ і високу пластичність δ, ψ .

2.3.2 Вибір охолоджуючого середовища при загартуванні.

У промисловості більшість алюмінієвих сплавів при загартуванні охолоджують у воді (як правило, у холодній, іноді підігрій). Однак охолодження у воді не може розглядатися як оптимальний варіант загартування у всіх випадках. Дуже висока швидкість охолодження при загартуванні у воді призводить до утворення великої внутрішньої напруги, яка зумовлює короблення виробів. Це особливо проявляється у великогабаритних виробах складної конфігурації, правка яких після гарту дуже трудомістка і дорога. Вибір кожного сплаву охолоджуючих середовищ, які забезпечують охолодження зі швидкістю більше критичної, але менше, ніж у воді - актуальне завдання [12].

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.3 Прожарювання.

При подальшому старінні виріб зміцнюється нерівномірно по товщині, тому важливо визначити прожарюваність алюмінієвого сплаву, залежність прожарювання від марки алюмінію і форми заготівлі. Прожарювання є важливою характеристикою алюмінієвих сплавів, що дозволяє оцінювати можливість наскрізного гарту різних за перерізом і габаритами напівфабрикатів і деталей.

Прожарювання - здатність сплаву зберігати після гарту ступінь пересичення твердого розчину, яка забезпечує при старінні необхідні властивості. Прожарюваність залежить від критичної швидкості охолодження і від всіх факторів, що впливають на стійкість пересиченого твердого розчину, також певний вплив на рівень прожарювання надають габарити і конфігурація деталей, їх розташування в садку, стан поверхні деталей. Прожарювання тим вище, чим менша критична швидкість охолодження.

2.4 Старіння матеріалу.

Старіння є витримкою загартованого сплаву при деяких відносно низьких температурах, при яких починається розпад пересиченого твердого розчину або в твердому розчині відбуваються структурні зміни, що є підготовкою до розпаду.

Мета старіння – додаткове підвищення міцності загартованих сплавів.

Розпадом називають процес, в результаті якого з однієї фази (пересичений твердий розчин) утворюються дві фази: твердий розчин, збіднений легуючими компонентами та виділення інтерметалідів, що відрізняються від твердого розчину за складом та кристалічною решіткою, і відокремлені від твердого розчину поверхнею розділу.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

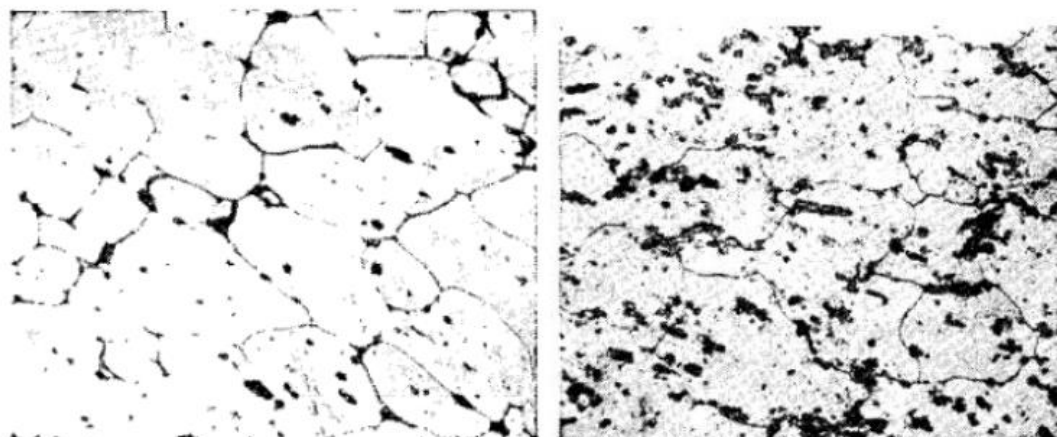
Сильна пересиченість твердого розчину в загартованому металі зумовлює його термодинамічну нестабільність. Розпад твердого розчину, що наближає фазовий стан до рівноважного, а отже, до зменшення вільної енергії сплаву, є мимовільним процесом. У багатьох загартованих алюмінієвих сплавах підготовчі стадії розпаду, а іноді і початок власне розпаду проходять без спеціального нагріву, при вилежуванні в природних умовах у цеху, на складі або в іншому приміщенні, де зберігаються вироби, де температури зазвичай знаходяться в межах від 0 до 30 °С. У деяких алюмінієвих сплавах підготовка до розпаду та початкові стадії розпаду відбуваються лише при нагріванні загартованого металу до температури 100...200 °С. Сенса цього нагріву – термічна активація дифузійних процесів.

Витримку загартованих алюмінієвих сплавів у природних умовах (при температурі навколишнього середовища), що призводить до певних змін структури та властивостей (міцність, як правило, підвищується), називають природним старінням. Нагрів загартованих алюмінієвих сплавів до відносно невисоких температур (зазвичай в інтервалі 100...200 °С) і витримку при цих температурах (не більше від кількох годин до кількох десятків годин) називають штучним старінням. Здатність багатьох алюмінієвих сплавів до старіння при кімнатній температурі зумовила виникнення стосовно алюмінієвих сплавів терміна "свіжозагартований стан", тобто. стан сплаву безпосередньо після загартування.

Властивості алюмінієвих сплавів у свіжозагартованому стані можуть значно відрізнятись від їх властивостей через певний час після загартування (внаслідок природного старіння). Природне і низькотемпературне штучне старіння пов'язані з тонкими змінами структури, які виявляються у світловому, а деяких випадках й у електронному мікроскопі. І лише спеціальні методи рентгеноструктурного

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

аналізу дозволили Гінє та незалежно від нього Престону описати механізм підготовчих стадій розпаду пересиченого твердого розчину.



а

б

Рисунок 2.1 – Мікроструктура сплаву АК4:

а - після загартування; б - після загартування та штучного старіння.

Старіння істотно змінює властивості сплаву АК4: у свіжозагартованому стані (тобто при випробуванні відразу після загартування) межа міцності дещо підвищується: $\sigma_{в} \approx 420$ МПа – після старіння межа міцності значно зростає і досягає 600 МПа (рисунок 2.1). При природному старінні (20 °С) міцність стає максимальною через 4–5 діб після гарту, причому швидкість зміцнення у перші години значно менше, ніж у наступні, але потім інтенсивність зміцнення зменшується. Типовий хід кривої зміцнення при природному старінні показаний на рисунку 2.2.

Початковий період, що характеризується відсутністю або слабким підвищенням міцності, називається інкубаційним. Інкубаційний період має важливе технологічне значення, тому що в цей момент сплав має велику здатність до пластичної деформації і загартовані деталі можна піддавати різноманітним технологічним операціям, пов'язаним з деформацією (розклепування заклепок, згинання, відбортування тощо). Через 2-3 години здатність пластично деформуватися починає різко зменшуватися і ці операції стають нездійсненними.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

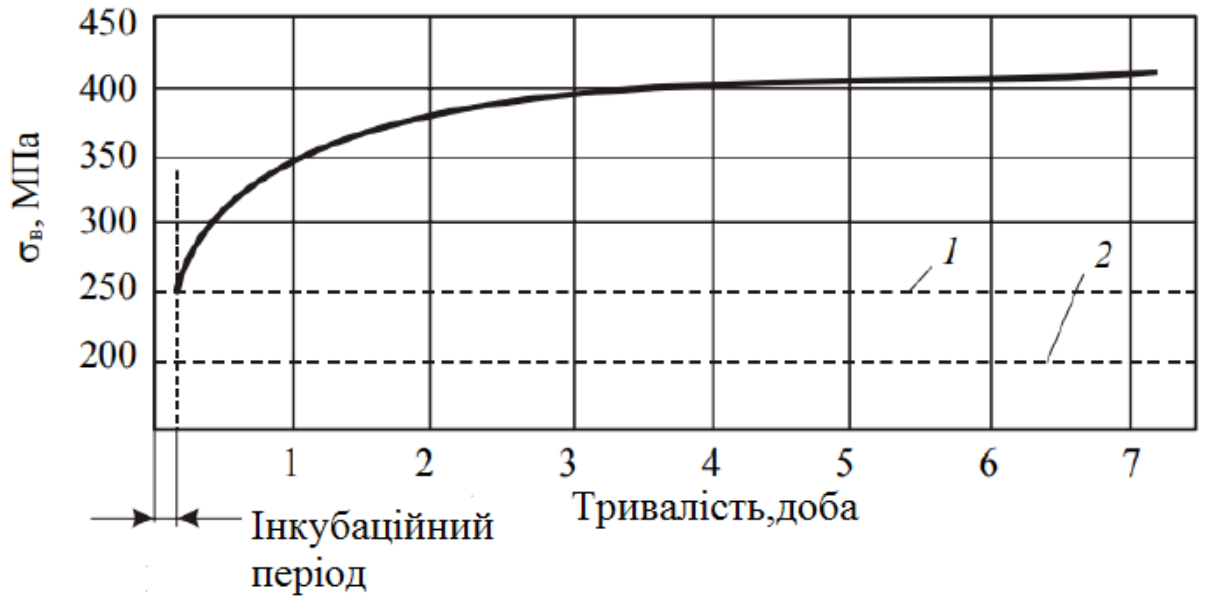


Рисунок 2.2 – Зміна міцності при природному старінні алюмінієвого сплаву:

1 - загартований стан; 2 – відпалений стан

Природно зістарений стан металу є нестійким. Якщо недовго витримати природне старіння алюмінієвий сплав при 200-250С⁰, то він розміцнюється. Дисперсні частинки надлишкової фази, що виділилися, розчиняються і сплав отримує властивості, характерні для свіжозагартованого стану, так як він знову набуде здатності до природного старіння. Це явище (тобто повернення до свіжого загартованого стану після короткочасного нагріву) називається поверненням.

При старінні металу Al – Si протікають такі процеси. Друга фаза (тобто виділення з твердого розчину) виразно виявляється після штучного старіння при температурі вище 200С⁰ (рисунок 2.2), коли сплав не має максимальної міцності.

Рентгеноструктурний аналіз показує, що коли сплав при природному старінні досягає максимальної міцності, надлишкова фаза в звичайному сенсі відсутня і зміцнення не пов'язане з розпадом твердого

розчину (рисунок 2.3). Сучасні уявлення про механізм старіння, що підтверджуються особливим методом рентгеноструктурного аналізу і електронною мікроскопією, що просвічує, такі: – у процесі природного старіння відбуваються підготовчі до виділення процеси, саме виділення може відбутися лише при більш високих температурах, що забезпечують достатню швидкість атомних переміщень; – у початковий період старіння (перша стадія старіння) у пересиченому твердому розчині атоми міді, розташовані у свіжозагартованому сплаві у випадкових місцях, збираються у певних місцях кристалічної решітки, в результаті всередині кристала утворюються зони підвищеної концентрації розчиненого компонента – Cu, їх називають зони Гінье – Престона (зони Г – П.) [10, 11];

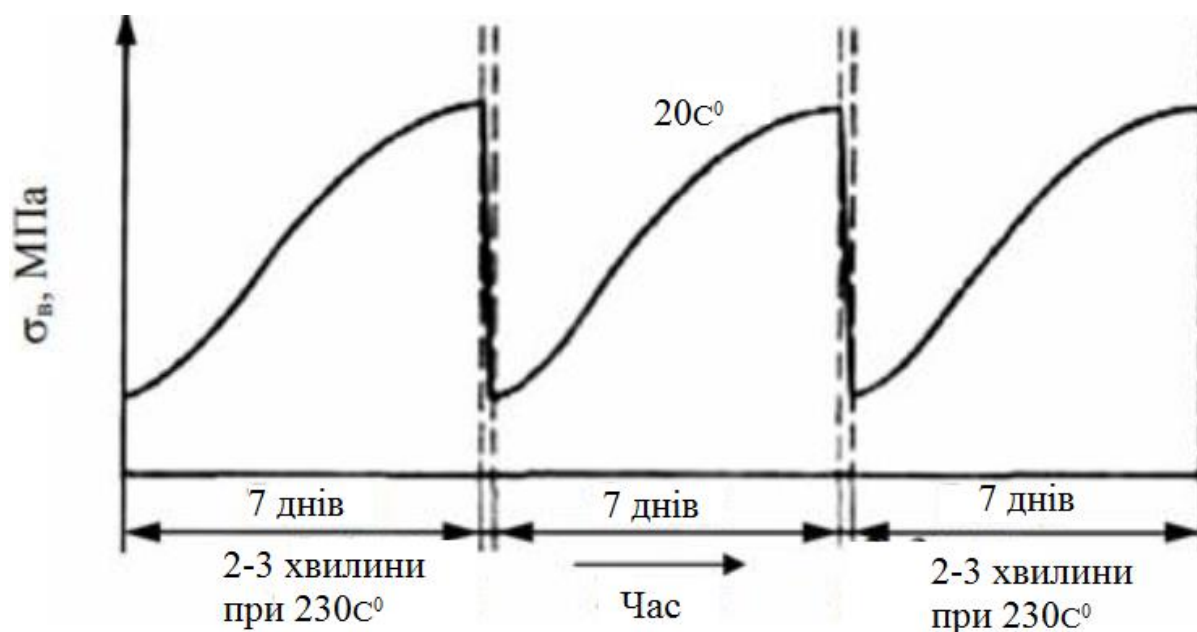


Рисунок 2.3– Криві старіння після повернення до загартованого стану (короткочасне нагрівання при температурі 23°C)

– атоми міді на цій стадії старіння з розчину не виділяються, тому середнє значення параметра решітки не змінюється;

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

– у місцях підвищеної концентрації другого компонента – Cu параметр інший, ніж у збіднених, це створює більшу напругу в кристалі та дробить блоки мозаїки, що й призводить до підвищення твердості;

– вміст міді у зонах Р. – П. підвищений, але ще відповідає формулі CuAl_2 ;

– зони Р. – П. є тонкими пластинчастими, дископодібними утвореннями товщиною в кілька атомних шарів і протяжністю в кілька десятків атомних шарів (рисунок 2.4, а).

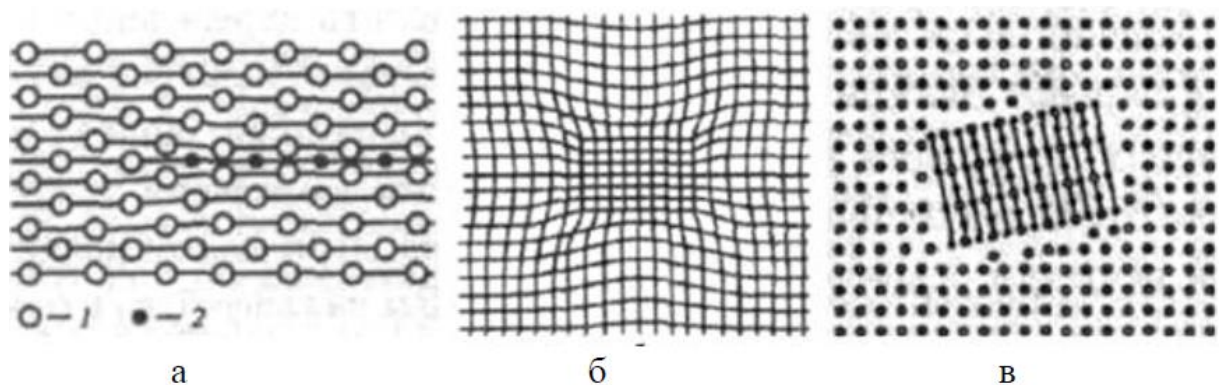


Рисунок 2.4 – Типи виділень із пересиченого твердого розчину:

а– зона Г.–П.:1– атоми розчинника Al; 2 – розчинені атоми Cu;

б – кристали метастабільної фази θ' (когерентне виділення);

в – кристали стабільної фази θ (некогерентне виділення)

Вказуються такі розміри: товщина – 0,5–1 нм, діаметр 4–10 нм;

– подальший розвиток процесу старіння полягає у збільшенні зон (товщина їх досягає 1-4 нм, діаметр 20-30 нм) та підвищенні вмісту в них міді до стехіометричного співвідношення фази CuAl_2 ; прийнято перші (маленькі) зони називати зонами Р. – П.-1, а другі (великі) – зонами Р. – П.-2; процес старіння, що з утворенням зон Р. – П., називають також зонним старінням, відзначаючи цим відмінність від наступної стадії старіння – фазове старіння; – після утворення зон Р. – П.-2 підвищення температури

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

або збільшення витримки при підвищених температурах, наприклад 100°C, призводить до перетворення зон Р. – П.-2 у фазу, що позначається через θ' . Це вже виділення, тобто нова фаза, яка має відмінну від твердого розчину і від стабільної θ -фази (CuAl_2) грати, когерентно пов'язану з матричним твердим розчином (рисунок 2.4, б); – при подальшому підвищенні температури θ' - фаза перетворюється на стабільну θ - фазу (CuAl_2) і відбувається її коагуляція (рисунок 2.4, в). Таким чином, процес старіння включає три стадії: свіжозагартований сплав \rightarrow зони Г. – П. (Г. – П.-1 – Г. – П.-2) $\rightarrow \theta' \rightarrow \theta$ [10, 11].

2. 5 Обґрунтування та розрахунок режимів термічної обробки поршнів

При розрахунку норм часу нагрівання деталі необхідно визначити критерій Bi , який дозволяє віднести вироби до "тонких" або "масивних" тіл, для цього визначимо до якого класу відноситься поршень. Довжина поршня значно перевищує ширину та товщину, тому віднесемо його до класу циліндра.

Поправочний коефіцієнт класу циліндра $m_{ц}$ визначають з виразу:

$$m_{ц} = 1 + \frac{1}{4} Bi, \quad (2.1)$$

Критерій циліндра:

$$Bi = \frac{A_{ц} \cdot \alpha \cdot S_{ц}}{\Delta}, \quad (2.2)$$

Критерій форми:

$$A_{ц} = \frac{P}{\sqrt{4\pi F_{п}}}, \quad (2.3)$$

$$S_{ц} = \sqrt{\frac{F_{п}}{\pi}}, \quad (2.4)$$

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

де Р - довжина периметра поперечного перерізу, мм; Fп – площа поперечного перерізу, мм²; Sц - геометричний розмір, діаметр для циліндра, мм.

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2 + d_3}{3}, \quad (2.5)$$

$$d_{cp} = 62,5/3 = 20,8 \text{ мм}$$

де α - коефіцієнт тепловіддачі, Вт/м²*С; λ - коефіцієнт теплопровідності, Вт/м*С.

$$\alpha = 0,09 \left(\frac{t_p}{100} \right)^{3+10}, \quad (2.6)$$

$$\alpha = 0,09 \cdot \left(\frac{700}{100} \right)^{3+10} = 40,9 \text{ ккал/м}^2\text{С} = 47,6 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{С} = 171360 \text{ Вт/ч} \cdot \text{м} \cdot \text{}^0\text{С}$$

$$A_{\text{ц}} = \frac{318 \text{ мм}}{\sqrt{4 \cdot 3,14 \cdot 6308 \text{ мм}^2}} = \frac{318}{282} = 1,13;$$

$$S_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{6308 \text{ мм}^2}{3,14}} = 44,82 \text{ мм} = 0,04482 \text{ м}$$

$$Bi = \frac{1,13 \cdot 47,6 \text{ Вт/м}^2\text{С} \cdot 0,04482 \text{ м}}{180 \text{ Вт/м}^2\text{С}} = 0,013 \quad (\text{безрозмірна величина}) < 0,25,$$

відноситься до тонких тіл.

Розрахунок часу нагрівання проводиться за формулою для тонких тіл за постійної температури печі:

$$t_{\text{н}} = \frac{G \cdot C}{\alpha \cdot F} * 2,31 \lg \left(\frac{t_{cp} - t_{\text{нн}}}{t_{cp} - t_{\text{нк}}} \right), \quad \text{год}; \quad (2.7)$$

									Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ				

де G маса тіла, кг; C - питома теплоємність, Дж/кг °С; α - коефіцієнт тепловіддачі; Вт/год м °С; F - активна площа, мм².

$$F=2\pi Rh+2\pi R^2=2\pi R(h+R), \quad (2.8)$$

$$F = 238,64 * 121 = 28875 \text{мм}^2 = 0,029 \text{м}^2$$

де t_{сп} - температура печі, °С; t_{мн} - температура кімнатна, °С; t_{мк} - температура загартування, °С.

$$m=V \cdot \rho = \pi r^2 h \cdot \rho, \quad (2.9)$$

$$m=3.14 \cdot 38 \cdot 38 \cdot 83 \cdot 0.0028 \text{г/мм}^3 = 1054 \text{г} = 1 \text{кг}. \quad (2.10)$$

Час нагріву при загартуванні визначають за формулою:

$$\tau_{\text{н}} = \frac{1.797}{171360 \cdot 0,029} 2,31 \lg \left(\frac{700-20}{700-510} \right) = 1,27 \cdot 0,16 = 0,2 \text{ ч} = 12 \text{ хв.}$$

Час витримки при загартуванні розраховують за такою формулою:

$$\tau_{\text{в}} = 2,5 \text{ хв} + 1,3 \text{ хв на } 1 \text{ мм ум. Товщини}, \quad (2.11)$$

$$\tau_{\text{в}} = 2,5 + 1,3 * 20,8 = 29,54 = 30 \text{ хв}$$

Час охолодження знаходимо за формулою:

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau_{OX} = \frac{t_{MK} - t_{MH}}{v_{OXL}}, \text{ хв} \quad (2.12)$$

Швидкість охолодження обчислюється за такою формулою:

$$v_{OX} = C(S/V)n, \quad (2.13)$$

$$v_{OX} = 797(28875 / 376335) 0,9 = 82 \text{ мм/с},$$

де S - повна площа деталі, мм^2 ; V - об'єм деталі, мм^3 ; n - постійна, для алюмінію = 0,9.

За формулою знаходимо час охолодження при загартуванні (рис. 2.5):

$$\tau_{OX} = \frac{510 - 20}{82} = 5.98 \text{ хв}$$

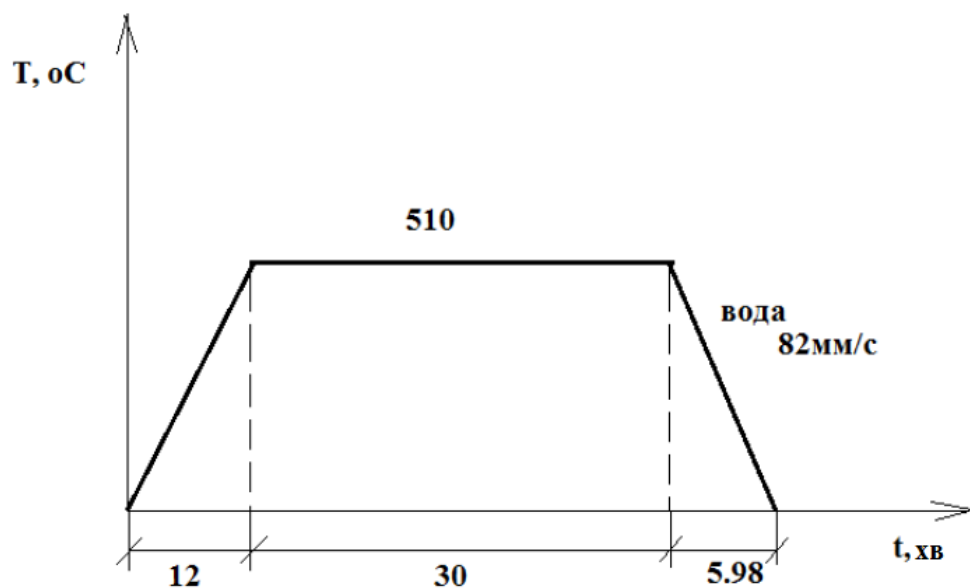


Рисунок 2.5 – Температурні режими загартування.

Час нагріву при старінні визначають за формулою:

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

$$t_{H.відп} = \frac{1 \cdot 797}{171360 \cdot 0,029} \cdot 2,31 \lg\left(\frac{700-20}{700-150}\right) = 0,21 \cdot 0,16 = 0,03 \text{ год.} = 1,8 \text{ хв.}$$

Час витримки при старінні розраховують за такою формулою:

$$T = 15 \text{ год.} + 1 \text{ хв.}$$

На 1 мм. умовної товщини = 15 год. + 20,8 хв. = 15 год. 21 хв.

Час охолодження при старінні (рис. 2.6):

$$t_{ох} = \frac{150-20}{82} = 1,56 \text{ хв.}$$

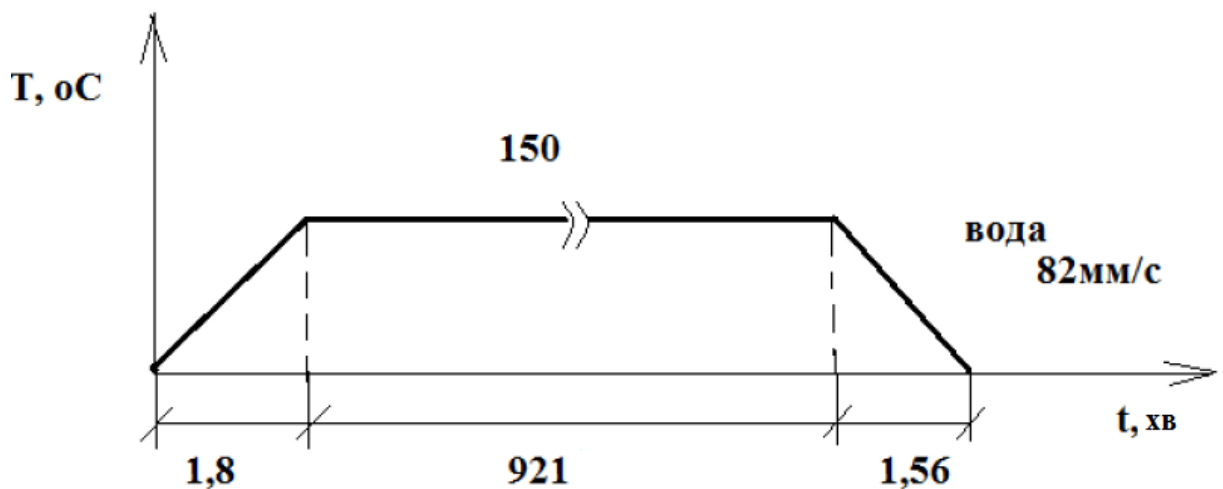


Рисунок 2.6 – Температурні режими штучного старіння

2.6 Нанесення покриття.

Важлива увага приділяється використанню різних покриттів. Поверхня поршня покривають тонким, кілька мкм, шаром [13].

Ця процедура використовується для прискорення припрацювання та підвищення зносостійкості деталі.

Деталі, на основі алюмінієвих сплавів вимагають особливого підходу до обробки перед і під час нанесення покриття, внаслідок моментального утворення тонкої оксидної плівки на поверхні.

Застосовують лудіння, фосфатування та керамічні покриття. Порівняємо характеристики кожного і виберемо найраціональніше.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Лудіння. Поверхню поршня покривають легкоплавким металом – оловом чи сплавами на його основі. Товщина покриття складає 0,005 - 0,002 мм. Існує два методи нанесення олова на поверхню алюмінієвого поршня: метод гальванічного лудіння (застосовується електролітичний і стандартний метод лудіння, при такому методі не потрібно знімати шар окислу алюмінію з заготівлі) і лудіння з застосуванням вакуумно-плазмових технологій нанесення покриттів з попередньою внутрішньокамерною обробкою для очищення поверхні заготовки від оксидів.

Гальванічне лудіння. Даний спосіб покриття має ряд істотних недоліків: недостатньо висока адгезія покриття до основи, його пари вкрай небезпечні для здоров'я, при попаданні на шкіру викликають серйозні ураження, шкідливий для навколишнього середовища.

Вакуумно-плазмові технології. ТВП має кращі характеристики, порівняно з попереднім способом: розряджена атмосфера перешкоджає утворенню оксидної плівки на поверхні алюмінію в процесі обробки, характеризується високою адгезією покриття з основою, володіє кращими фізико-механічними властивостями і безпечні з екологічної точки зору через відсутність шкідливих речовин виробу. Даним способом можна повчати покриття необхідної товщини.

Фосфатування - отримання фосфатної плівки на поверхні металу шляхом занурення виробів у нагрітий до 90 - 100 °С розчин фосфатів заліза, марганцю, цинку та кадмію. Плівка складається з дрібних кристалів, і на відміну різного виду покриттів, хімічно пов'язані з металом, тобто, є єдиним цілим з оброблюваною поверхнею. На поверхні поршня утворюється два шари: внутрішній - еластичний, що міцно з'єднується з металом, і зовнішній - твердий, кристалічний, пористий, що забезпечує поверхні високу міцність, зменшує тертя та пов'язаний з ним знос, завдяки

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

високій маслоємності (рисунок 2.7). Технологією забезпечується створення оптимальної товщини фосфатного шару 5 - 7 мікронів (0,005 - 0,007 мм).

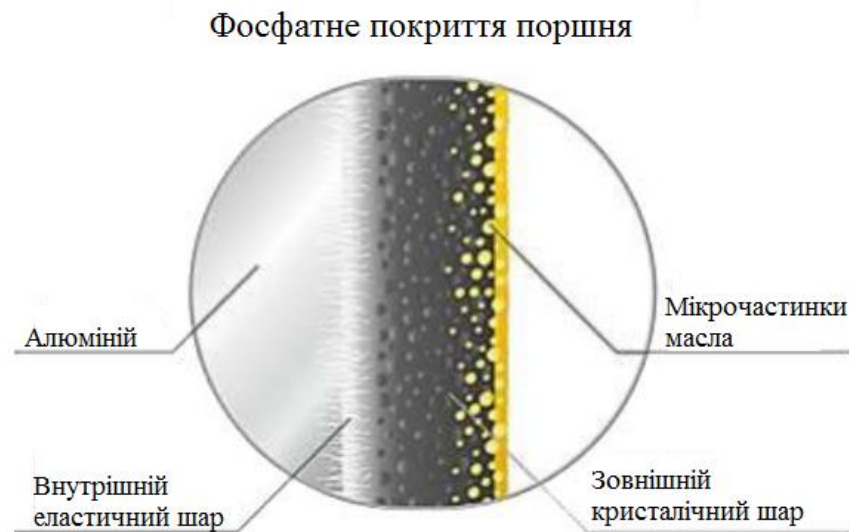


Рисунок 2.7 – Фосфатне покриття поршня.

Переваги [13]:

- стійкість до кислотного середовища зростає у 10 разів і вище;
- маслоємність поверхні зростає у 2 - 4 рази порівняно з необробленою поверхнею: з 2,5 до 7 - 10 г/см²;
- захисні властивості фосфатної плівки не знижуються до температури 500 °С;
- Коефіцієнт тертя знижується на 25 - 30%;
- Міцність (еластичність) плівки однакова з еластичністю матеріалу поршня.

Керамічні покриття.

Проводилося безліч досліджень керамічних покриттів ДВЗ. Результати досліджень для дизельних та бензинових ДВС практично однакові. Кераміка має гарні ізолюючі властивості, а особливо здатність поглинати тепло в шарах біля поверхні поршня. Шар, що утворюється, є ефективним ізолятором і утримує тепло від проникнення в матеріал. Головними

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

перевагами керамічного покриття є: стійкість до високих температур, висока хімічна стійкість, висока твердість, низька щільність, стійкість до зношування, низький коефіцієнт теплопровідності, висока межа міцності на стиск.

Розглянувши характеристики покриттів для поршнів нами обрано фосфатування, так як воно найбільше задовольняє вимогам до покриття, покращує характеристики поршня і за вартісними характеристиками задовільний.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

РОЗДІЛ 3. ПЛАНУВАННЯ ТЕРМІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

3.1. Характеристика заданого виробництва.

Тип виробництва визначається багатьма факторами, основними з яких є величина річної програми випуску та вага виробу (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Залежність типу виробництва від обсягу випуску та маси деталі [14].

Вага деталі, кг	Величина річної програми, шт				
	Одиничне	Дрібно серійне	Середньо серійне	Велико серійне	Масове
<=1	<10	10-1500	1500-75000	75000-200000	>200000
1-2,5	<10	10-1000	1000-50000	50000-100000	>100000
2,5-5	<10	10-500	500-35000	35000-75000	>75000
5-10	<10	10-300	300-25000	25000-50000	>50000
>10	<10	10-200	200-10000	10000-25000	>25000

Вага деталі 1 кг, програма випуску 9800 шт/рік, тоді за таблицею 3.1 знаходимо, що це середньосерійне виробництво. Таке виробництво характеризується обмеженою номенклатурою виробів, що виготовляються партіями, що періодично повторюються, і порівняно великим обсягом і випуску. При середньосерійному виробництві вироби запускаються у виробництво партіями, що складаються з однойменних та однакових за розмірами виробів. Технологічний процес зазвичай диференційований, тобто, поділено на окремі операції, закріплені за кожним верстатом.

									Арк.
									60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ				

Застосовуються різноманітні верстати універсальні, спеціалізовані, спеціальні, автоматизовані та агрегатні. Ріжучі інструменти як стандартні, і спеціальні. Як вимірювальний інструмент застосовуються придельные калібри та шаблони. Середньосерійне виробництво економічніше одиничного тому що краще використовується обладнання, збільшується продуктивність праці та знижується собівартість продукції

3.2 Розрахунок та вибір потрібної кількості обладнання.

Щоб знайти необхідну кількість пічного обладнання, треба визначити його тривалість роботи щодо кожної операції термічної обробки [14]:

$$E = Q / P, \quad (3.1)$$

де E - тривалість роботи обладнання; Q - річний обсяг випуску термооброблюваних виробів; P - годинна продуктивність. (СНЗ-2,5.5.1,7/10 вміщує 18 поршнів) $E=980018=544$.

Потрібна (розрахункова) кількість печей визначається за формулою:

$$C_p = E / F; \quad (3.2)$$

де C_p - розрахункове (теоретичне) число печей даного типу; F - дійсний фонд часу роботи обладнання:

$$F = D \cdot \left(1 - \frac{\Pi}{100}\right) \left(1 - \frac{B}{100}\right), \quad (3.3)$$

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

де Д - кількість робочих днів на рік, (на 2023 рік - 274 робочих дні); ч - кількість робочих годин на добу, 16- при двозмінному режимі роботи; В - втрати на ремонт та ін, %; П - втрати а переналагодження режимів, %.

В=П: 365 - 274 = 91 (вихідні дні), тоді:

$$\frac{365 - 100}{91} \cdot x$$
$$x = 25\%$$

$$F = 274 \cdot 16 \left(1 - \frac{25}{100}\right) \left(1 - \frac{25}{100}\right) = 2466$$

$$C_p = \frac{544}{2466} = 0,22 = 1$$

Приймаємо 1 піч.

3.3 Устаткування для термічної обробки.

Обладнання на виробництві: камерна піч СНЗ-2,5.5.1,7/10 для гартування та відпуску; гартувальний бак-охолодження; складальне місце; мостовий електричний кран; розчин фосфатів.

Печі для загартування та старіння. Для проведення операцій загартування та старіння використано дві однакові печі СНЗ-2,5.5.1,7/10, країна виробник: Україна, ТОВ «Бортек» [15].

Камерні печі дуже зручні в експлуатації, тому широко застосовуються у промисловості. Вони мають широкий діапазон рівня робочої температури і тому використовуються для різних видів термообробки як дрібних деталей в піддонах, так і великих виробів.

Нагрівальні елементи в цих печах встановлюються залежно від робочої температури на стінках, поду робочої камери, на склепінні, а у великих печах - і на внутрішній поверхні дверцят футеровки. При цьому досягається більша рівномірність нагрівання камери печі. Залежно від виду

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

термообробки камерні печі можуть працювати із захисною (серія СНЗ) або окислювальною повітряною атмосферою (серія СНО).

Печі СНО розраховані для широкого споживача. У разі необхідності захисної атмосфери такі печі встановлюють спеціальні герметичні контейнери, де створюється необхідна для термообробки атмосфера. Печі серії СНЗ розраховані на подачу захисної атмосфери ззовні.

Для електричних печей позначення проводиться буквами та цифрами. Розшифруємо літери, вибраної нами печі СНЗ-2,5.5.1,7/10

Перша літера - вид нагріву: С означає нагрівання опором.

Друга буква визначає конструкцію печі Н - камерна періодичної дії.

Третя буква в індексі печі характеризує середовище 3 – захисна, контрольована атмосфера.

Цифри в чисельнику вказують розміри робочого простору - ширину, довжину, висоту, у знаменнику вказується максимальна температура печі в сотнях ° С.

Зовнішній вигляд та технічні характеристики камерної пічі із захисною атмосферою СНЗ-2,5.5.2,5/12,5 И2 Гк та вентилятором зображено на рисунку 3.1 та в таблиці 3.2. [15]



Рисунок 3.1 – Камерна піч із захисною атмосферою СНЗ-2,5.5.2,5/12,5 И2 Гк та вентилятором.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

Таблиця 3.2 – Технічні характеристики СНЗ-2,5.5.2,5/12,5 И2

1	Параметри електроживлення	3×380 В, 50 Гц
2	Номінальна потужність, кВт	12 ±3
3	Максимальна вага завантаження, кг	50
4	Максимальна температура в робочому просторі, °С	1250
5	Діапазон автоматичного регулювання температури, °С	40...1250
6	Розміри робочого простору, ширина×довжина×висота, мм	250 × 500 × 250
7	Стабільність підтримки температури в сталому тепловому режимі, без садки, °С, не гірше	± 3
8	Нерівномірність розподілу температури по камері печі в сталому тепловому режимі, без садки, °С	± 5
9	Середовище в робочому просторі	Інертний газ
10	Тип терморегулятора / Тип термопари	ТРП-09-ТП / ТПП

Електропіч СНЗ-2,5.5.2,5/12,5 И2 Гк камерна, із захисною атмосферою та газощільним корпусом. В якості захисної атмосфери можуть використовуватись аргон, або азот (постачається у балонах). Не допускається наявність в печі струмопровідного, або агресивного газу, що може пошкодити елементи печі. В разі необхідності використання такого газу встановлюється реторта з відповідного матеріалу. Електропіч оснащена системою автоматичного керування температури на основі безконтактних твердотільних реле і цифрового терморегулятора (програмованого) з інтерфейсом та програмним забезпеченням для зв'язку з персональним комп'ютером та з можливістю запису процесу. Піч футерована сучасними енергозберігаючими вогнетривкими матеріалами. Циркуляційний вентилятор з дифузоровим з жароміцної сталі

										Арк.
										64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ					

встановлюється в перекритті для підвищення однорідності розподілу температури у робочому просторі печі.

Конструкція печі може складатися із металевих нагрівачів 2 (до 1000 °С). Даний тип камерних печей відрізняється високим ступенем автоматизації і складністю конструкції, що задовольняють вимогам до нього.

Захисна атмосфера вводиться газопроводом 4 через задню торцеву стінку (рисунок 3.2). У нижній частині кожуха печі 6 кріпиться трубопровід 7 із двох ліній: по одній подається газ, по іншій-повітря. Газ і повітря змішуються в пальнику і, згоряючи, створюють полум'яну газову завісу при відкритих дверцятах 1. Нагрівальні елементи 2 розташовуються на поду 5 і стінках робочої камери. Електропечі серії СНЗ застосовуються для відпустки, відпалу, нормалізації та загартування.

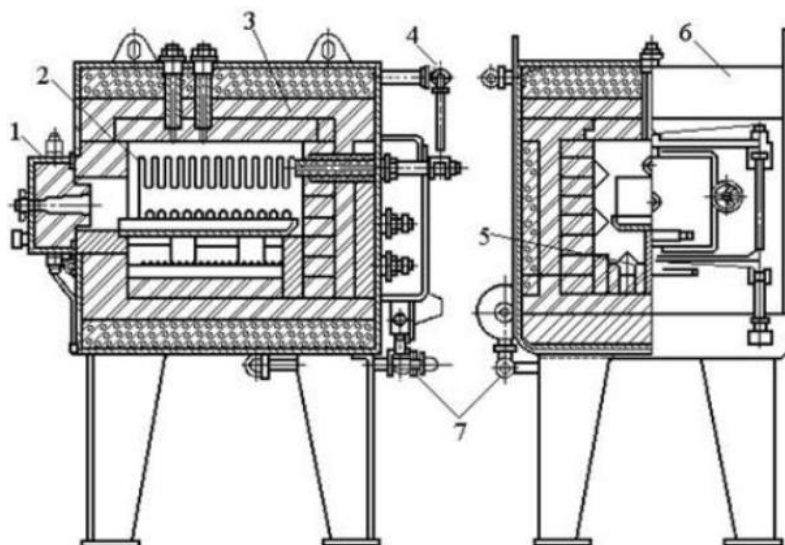


Рисунок 3.2 – Елементи камерної електричної пічки з контрольованою атмосферою типу СНЗ-2,5.5.1,7/10:

1 - дверцята, 2 - бічний нагрівач, 3 - футеровка, 4 - газопровід, 5 - під, 6 - кожух, 7 - трубопровід

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Контроль температури здійснюється за допомогою термопар. Для завантаження та вивантаження камерних печей використовують універсальні типові вантажні засоби типу візків із підйомниками.

Міжопераційне транспортування завантаження всередині печі з камери в камеру між печами механізовано. Основні конструктивні рішення загальних для всіх камерних електропечей вузлів – теплоізоляції (футерування), нагрівачів, дверцят, системи регулювання температури та атмосфери – визначаються головним чином рівнем номінальної температури печі, а також специфікою, пов'язаною з призначенням печі.

Робоча температура печі автоматично регулюється. Кожух печі герметичний, дротяні нагрівачі розташовані на поду та бічних стінках робочої камери. Витрата захисного газу на робочу камеру становить 2,5 м³/год та на полум'яну завісу 5 м³/год. Споживана потужність печі при завантаженні 50 кг і нагріванні до 850 °С становить 12 кВт.

3.4 Обладнання для фосфатування.

Фосфатування виконують у розчині, в основному у цинкофосфатних розчинах, при цьому на поверхні утворюються кристалічні цинкофосфатні шари.

Відмінною характеристикою кристалічних цинкофосфатних покриттів є велика корозійна стійкість, їх застосовують для покриття відповідальних деталей машин. На заводі зазвичай використовують розчини готових складів. Ми застосовуватимемо концентратори КФ-3 [16], при якому операцію проводять методом занурення. Для приготування робочого розчину концентрат розчиняють у воді у ємностях, наприклад, у баках.

Після фосфатування концентратом КФ-3 вага фосфатного шару складає 2,5 – 5 г/м² при концентрації розчину 72 г/л.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Промивання виробів з метою видалення з їхньої поверхні олії, жирів, неорганічних солей та інших забруднень проводять у мийних машинах або ультразвукових ваннах, після чого деталь відправляють у сушильну камеру.

Ультразвукова ванна - це ємність для спеціальної очисної рідини, в якій створюються коливання (частоти від 18 до 120 КГц.) з частотою ультразвукового діапазону. Така ванна складається з випромінювача коливань і генератора. Генератор формує електричні коливання з частотою ультразвукового діапазону та глибокою (до 90%) амплітудною модуляцією (50 - 100 Гц). Випромінювач перетворює електричні коливання в механічні (ультразвук), що передаються через стінку ультразвукової ванни в активне рідинне середовище. Бажаним є наявність нагрівального елемента у ванни, розігрівуючого робочу рідину до певної температури (до 70 градусів). Також наявний таймер (електронний або механічний), що дозволяє керувати тривалістю роботи ванни.

У порівнянні з традиційними методами ультразвукова очистка дозволяє:

- провести очищення і знежирення без застосування органічних розчинників звести до мінімуму застосування ручної праці
- очищати важкодоступні ділянки виробів і видаляти всі види забруднень;
- виключати дорогу механічну і хімічну очистку теплообмінного обладнання;
- скорочувати час таких процесів, як диспергування, екстракція, очищення, хімічні реакції.

Перевагою очищення ультразвуком є те, що бруд з виробів видаляється швидко за рахунок ультразвукової кавітації навіть з важкодоступних місць, глибоко проникаючи в порожнини, пори і отвори. Очищення в ультразвукових ваннах займає кілька хвилин і по

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

ефективності перевершує інші методи очищення. Ультразвук забезпечує дбайливе очищення, без механічних пошкоджень.

Для очищення поршнів ДВЗ можемо застосувати ультразвукову ванну Motor Clean (рис. 3.3.), що не займе багато місця на ділянці, за рахунок її компактності. Вона обладнана потужним перетворювачем з регульованою потужністю, системою нагрівання розчину (до 90 °С), Sweep системою, функцією DEGAS, що гарантує найвищий результат миття [17].

Особливості ультразвукового миття MOT-5.0. Система дегазації — функція Degas для швидкої дегазації свіжоприготовлених очисних рідин. Регульована потужність ультразвуку дає змогу ефективно та дбайливо очищати деталі. Sweep system забезпечує рівномірний розподіл звукових хвиль у всьому об'ємі ванни. Низький рівень шуму завдяки особливості конструкції машини в поєднанні з характеристиками ПЗВ випромінювача. Панель керування із сенсорним дисплеєм — просте й інтуїтивно зрозуміле керування роботою машини. Потужне нагрівання дає змогу працювати з температурою розчину до 90 °С. Оптимальний рекомендований температурний діапазон 50-70 °С. Зручний кошик із неіржавіючої сталі в комплекті постачання. Знімна кришка із шумоізоляцією. Технічні характеристики ванни наведено в таблиці 3.3.



Рисунок 3.3 – Ультразвукова ванна MOT-50.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики МОТ-50

1	Об'єм	50 л
2	Зовнішні розміри (ДхШхВ)	770 x 410 x 540 мм
3	Внутрішні розміри (ДхШхВ)	600 x 300 x 300 мм
4	Розмір кошика	580 x 280 x 110 мм
5	Максимальний розмір деталі	550 x 260 x 225 мм
6	Вага	40 кг

Сушильні шафи серії СП-К оснащені інноваційним контролером з великим дисплеєм. Використовуються в лабораторних або промислових умовах, для сушіння, випаровування, температурного випробування матеріалів, проведення експериментів з високочутливими компонентами, сушіння або гартування електронних компонентів.

Універсальна сушильна шафа СП-К (рис. 3.4, таблиця 3.4) з таймером та ефективним нагрівом забезпечує швидке сушіння, а звукова сигналізація сповістить користувача про закінчення процесу.



Рисунок 3.4 – Універсальна сушильна шафа СП-К.

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики СП-К [18].

Габаритні розміри (ШхВхГ), мм	700x792x695
Розміри камери (ШхВхГ), мм	501x501x443
Розміри робочої камери (ШхВхГ), мм	501x501x399
Повний об'єм камери, л	111
Корисний об'єм камери, л	100
Кількість полиць у робочій камері (стандартна / максимальна), шт.	2/5
Відстань між полицями, мм	80
Матеріал полиць	AISI 304
Матеріал камери	AISI 304
Кількість вентиляторів	1
Захист від перегріву	Так, термозапобіжник з ручним відновленням
Тип контролера	Цифровий
Кількість програм	1
Кількість сегментів у програмі	20
Максимальне завантаження полиці, кг	14
Максимальне завантаження камери, кг	45
Кількість дверей, шт.	1
Вага нетто, кг	47

Мікропроцесорний контролер та захист від перегріву забезпечує якість сушіння поверхні виробу. Оператор завжди бачить поточну температуру у шафі і може її контролювати.

Корисні об'єми серії СП-К – 100, 161, 320 та 640 літрів.
Максимальна температура – 300 °С

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

3.5 Обладнання для загально цехових підйомно-транспортних робіт.

Принцип роботи кран-балки КЕБ-2. Механізм пересування складається з електродвигуна, редуктора і трансмісійного валу, що проходить по всій довжині крана і передає обертання через зубчасті циліндричні передачі на провідні колеса ходових візків крана.

Керування кран-балкою (електричним тельфером і механізмом пересування крана) проводиться зазвичай з підлоги, через гнучкі кабелі, що звисають з крана, що несуть унизу коробку з кнопками управління, так звану грушу. Є також електричні кран-балки, керування якими виготовляється з кабіни, підвішеної до крана. Для обслуговування складів із сипучими матеріалами застосовуються електричні кран-балки з грейферами та двобарабанными електричними тельферами. Кран-балки зазвичай мають одну несучу балку двотаврового перерізу (іноді з додатковим укріпленням у вигляді шпренгелю). Нижнім поясом балки ходить електричний тельфер. Для створення жорсткості горизонтальній площині на крані є горизонтальна ферма, пов'язана з верхнім поясом несучої балки; ця горизонтальна ферма служить також для встановлення механізму пересування крана

Основні характеристики та розміри електричної кран-балки, що застосовується на ділянці, наведені в таблиці 3.5, а зовнішній вигляд на рисунку 3.5.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

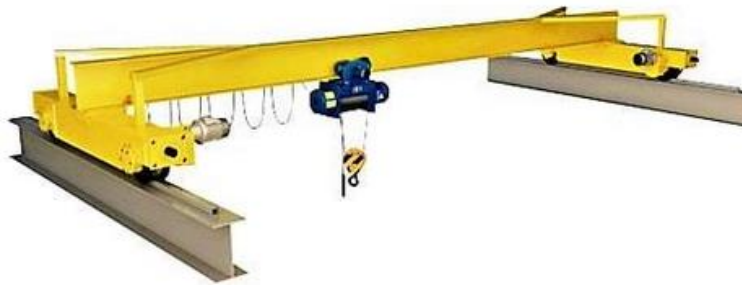


Рисунок 3.5 – Кран балка КЕБ-2

Таблиця 3.5 – Характеристика та розміри електричної кран-балки КЕБ-2

Найменування параметру	Значення
Вантажопідйомність Q, т	3
Проліт L, м	18
Швидкість переміщення тельфера, м/хв.	30
Швидкість пересування мосту, м/хв.	40-50
Тиск на напрямну, т	3,0
Висота підйому, м	12
Вага тельфера з електроустаткуванням, т	0,7
Вага моста з електроустаткуванням, т	4,2
Вага загальна, т	4,7
Орієнтовні розміри, мм	
A	1475
B	1475
C	440
D	450
E	2200
G	1100
H	12000
O	40
S	1500
X	900
Y	900
Z	180

У цехах із мало напруженими вантажообігами часто застосовуються електричні кран-балки як спрощений вид мостових кранів. Вантажопідйомність їх переважно не перевищує 5 т; проліт 18 м.

3.6 Планування та загальна площа ділянки.

Планування цеху зображено на рисунку 3.6.

1 - електропіч камерна СНЗ-2,5.5.1,7/10; 2 - гартувальний бак; 3 - електропіч камерна СНЗ-2,5.5.1,7/10; 4 - гартувальний бак; 5 - бак для фосфатування; 6 - мийна машина 7- сушильна камера; 8- щит управління подачі електрики; 9- трансформатор; 10 - шафа управління; 11 - раковина; 12 - стіл; 13 - твердоміри ТШ, ТК; 14- мікроскопи МІМ-7, МІМ-8; 15- складкове місце; 16- кімната відпочинку робітників; 17 - кран-балка КЕБ-2.

Площа цеху: 628м²

Відстань між балками: 6 м

Проходи між печами безперервної дії не менше 3 – 4 м.

Проходи між печами періодичної дії: 1 – 2 м.

Відстань печей від стін: 1,5 – 2 м.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

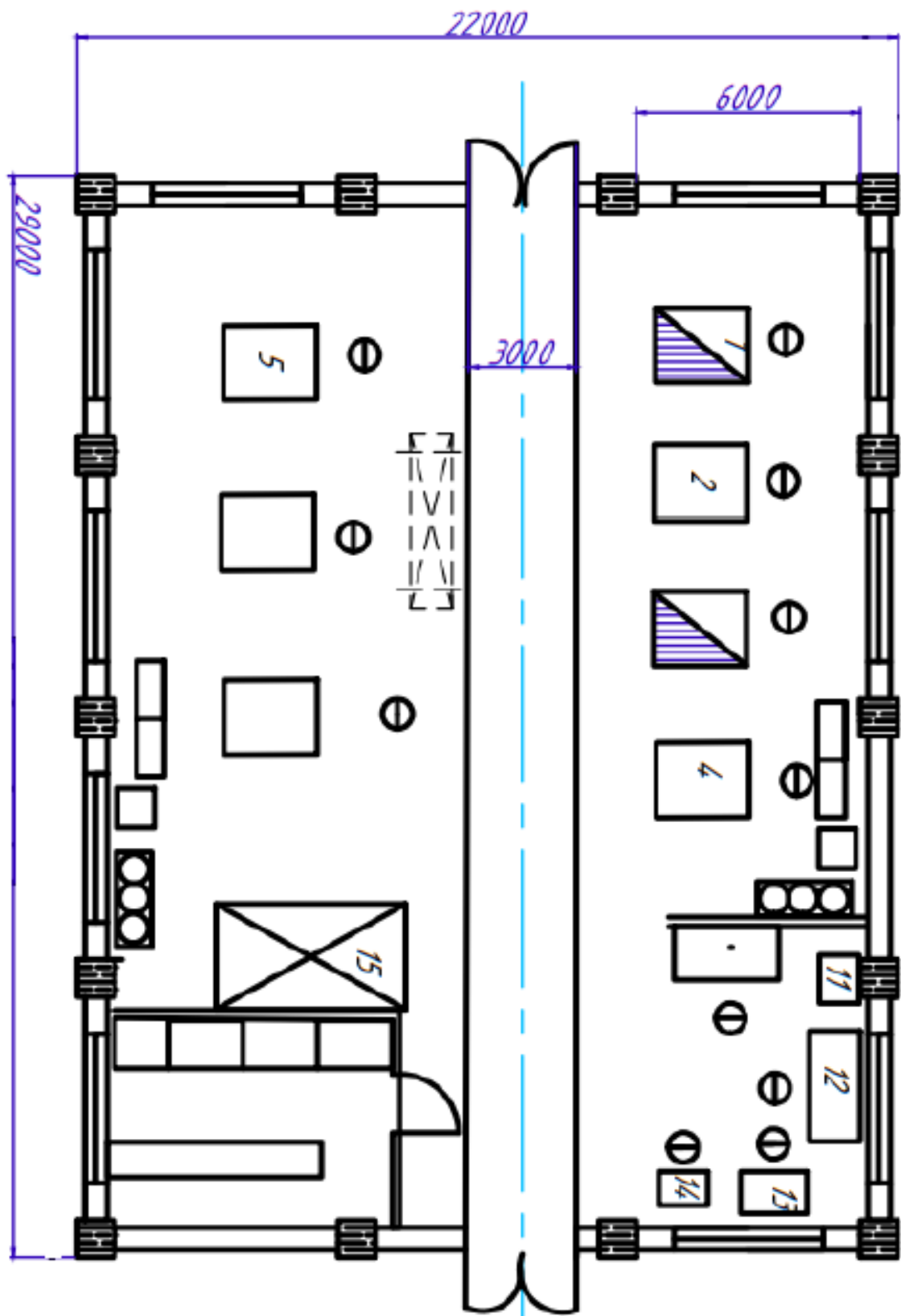


Рисунок 3.6 – Планування дільниці термообробки поршнів ДВЗ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ

Арк.
74

ВИСНОВКИ

1. Зовнішній профіль бічної поверхні поршня формується з урахуванням деформацій від механічних навантажень (тиску газів та інерційних сил) та теплового впливу від згоряння паливоповітряної суміші таким чином, щоб ні за яких умов не відбулося заклинювання в циліндрі, прорив гарячих газів у картер, прогорання камери згоряння.

2. Запропонована методика опису динаміки поршня дозволяє встановити функціональний зв'язок між конструкцією ЦПГ і параметрами, що характеризують ефективність роботи двигуна в цілому.

3. При виборі матеріалу для поршня необхідно враховувати теплове розширення матеріалу та виключити можливість заклинювання поршня в циліндрі, адже зазор між поршнем та поверхнею циліндра повинен забезпечувати ефективне мащення та мінімальне тертя. На основі висунутих умов, було проведено операцію вибору матеріалу, виділено основні технологічні, експлуатаційні, вартісні характеристики, наведено три сплави АК4, АЛ2 (АК12) та СЧ24 та проведено порівняльну характеристику сплавів. Найбільш оптимальним було обрано сплав АК4.

4. Розроблено технологічний процес термічної обробки поршня, проведено розрахунки для визначення температурних та часових параметрів ТО. Термічна обробка полягала у загартуванні з нагріванням до 510 °С, витримкою 30 хв і швидким охолодженням у воду, а також у штучному старінні з нагріванням до 150 °С, витримкою 15 год 21 хв і швидким охолодженням у воду.

5. Виконано планування дільниці термічної обробки поршнів ДВЗ та запропоновано основне, допоміжне та додаткове обладнання.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. — 6-те вид. - К.: Либідь, 2006. — 400 с.
2. Діагностика і технологія ремонту автомобілів : підруч. / В. М. Коваленко, В. К. Щуріхін. – Київ : Літера ЛТД, 2017. – 224 с.
3. Закалов, О.В. Основи тертя і зношування в машинах: Навчальний посібник / О.В. Закалов, І.О. Закалов. – Тернопіль: Видавництво ТНТУ ім. І.Пулюя, 2011. – 322 с.
4. Kolbenschäden – erkennen und beheben. MS Motor Service International GmbH. – Germany :Wilhelm-Maybach-Straße, Neuenstadt, 2010. – 92 pp.
5. Zhinan Zhang. Design approach for optimization of a piston ring profile considering mixed lubrication / Zhinan Zhang, Jun Liu, Youbai Xie // friction Volume 4, (2016). – p.p. 335–346
6. Тарандушка Л.А. Параметричне проектування 3D-моделі кривошипно-шатунного механізму автомобіля з використанням САПР Solidworks / Л.А. Тарандушка, А.В. Йовченко // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 5(36), ч.ІІ. – С. 195-201
7. Гурей І. В. Розрахунково-експериментальні методи керування процесами граничного змащування технічних трибосистем. Монографія. – Хмельницький: ТНТУ, 2020. – 170 с.
8. Основи теорії примежового шару [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. А. Халатов, Є. В. Мочалін, Н. Ф. Димитрієва ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 2,86 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 191 с.

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

9. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є. Автомобільні двигуни: Підручник. К. : Арістей, 2006. – 476 с.

10. Матеріалознавство та технологія металів : підручник для здобувачів професійної (професійно-технічної) освіти / А. М. Власенко. – Київ : Літера ЛТД, 2019. – 224 с.

11. Большаков В.І., Береза О.Ю., Харченко В.І. Прикладне матеріалознавство. – РВА «Дніпро-VAL», 2000. – 290с.

12. Матеріалознавство: підручник / С.С. Дяченко, І.В. Дощечкіна, А.О. Мовлян., Е.І. Плешаков; за ред. проф. С.С. Дяченко. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 440 с

13. Корж В. М. Нанесення покриття : навчальний посібник / В. М.Корж. — К. : Арістей, 2005. — 204 с.

14. Будник А.Ф. Типове обладнання термічних цехів та діляниць: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 212 с.

15. Електронний ресурс, режим доступу: <http://bortek.ua/ua/promyshlennye-ehlektropечи/pechi-zashchitnoj-atmosferoj/kamernaya-pech-snz-2-5-5-2-5-125>

16. Електронний ресурс, режим доступу: <https://atk-ua.com/catalog/koncentrat-fosfatiruyushij-atkf-3-kf-3/>

17. Електронний ресурс, режим доступу: <https://ad-instrument.com.ua/ua/p854508883-ultrazvukovaya-vanna-motor.html>

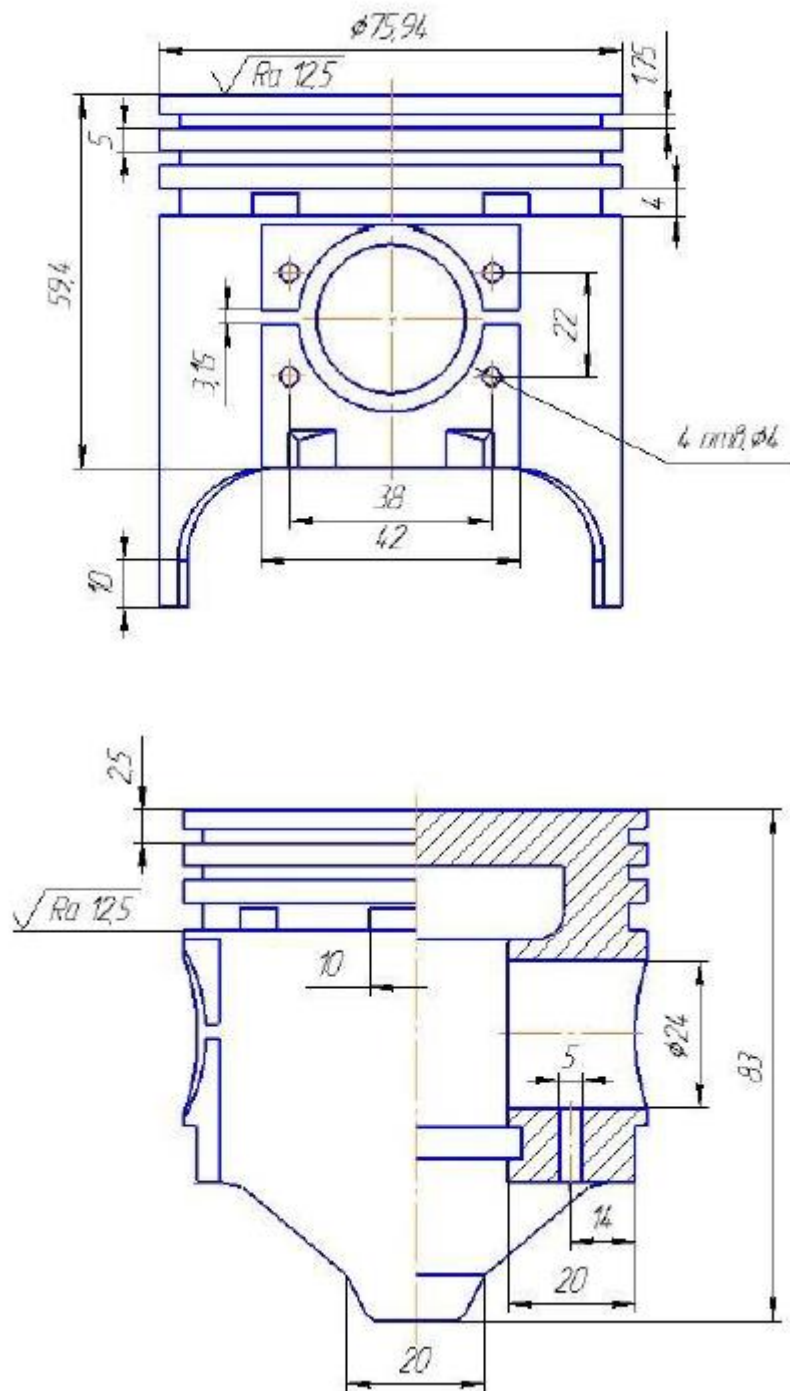
18. Електронний ресурс, режим доступу: <https://uoslab.com/sushylne-obladnannia/sushylni-shafy/shafa-sushilna-sp-100k>

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

ДОДАТКИ

					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

Ескіз поршня



					ДРМТВА 24.21141.000. ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79