

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії транспорту та архітектури
Кафедра технології машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

МКР Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі "Поршень МВ

420.0024.1798"

Назва теми

Рівень вищої освіти другий (магістр)

Галузь знань 13 механічна інженерія
Шифр і назва галузі знань

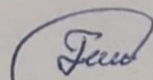
Спеціальність 131 прикладна механіка
Шифр і назва спеціальності

Назва

Освітня програма «технології машинобудування»
Назва

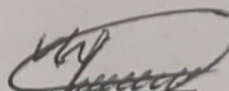
Шифр ДРМ.ФІТА.ПМ.24.06.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група
ПМТМ-23-1


Підпис

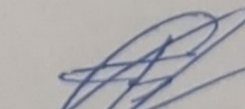
Віталій ГОЛУБ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Керівник канд. техн. наук, ст.викладач
Науковий ступінь, звання


Підпис

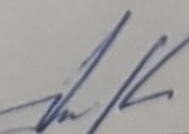
Сава КОСТЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент


Підпис

Сергій БИСЬ
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

До захисту допускаю:
Завідувач кафедри
технології машинобудування
Назва


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Дата « 27 » грудня 2024

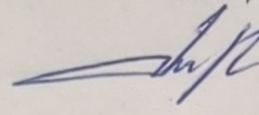
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії транспорту та архітектури _____
 Кафедра технології машинобудування _____
 Рівень вищої освіти другий (магістр) _____
 Галузь знань 13 механічна інженерія _____
 Шифр і назва _____
 Спеціальність 131 прикладна механіка _____
 Шифр і назва _____
 Освітня програма «технології машинобудування» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТМ

Віталій ТКАЧУК

 20.09.2024

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Голубу Віталію Валерійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1 Тема дипломної роботи Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі поршень МВ 420.0024.1798

керівник роботи Костюк Сава Андрійович, к.т.н.,

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

Затверджено наказом ректора університету від 26 серпня 2024 р.

№ 60

2 Строк подання студентом роботи на кафедру 20 грудня 2024

3 Вихідні дані до проєкту (роботи) кресленник деталі поршень

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

Вступ

1. Загальний розділ
2. Технологічний розділ
3. Дослідницький розділ
4. Науковий розділ
5. Охорона праці

5 Перелік графічного матеріалу: Тема і мета (1 лист А1); Аналіз будови (1 лист А1); Деталь (1 лист А1); Заготовка (1 лист А1); Графотехнологія (1 лист А1); Комп'ютерне моделювання (1 лист А1); Створення програми у САМ (1 лист А1); Контрольний пристрій (1 лист А1).

6 Консультанти розділів дипломної роботи (за наявності)

РЕЦЕНЗІЯ
на кваліфікаційну роботу магістра
студента Голуба Віталія

на тему: Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі поршень
МВ 420.0024.1798

У кваліфікаційній роботі Голуба Віталія Удосконалено технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі поршень МВ 420.0024.1798

У загальному розділі обґрунтовано тип виробництва та форму організації робіт, виконано аналіз технологічності конструкції деталі за якісними та кількісними показниками, проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі.

В технологічному розділі спроектовано новий технологічний процес з використанням верстатів з ЧПК. Проведено розрахунки припусків та міжопераційних розмірів, режимів різання та норм часу.

В конструкторському розділі спроектовано пристрій, пристосування для обробки.

В дослідницькому розділі проведено моделювання процесу литва під тиском. Проведено дослідження напруження від інерційних сил температури.

В розділі «Охорона праця» Проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори, що виникають в металообробних виробничих приміщеннях та заходи, що до зменшення їхнього впливу на працівників.

Загальний висновок та оцінка

У пояснювальній записці містяться всі необхідні розділи та розрахунки, відповідно до встановлених вимог.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ.

Вагомих недоліків у дипломній роботі не виявлено.

Кваліфікаційна робота, виконана згідно завдання, в повному обсязі на високому інженерному рівні.

Студент Голуб Віталій заслуговує на оцінку «добре».

Рецензент к.т.н., доц. кафедри АММ Мамонтова О.С.

«25» грудня 2024 р.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатами звіту/звітів подібності щодо роботи, продукованими програмно-технічним засобом (ами) перевірки текстів на плагіат:

Назва кваліфікаційної роботи Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі поршень МВ 420.0024.1798

Автор Голуб Віталій Валерійович
Освітня програма технології машинобудування
Спеціальність 131 Прикладна механіка

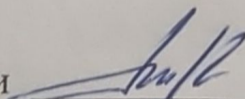
Науковий керівник: Костюк С.А
Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	✓
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

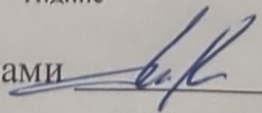
Дата

Завідувач кафедри


Підпис

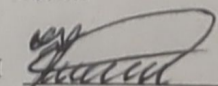
Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми


Підпис

Віталій ТКАЧУК
Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Сава КОСТЮК
Ім'я, прізвище

Завідувачу кафедри
Віталію ТКАЧУКУ
здобувача вищої освіти студента
Віталія ГОЛУБА,
ФІТА, групи ПМТм 23-1

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на академічний плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та/або Anti-Plagiarism) і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

24.12.24

дата

Голуба

підпис

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Голуб Віталій Валерійович на захист дипломного проекту (роботи)

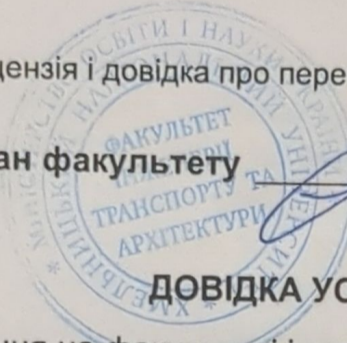
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі "Поршень МВ 420.0024.1798"

Дипломний проект (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



(підпис)

ОЛЕГ ПОЛІЩУК

(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Голуб В. В. за період навчання на факультеті інженерії, транспорту та архітектури з 2023 по 2023 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 16,67 %, задовільно 83,33 %. шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 0,00 %, С 12,50 %, D 31,25 %, E 56,25 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Голуб Віталій Валерійович власно приступив до виконання роботи. Під час дипломного проектування створити проект седице проробив, найдов висоти турбина водотра, виконана в архітектурі ступам та біомовіона, до висота ступорисна. Крім оформлення згідно вимог

Оцінка дипломного проекту (роботи)

Керівник дипломного проекту

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 26 " 12 2024 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проект (роботу) розглянуто. Студент Голуб В. В. допускається до захисту цього проекту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування

(назва)

(підпис, ім'я, прізвище)

" 27 " грудня 2024 р.

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: «Технологічне забезпечення процесу виготовлення деталі поршень MB42000241798»

Актуальність роботи. Дипломна робота присвячена дослідженню та удосконаленню технологічного процесу виготовлення деталі «Поршень MB42000241798», яка є ключовим елементом у конструкціях двигунів внутрішнього згорання. Робота спрямована на покращення технологічних параметрів, забезпечення високої якості поверхонь та зменшення витрат при виробництві.

У дослідженні проведено аналіз сучасних технологічних процесів лиття, механічної обробки та термообробки поршнів. Розглянуто використання інноваційних матеріалів і методів зміцнення, що підвищують експлуатаційні властивості деталі.

На основі отриманих результатів було запропоновано оптимізований технологічний процес виготовлення деталі із застосуванням прогресивних методів обробки на верстатах з числовим програмним керуванням. Обґрунтовано рекомендації щодо зниження собівартості виробництва за рахунок раціонального вибору способу отримання заготовки, матеріалів та обладнання.

Наукова новизна роботи полягає в інтеграції сучасних методів чисельного моделювання та експериментальних досліджень для прогнозування поведінки поршня під час роботи двигуна.

Незважаючи на постійний розвиток науки і техніки задача виготовлення деталей циліндропоршневої групи та розроблення технологічного забезпечення процесу виготовлення деталі «поршень» з високими експлуатаційними характеристиками є актуальним завданням.

Мета роботи. Метою роботи є розроблення та оптимізація технологічного процесу виготовлення деталі «поршень» з метою забезпечення високих експлуатаційних характеристик, підвищення продуктивності

виробництва та зменшення собівартості шляхом впровадження інноваційних матеріалів, методів обробки та контролю якості.

На основі аналізу науково-технічної літератури, обґрунтовано вибір матеріалів та спосіб отримання заготовки. Сформульовані шляхи підвищення якості розплаву та отриманої заготовки. На основі існуючого досвіду та результатів проведених досліджень запропоновано технологію механічної та термічної обробки. Розроблено технологічне оснащення для забезпечення процесу виготовлення деталей. Для контролю геометричних параметрів деталі спроектовано контрольню-вимірювальний пристрій.

Результати проведених досліджень будуть узагальнені та використані на підприємствах машинобудівної галузі для створення більш ефективних і довговічних деталей.

***Ключові слова:** поршень, технологічний процес, лиття, механічна обробка, термообробка, оптимізація.*

ABSTRACT

Title: The thesis is dedicated to the study and improvement of the technological process of manufacturing the part "Piston MV42000241798," which is a key element in internal combustion engine designs.

The work focuses on improving technological parameters, ensuring high surface quality, and reducing production costs.

The study includes an analysis of modern technological processes for casting, machining, and heat treatment of pistons. The use of innovative materials and strengthening methods, which enhance the operational properties of the part, is considered.

Based on the results, an optimized technological process for manufacturing the part was proposed, involving advanced machining methods on CNC machines. Recommendations for reducing production costs were substantiated through the rational selection of blank production methods, materials, and equipment.

The scientific novelty of the work lies in integrating modern numerical modeling methods and experimental studies to predict piston behavior during engine operation.

Despite continuous advancements in science and technology, the task of manufacturing cylinder-piston group components and developing technological support for producing the "piston" part with high operational characteristics remains relevant.

Objective: The aim of the work is to develop and optimize the technological process for manufacturing the "piston" part to ensure high operational characteristics, increase production efficiency, and reduce costs by introducing innovative materials, machining methods, and quality control measures.

Based on the analysis of scientific and technical literature, the choice of materials and blank production methods was substantiated. Ways to improve melt quality and the resulting blank were formulated. Based on existing experience and the results of conducted studies, technology for mechanical and heat treatment was proposed. Technological tooling was developed to support the manufacturing process. For controlling the geometric parameters of the part, a measuring device was designed.

The results of the research will be summarized and applied in the machine-building industry to create more efficient and durable parts.

Keywords: piston, technological process, casting, machining, heat treatment, optimization.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ.....	4
ABSTRACT.....	6
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	12
1.1 Аналіз об'єкту дослідження та технічних вимог.....	12
1.2. Аналіз конструктивно-технологічних та експлуатаційних вимог.....	17
1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	19
1.4 Матеріали та хімічний склад, що застосовуються для виготовлення типових деталей.....	23
1.5 Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	25
Висновки до першого розділу	26
2. МЕТОДИКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО –ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛІ «ПОРШЕНЬ» З УРАХУВАННЯМ ТЕРМО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ.....	27
2.1. Теоретичні дослідження термонапруженого стану поршня.....	27
2.2 Дослідження термонапруженого стану поршня з використанням методу кінцевих елементів.....	32
Висновки до другого розділу	36
3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ПОРШЕНЬ	37
3.1 Технологія виготовлення деталі поршень	37
3.1.1 Обґрунтування способів отримання заготовки	37
3.1.2 Термічна обробка поршня.....	39
3.1.2.1 Старіння заготовки.....	41
3.2 Розроблення маршруту механічної обробки деталі «Поршень»	44
3.3 Вибір обладнання, інструментів та режимів різання для механічної обробки деталі «Поршень».....	45
3.3.1 Вибір ріжучого інструменту та технологічного оснащення.....	48
3.4 Розрахунок припуску на механічну обробку.....	51
3.5 Розрахунок режимів різання.....	53

3.5.1 Аналітичний розрахунок режимів різання на свердлування отвору $\varnothing 12,554$	
3.6 Розробка керуючої програми.....	56
3.6 Конструкторська частина.....	58
3.6.1 Розрахунок сил затиску затискного пристрою	58
3.6.2 Проектування калібр-скоби	61
Висновки до третього розділу	65
4.Охорона праці.....	66
4.1 Аналіз небезпек та їх попередження на машинобудівному підприємстві....	66
Висновки до розділу 4	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	73
ДОДАТКИ	75
Додаток А	76
(Комплект графічного матеріалу)	76

ВСТУП

Актуальність теми. Згідно до статистичних даних опублікованих дослідницькою організацією IMD World Competitiveness Center машинобудівна галузь (зокрема сектор двигунобудування та точної механіки) демонструє стрімке зростання за останні 2 роки, а попит на вироби зріс до рекордних 380%.

В сучасному машинобудування значну частину деталей двигунів виготовляють з алюмінієвих сплавів, що обґрунтовується цілою низкою факторів. В дипломній роботі вирішуються задачі пов'язані з дослідження та удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Поршень MB42000241798», яка відноситься до відповідальних елементів конструкції двигунів внутрішнього згорання. Деталізація досліджень спрямована на покращення технологічних параметрів, забезпечення високої якості поверхонь та зменшення виробничих витрат.

У дослідженні проведено аналіз сучасних технологічних процесів лиття, механічної обробки та термообробки поршнів. Розглянуто використання інноваційних матеріалів і методів зміцнення, що підвищують експлуатаційні властивості деталі.

На основі отриманих результатів планується запропонувати оптимізований технологічний процес виготовлення деталі із застосуванням прогресивних методів обробки на верстатах з числовим програмним керуванням.

Аналіз попередніх досліджень пов'язаних з темою дипломної роботи показав, що технологія виступає ключовим фактором, який визначає можливості виготовлення в принципі та отримання економії від масштабів виробництва, впровадження нових процесів та методів отримання заготовки і в решті решт підвищує конкурентні позиції підприємства.

Незважаючи на постійний розвиток науки і техніки задача виготовлення деталей циліндропоршневої групи та розроблення технологічного забезпечення процесу виготовлення деталі «поршень» з високими експлуатаційними характеристиками є актуальним завданням.

Мета й завдання. Метою роботи є розроблення та оптимізація технологічного процесу виготовлення деталі «поршень» з метою забезпечення високих експлуатаційних характеристик, підвищення продуктивності виробництва та зменшення собівартості шляхом впровадження інноваційних матеріалів, методів обробки та контролю якості.

Для досягнення мети вирішувались наступні задачі:

1. Провести аналітичний огляд науково-технічних джерел за темою дипломної роботи.
2. Розглянути конструкції виробів та типові технології виготовлення деталі «Поршень».
3. Розробити методику теоретичних та експериментальних досліджень впливу параметрів обробки на якість виробу.
4. На основі результатів проведених досліджень запропонувати технологію механічної та термічної обробки.
5. Розробити технологічне оснащення для забезпечення процесу виготовлення деталі.
6. Для контролю геометричних параметрів деталі спроектувати контрольно-вимірювальний пристрій.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення деталі «Поршень».

Предметом дослідження виступають конструктивно-технологічні параметри процесу виготовлення деталі поршень з метою поліпшення якості виробів.

Методи дослідження. В роботі використано методи математичного аналізу з застосуванням прикладного програмного забезпечення MathCAD 13, MS Excel 2007. Методи комп'ютерного моделювання з використанням програмного інтерфейсу SOLIDWORKS та ABAQUS. Експериментальні дослідження конструктивно-технологічних параметрів в залежності від температурного навантаження деталі дозволили оптимізувати поля допусків на розміри деталі, чим визначається стабільність Показників роботи двигуна внутрішнього згорання.

Наукова новизна одержаних результатів

Вперше побудовано фізичну та математичну моделі поведінки деталі «Поршень» в робочій камері з урахуванням перебігів перехідних процесів, які включають аналітичні залежності зв'язку конструктивно-технологічних та вихідних параметрів виробу, що дозволило розробити інженерну методику проектування робочого органу двигуна внутрішнього згорання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в підвищенні довговічності і якості виробів за рахунок покращення умов від температурного навантаження та оптимізації конструкції деталі з урахуванням температурного навантаження.

Експериментальні дослідження, обробка та аналіз одержаних результатів виконано особисто автором. Обговорення отриманих результатів і висновків проведені разом з керівником.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1.1 Аналіз об'єкту дослідження та технічних вимог

Поршневі машини широко використовується у різних типах машин, вироблених як в Україні так і за межами, зокрема в автомобілях, тракторах, верстатах, ковальсько-пресовому, дорожньому, будівельному, харчопереробному, комунальному та сільськогосподарському обладнанні. Основним виконавчим елементом таких машин здебільшого є один або кілька циліндрів. Найбільш складним і відповідальним вузлом є кривошипно-шатунний механізм з поршневою групою.

Гільза циліндра характеризується високими технічними вимогами. Поверхня отвору повинна відповідати строгим параметрам точності: некругість у межах Н7–Н9, відхилення від прямолінійності до 0,05–0,15 мм на 100 мм довжини, а також шорсткість обробленої поверхні за параметром Ra не більше 0,05–0,15 мкм.

Поршень відносять до тіл обертання й виготовляють в межах Н7–Н9 квалітетів точності. Особливі вимоги висуваються до допусків геометричних параметрів поршнів, матеріалу, термічної обробки та способу отримання заготовки.

Виробництво високоякісних деталей поршневих машин залишається однією з ключових задач сучасного машинобудування, оскільки спеціалізовані підприємства не здатні повністю задовольнити попит виробників техніки. Багато заводів, які виготовляють спеціалізовану техніку, змушені самостійно виробляти циліндропоршневі групи. Це потребує застосування складних, трудомістких технологій, які вимагають спеціалізованого обладнання та великої кількості допоміжного оснащення та інструментів.

У свою чергу, провідні іноземні компанії обрали інший підхід – максимально використовують комплектуючі, виготовлені спеціалізованими підприємствами, що дозволяє в короткі терміни організувати серійне виробництво.

Аналіз типових технологічних процесів показав, що відмова від малоефективних та трудомістких технологічних операцій дозволяє оптимізувати кількість персоналу або переорієнтувати його на інші види робіт.

Проектування гнучких технологічних процесів дозволить забезпечити високий рівень якості виробів та створити можливість до швидкого розширення асортименту продукції.

В якості об'єкта досліджень в дипломній роботі вибрано деталь «Поршень МВ42000241798»

Поршень – це деталь циліндричної форми, яка здійснює зворотно-поступальний рух усередині циліндра і служить для перетворення зміни тиску газу, пари або рідини в механічну роботу, або навпаки — зворотно-поступального руху в зміну тиску.

Поршень двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ) призначений для сприйняття тиску газів, передачі зусилля на шатун і створення змінного надпоршневого об'єму. При цьому він ущільнює надпоршневий об'єм, передає бічне навантаження на циліндр, забезпечує відведення теплоти до стінки циліндра (охолоджувального середовища) та в моторну оливу.

Поршень є частиною поршневої групи, до якої також входять поршневі кільця (компресійні та маслоснімні), поршневий палець та елементи, що обмежують його осьові переміщення (фіксуючі кільця).

Надійність поршневої групи має велике значення, оскільки вона визначає працездатність усього двигуна. Основні елементи поршня типової конструкції наведені на рисунку 1.1.

Функціонально-визначене взаємне розташування конструктивних елементів поршня, швидкі зміни за величиною та напрямком теплових потоків, які впливають на його елементи, призводять до нерівномірного розподілу температур за об'ємом, а також до значних змінних у часі локальних термічних напружень і деформацій [1].

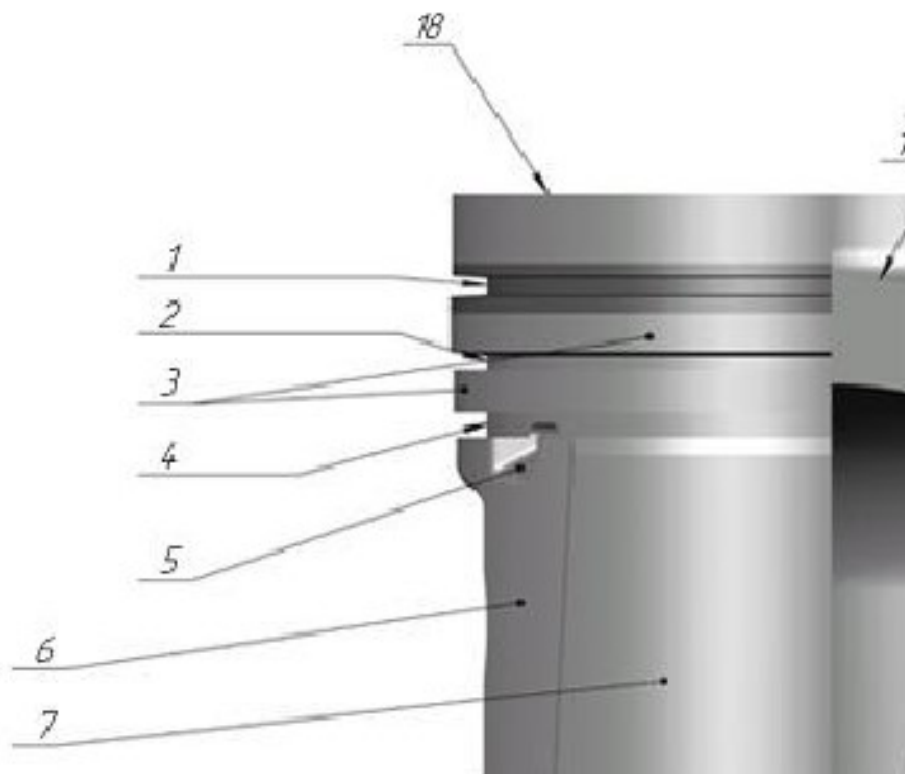


Рисунок 1.1 – Головні елементи конструкції поршня

1,2 – канавки для компресійних кілець; 3 – міжкілецеві перемички; 4 – канавка для маслоснімого кільця; 5 – виїмка для зливу оливи; 6 – холодильник; 7 – спідниця поршня; 8 – бобишка для пальцевого отвору; 9 – розвантажувальна виїмка; 10 – канавка для стопорного кільця; 11 – отвір для пальця; 12 – спідниця поршня, що складається з бобишок і направляючої частини; 13 – головка поршня, яка включає днище; 14 – нирезистова вставка; 15 – оливоохолоджувальна порожнина; 16 – камера згоряння; 17 – конусний витіснювач; 18 – днище поршня.

Розглянемо конструктивні елементи поршня, які дозволяють глибше зрозуміти складність задач, що постають перед виробниками.

Головка поршня – це його верхня частина, що включає днище (18) і зону канавок (1, 2) для поршневих кілець. Разом із головкою циліндра днище поршня утворює камеру згоряння (16). Днище поршня сприймає тиск газів, які розвиваються у надпоршневому просторі під час виконання робочого циклу, та через палець передає зусилля на шатун. Канавки для поршневих кілець розташовуються на бічній поверхні головки поршня (13). Зазвичай їх три: дві для компресійних кілець (1, 2) і одна для маслоснімого кільця (4). Поршневі

кільця створюють ущільнення між поршнем і стінкою циліндра, не допускаючи прориву гарячих газів у картер і проникнення оливи в камеру згоряння. Перемички (3) між канавками, особливо між першою і другою для компресійних кілець, зазнають високих механічних і теплових навантажень. Через компресійні кільця відводиться 50–60% теплової енергії в циліндр.

Згоряння паливо-повітряної суміші відбувається за температури 1800–2500 °С. Температура згоряння значно перевищує температуру плавлення поршневого сплаву на основі алюмінію (~660 °С). Щоб уникнути плавлення, поршень повинен ефективно охолоджуватися, передаючи тепло від камери згоряння через кільця, спідницю, стінки циліндра, палець і внутрішню поверхню охолоджувальної рідини та оливи.

При перегріві поршня відбувається зниження межі міцності матеріалу, а також виникають термічні напруження через перепади температур.

Температура, що розподіляється по тілу поршня, накладається на напруження від сил тиску газів та інерційних сил. В результаті поршень працює у важких умовах, чим обумовлюються певні вимоги до конструкції та технології виготовлення.

Для забезпечення працездатності поршень повинен бути легким, міцним, зносостійким і добре проводити тепло. Усі ці вимоги повинні враховуватися під час проектування. Форма внутрішніх поверхонь і конструктивних елементів поршня повинна забезпечувати необхідну міцність і працездатність за рахунок раціонального розподілу та використання матеріалу.

Особливу увагу приділяють формі зовнішньої поверхні. Зовнішній профіль бічної поверхні поршня формується з урахуванням деформацій, що виникають через механічні навантаження (тиск газів і інерційні сили), а також теплового впливу від згоряння паливно-повітряної суміші. Така форма запобігає заклинюванню поршня в циліндрі, прориву гарячих газів у картер і прогоряння камери згоряння.

Аналіз температурних умов показав, що температура поршня в зоні камери згоряння (на днищі) вища, ніж на спідниці, що призводить до температурного розширення головки. Через це поршень у холодному стані має

бочкоподібну форму з поступовим зменшенням діаметра від спідниці до головки.

Сили тиску газів, інерції та бокові сили деформують поршень, викликаючи овалізацію спідниці. Для компенсації цієї деформації поршень заздалегідь виготовляється з "антиеліпсом", велика вісь якого розташована перпендикулярно осі пальцевого отвору.

Зазори між поршнем і циліндром мають бути зведені до мінімуму, щоб запобігти появі шуму, особливо у холодному двигуні. Проте вони повинні залишатися достатніми, щоб уникнути заклинювання під час роботи прогрітого двигуна. На рис. 1.2 показано зовнішню форму поршня.

Поршень працює в умовах високих температурних, газових та змінних інерційних навантажень, які носять ударний характер при середній швидкості поршня 8–20 м/с. Під дією бокової сили поршень здійснює додатковий рух (перекладку) в межах зазору між поршнем та гільзою [2].

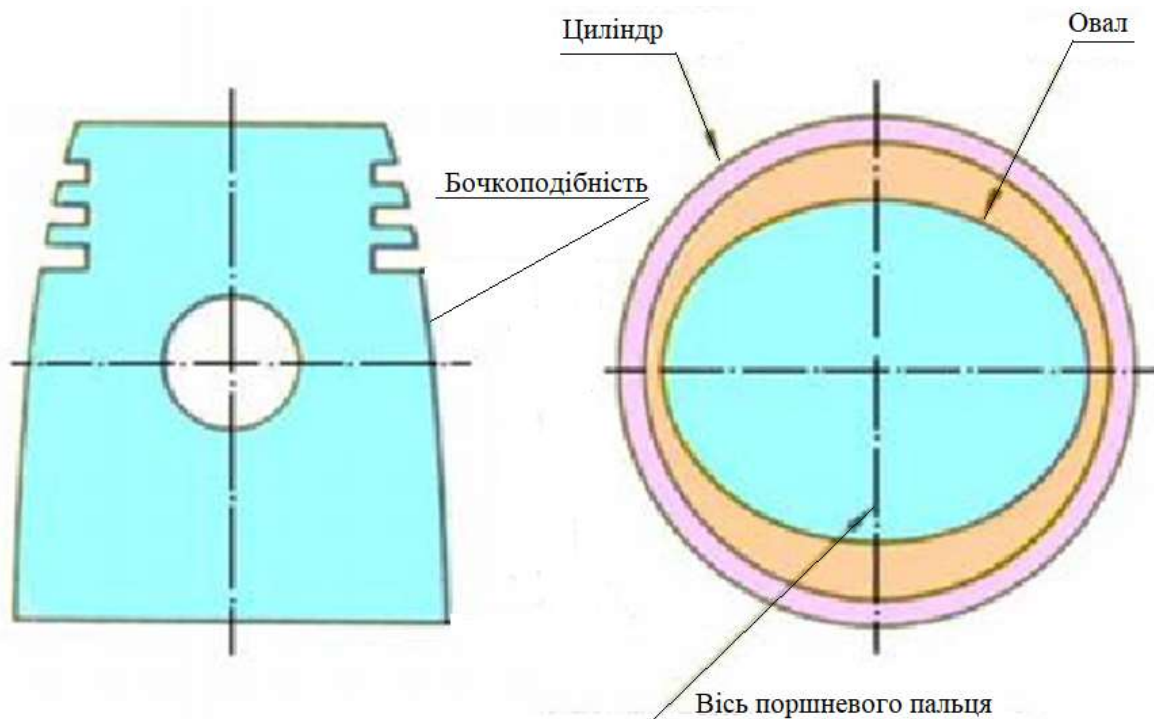


Рисунок 1.2 – Зовнішня форма поршня

Таким чином, під впливом зовнішніх температурних і силових навантажень циліндричний поршень може набувати овальної форми. Для усунення цього явища поршень спочатку виготовляють овальним, але у

протилежному напрямку. Під час прогрівання двигуна поршень, під дією бокових сил, набуває круглої форми. З цієї причини конструктори розробляють поршні, форма яких у холодному стані нагадує бочку (при погляді збоку) і овал (при погляді зверху).

Для примусового охолодження поршнів сучасних двигунів можуть застосовуватися такі способи:

1) Струменеве зрошення маслом внутрішньої поверхні днища поршня. Масло під тиском подається від колінчастого вала через канал у стержні шатуна до каліброваного отвору у верхній поршневій головці шатуна. Це забезпечує зниження температури днища поршня на 15–20 °С. Масло також може розпилюватися через форсунку, нерухомо встановлену в зоні нижньої частини циліндра на корпусі двигуна, що дозволяє зменшити температуру днища на 25–30 °С.

2) Заповнення маслом 1/3 порожнини у поршні через шатун. Під час руху поршня масло постійно омиває його днище, перемішуючись і таким чином збільшуючи відведення теплоти. Цей спосіб дозволяє знизити температуру днища поршня на 30–40 °С.

1.2. Аналіз конструктивно-технологічних та експлуатаційних вимог

До конструктивних вимог відносять наступні:

- поршень повинен забезпечувати здатність перетворювати тиск згоряння на механічний рух;
- передавати бокові зусилля на стінки циліндра;
- ущільнювати камеру згоряння циліндра з боку картера колінчастого вала;
- передавати частину тепла, отриманого днищем поршня, через кільця і юбку поршня, які контактують із циліндром двигуна, у систему охолодження;
- керувати зміною заряду в циліндрі двотактного двигуна.

Конструкторсько-технологічні:

- температура в камері згоряння може досягати понад 2000 °С, відповідно температура поршня, без ризику втрати міцності матеріалу, не повинна перевищувати 350 °С;
- тиск у камері згоряння може досягати 80 атмосфер. За такого тиску на днище поршня діє навантаження понад 4 тонни. Товщина стінок і днища поршня повинна витримувати такі значні навантаження. Але будь-яке збільшення маси поршня призводить до зростання динамічних навантажень на елементи двигуна, що, своєю чергою, збільшує масу двигуна.
- під час вибору матеріалу для поршня необхідно враховувати теплове розширення матеріалу й уникати можливості заклинювання поршня в циліндрі. Зазор між поршнем і поверхнею циліндра повинен забезпечувати ефективне змащування та мінімальне тертя;
- геометричні розміри, точність, шорсткість повині бути оптимальними та конструктивно обґрунтованими;
- фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу, жорсткість деталі, її форма та розміри повині відповідати вимогам технології виготовлення, зберігання та транспортування.

Експлуатаційні вимоги:

- поршень має протистояти високій температурі, тиску газів і надійно ущільнювати канал циліндра, оскільки, переміщуючись у ньому, дозволяє розширюватися стиснутим газам і продуктам згоряння палива, виконуючи механічну роботу;
- поршень повинен найкращим чином відповідати вимогам пари тертя, щоб мінімізувати механічні втрати та, як наслідок, знос, адже разом із циліндром і поршневыми кільцями він утворює лінійний підшипник ковзання;
- поршень повинен витримувати механічний вплив, оскільки зазнає навантажень з боку камери згоряння та реакції від шатуна;

- виконуючи зворотно-поступальний рух із високою швидкістю, поршень має якнайменше навантажувати кривошипно-шатунний механізм інерційними силами;
- повинен мати малу масу, а отже, невелику інерційну силу;
- мати жаростійке днище та еластичний корпус поршня;
- конструкція деталі має включати стандартні та уніфіковані конструктивні елементи й бути стандартизованою загалом;
- деталі повинні виготовлятися зі стандартних або уніфікованих заготовок.

1.3. Аналіз технологічності конструкції деталі

До конструкцій деталей типу поршень висуваються наступні вимоги:

- конструкція деталі має складатися зі стандартних і уніфікованих конструктивних елементів та бути стандартною в цілому;
- розміри та поверхні деталі повинні мати відповідно оптимальні, тобто економічно та конструктивно обґрунтовані точність і шорсткість;
- фізико-хімічні та механічні властивості матеріалу, жорсткість деталі, її форма та розміри повинні відповідати вимогам технології виготовлення, зберігання та транспортування;
- показники базової поверхні деталі (точність, шорсткість) повинні забезпечувати точність встановлення, обробки та контролю;
- заготовки повинні бути отримані раціональним способом з урахуванням заданого обсягу випуску та типу виробництва;
- метод виготовлення повинен забезпечувати можливість одночасного виготовлення кількох деталей;
- сполучення поверхонь деталей різних класів точності та шорсткості повинні відповідати застосовуваним методам і засобам обробки;
- конструкція деталі повинна забезпечувати можливість застосування типових і стандартних технологічних процесів її виготовлення [3].

Зазначені вимоги є узагальненням досвіду проектування та виготовлення деталей, а ступінь відповідності цим вимогам характеризує конструктивно-технологічний рівень деталі.

Кількісно технологічність конструкції поршня може бути оцінена сукупністю показників технологічної раціональності та спадковості деталі. До таких показників належать: коефіцієнт складності конструкції деталі; коефіцієнт застосовності уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі; коефіцієнт повторюваності конструктивних елементів деталі; коефіцієнт точності та шорсткості поверхні деталі; коефіцієнт оброблюваності деталі та коефіцієнт використання матеріалу під час механічної обробки.

Коефіцієнт складності конструкції деталі визначається виразом у вигляді:

$$K_{ск} = 0,25 * (K_k \cdot K_p \cdot K_m \cdot K_{вик} \cdot K_t), \quad (1.1)$$

де K_k , K_p , K_m , $K_{вик}$, K_t – коефіцієнти, що визначаються окремо. A_i – коефіцієнт уточнення.

Коефіцієнт K_k залежить від кількості поверхонь на вихідній заготовці, з яких видаляється стружка під час виготовлення деталі. При цьому комбіновані поверхні, які формуються за один робочий хід одним інструментом, враховуються як одна поверхня.

Для наявної конструкції:

$$A_k = n_{різ} / n_{пов}, \quad (1.2)$$

де $n_{різ}$, $n_{пов}$ — кількість поверхонь, що обробляються різанням, та загальна кількість формоутворювальних поверхонь деталі відповідно.

Підставляючи числові значення необхідних показників із креслення деталі та технологічного процесу обробки деталі різанням у вирази, отримуємо: $A_k = 84/90 = 0,93$, тоді $K_k = 1,00 - 0,93 = 0,07$

Коефіцієнт K_p враховує загальну кількість заданих на кресленні даних щодо забезпечення необхідних точностей форми та взаємного розташування поверхонь у межах 0,05 мм.

Для наявної конструкції: $A_p = 15/90 = 0,17$, тоді $K_p = 1 - 0,17 = 0,83$

Коефіцієнт K_v – враховує кількість різних видів обробки різанням. Таким чином:

$$A_v = n_{\text{то}} / n_{\text{перех}}, \quad (1.3)$$

де $n_{\text{то}}$ – кількість технологічних операторів, $n_{\text{перех}}$ – загальна кількість технологічних переходів обробки різанням.

Підставляючи чисельні значення знаходимо: $A_v = 4 / 12 = 0,33$, тоді тоді $K_v = 1 - 0,33 = 0,67$

Коефіцієнт K_c враховує відповідність точності та шорсткості поверхонь деталі деяким оптимальним величинам, під якими розуміються рекомендовані як економічно доцільні та конструктивно обґрунтовані значення. Величина A_c , яка входить у вираз для цього коефіцієнта, визначається за формулою:

$$A_c = \sum_{j=1}^m \frac{R_{a_j} - R_{a_{\text{опт}}}}{R_{a_j}} \quad (1.4)$$

де m_j – кількість зон, на яких параметр R_a для j -ї поверхні відхиляється від оптимального поєднання.

Підставляючи числові значення необхідних показників із креслення деталі у вирази, отримуємо: $A_c = 0,1 \cdot 6,0 = 0,60$; $K_c = 1,00 - 0,60 = 0,40$

Згідно з виразом (1), коефіцієнт складності конструкції деталі становитиме:

$$K_{\text{ск}} = 0,25 \cdot (0,07 + 0,83 + 0,67 + 0,4) = 0,4925$$

Коефіцієнт застосовності уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі визначають за формулою:

$$K_{\text{уЕ}} = 1 - \frac{n}{0,1 N_{\text{Е}} \Lambda} \quad (1.5)$$

де $N_{\text{Е}}$ – загальна кількість конструктивних елементів у деталі; $N_{\text{уЕ}}$ – кількість уніфікованих конструктивних елементів; n – кількість неуніфікованих елементів.

Оскільки всі формоутворювальні поверхні корпусу можна вважати уніфікованими, коефіцієнт застосовності уніфікованих або стандартних конструктивних елементів деталі можна прийняти рівним одиниці:

Коефіцієнт повторюваності конструктивних елементів деталі розраховують за формулою:

$$K_{\text{ПЕ}} = 1 - \frac{N}{\lambda} \quad (1.6)$$

де $N_{\text{ПЕ}}$ – кількість повторюваних конструктивних елементів деталі; N_E – загальна кількість конструктивних елементів деталі.

Підставляючи числові значення необхідних показників із креслення деталі у вираз, отримуємо:

$$K_{\text{ПЕ}} = 1 - \frac{6}{\circ} = 0.$$

Коефіцієнт відносної оброблюваності матеріалу деталі K_v виражає відносну швидкість різання, яка відповідає 60-хвилинній стійкості різців порівняно з еталонною сталлю (сталь 45). Для алюмінієвого сплаву АК5М7 величина цього коефіцієнта становить:

$$K_v = 0,73,$$

що характеризує оброблюваність цього сплаву як задовільну.

Коефіцієнт використання матеріалу при механічній обробці визначають за співвідношенням:

$$K_{\text{вм}} = M_{\text{д}} / M_{\text{з}}, \quad (1.7)$$

де $M_{\text{д}}$, $M_{\text{з}}$ – маси готової деталі та заготовки відповідно.

Підставляючи числові значення необхідних показників із карт технологічного процесу обробки деталі різанням у вираз, отримуємо:

$$K_{\text{вм}} = 0,2 / 0,24 = 0,84$$

Необхідно зазначити, що поршень виготовляється методом лиття. Деякі поверхні корпусу завдяки цьому методу не підлягають обробці різанням. Оброблювані поверхні корпусу з точки зору забезпечення точності та шорсткості не становлять значних технологічних труднощів.

Деталь є нетехнологічною, оскільки має велику кількість маленьких отворів, глибокі канавки, а також поверхні, до яких висуваються високі вимоги щодо точності розмірів та взаємного розташування поверхонь [1].

Загальний вигляд заготовки представлено на рис.1.3, а деталі – на рис 1.4.

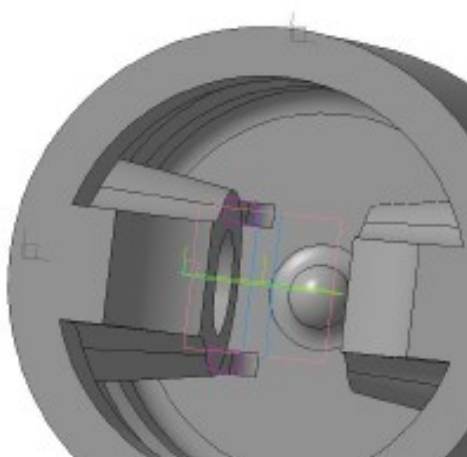


Рисунок 1.3 – Заготовка

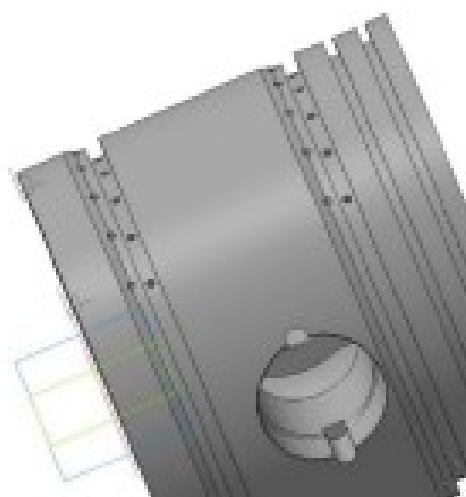


Рисунок 1.4 – Деталь

1.4 Матеріали та хімічний склад, що застосовуються для виготовлення типових деталей

До матеріалів, що застосовуються для виготовлення поршнів, висуваються такі вимоги: висока механічна міцність; мала щільність; гарна теплопровідність; малий коефіцієнт лінійного розширення; висока корозійна стійкість; хороші антифрикційні властивості.

Максимальні можливості використання матеріалу, що застосовується для виготовлення поршня, можуть бути досягнуті лише за умови комплексної оптимізації всіх деталей циліндро-поршневої групи, кілець і гільзи циліндра. Встановлення поршня в гільзу, виготовлених з одного матеріалу, дозволить забезпечити мінімальні монтажні зазори, зменшити кількість поршневих кілець і, можливо, повністю відмовитися від їх використання.

Оптимізація конструкції поршня та поршневого пальця на основі розрахунково-експериментальних досліджень дозволить зменшити їхню масу, що також сприятиме покращенню характеристик двигуна. Підвищення загального рівня температур дозволить збільшити індикаторні показники, а отже, і ефективні показники двигуна.

Розробка методів впливу на властивості матеріалів залежно від їхнього складу, структури компонентів і технології виготовлення дозволить створювати конструкції, що максимально враховують особливості роботи поршня у двигуні. Наприклад, зміна теплопровідності поршня дозволить регулювати температуру його днища. Для двигунів із самозайманням гомогенної суміші від стиснення потрібне підвищення максимальних температур днища поршня для покращення процесу утворення суміші, а у бензинових двигунах для забезпечення роботи без детонації необхідно обмежувати максимальні температури [5].

Зазвичай деталь «Поршень» виготовляється з алюмінієвого сплаву АК5М7, який згідно з стандартом має такий хімічний склад і механічні властивості.

Таблиця 1.1

Хімічний склад сплаву АК5М7 ДСТУ 7806: 2015

<i>Fe</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cu</i>	<i>Mg</i>	<i>Zn</i>	<i>Ni</i>	Pb+Sn+Sb	домішки
до 1,2	4,5-6,5	до 0,5	6.0-8.0	0,2 -0.5	до 0.6	до 0,5	<0.3	2,7

Основні характеристики сплаву АК5М7

Питома вага: 2700 кг/ м³; термообробка: гартування 535⁰С, відпуск 180 – 200⁰С.

Температура плавлення, ° С: 660

Температура критичних точок: $A_{c1} = 800^{\circ}$, $A_{r1} = 780^{\circ}$.

Коефіцієнт теплопровідності 180 ккал/м год град° С

Межа міцності 127 МПа

Твердість матеріалу: НВ = 70 МПа

Таблиця 1.2

Механічні властивості сплаву АК5М7 ДСТУ 7806: 2015

σ_T	σ_B	δ_5 ,	ψ ,	a_n ,	HB
МПа	МПа	%	%	кДж/см ²	
127	130	22	30	24	65...70

Вид поставки: сортовий прокат, виливки, в тому числі фасонний: прокат ДСТУ 7806: 2015.

Застосування в промисловості. Сплав АК5М7 ДСТУ 7806: 2015 використовується для виготовлення відповідальних деталей машин (для роботи при температурах до 400-450° в агресивному середовищі). Виготовляють поршні, елементи турбін, корпус гільзи циліндрів, картер, корпуси та важелі.

1.5 Визначення типу та організаційної форми виробництва

У дипломному проєкті розроблений технологічний процес орієнтований на середньо-серійне виробництво. Тип виробництва визначає рівень технологічного забезпечення процесу.

На даний час серійне виробництво є найпоширенішим типом, який характеризується стабільністю випуску значної кількості продукції. Організація праці у серійному виробництві передбачає спеціалізацію: за кожним робочим місцем закріплюється кілька визначених операцій.

Технологічне оснащення для серійного та середньо-серійного типу виробництва здебільшого є універсальним. Перевага надається універсальному, переналагоджуваному та спеціалізованому оснащенню.

На етапі розроблення технологічного процесу тип виробництва визначають з урахуванням маси деталі та обсягу випуску продукції табличним способом за певною методикою [4] (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Тип виробництва в залежності від обсягу випуску та маси деталі

Маса деталі, кг	Тип виробництва				
	Одиничне	Дрібносерійне	Середньoserійне	Крупносерійне	Масове
<1,0	<10	10-2000	1500-100000	75000-200000	200000
1,0-2,5	<10	10-1000	1000-50000	50000-100000	100000
2,5-5,0	<10	10-500	500-35000	35000-75000	75000
5,0-10	<10	10-300	300-25000	25000-50000	50000
>10	<10	10-200	200-10000	10000-25000	25000

Враховуючи програму випуску $N = 100000$ шт та масі деталі $m = 0,2$ кг – тип виробництва середньoserійний.

Для середньoserійного типу виробництва форму організації роботи приймаємо перемінно-поточну, яка характеризується запуском виробництва виробів партіями.

Розмір партії деталей визначається за формулою:

$$N_n = \frac{N \cdot t}{\Phi},$$

де N – програма випуску виробів у рік, $N = 100000$ шт.; t – період на який необхідно мати запас деталей, приймаємо $t = 12$; Φ – число робочих днів в році, $\Phi = 254$, тоді $N_n = 1000 \cdot \frac{12}{254} = 47,2$ шт., приймаємо $N_n = 500$ шт.

Висновки до першого розділу

Перший розділ дипломної роботи присвячено огляду та аналізу науково-технічної інформації за темою дипломної роботи.

Розглянуто конструктивно-технологічні та експлуатаційні особливості деталі «Поршень». Проаналізовано можливість використання матеріалів заготовки та систематизовано інформацію щодо способу отримання заготовки.

Розглянуто типові технології виготовлення деталі «Поршень», встановлено закономірності та визначено задачі, які необхідно дослідити.

2. МЕТОДИКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО - ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДЕТАЛІ «ПОРШЕНЬ» З УРАХУВАННЯМ ТЕРМО НАПРУЖЕНОГО СТАНУ

2.1. Теоретичні дослідження термонапруженого стану поршня

З кожним роком зростають вимогами до потужності та умов роботи двигунів внутрішнього згорання (ДВС). Постійно є вимога до підвищення економічності та зростання потужності, що впливає на теплонапружений стан елементів ДВС зокрема камери згорання.

Забезпечення визначеного ресурсу термонапружених деталей камери згорання є головним завданням при проектуванні конструкції та технології виготовлення деталей перспективних двигунів.

Конструкція камери згорання є важливим конструктивним елементом, який безпосередньо впливає на економічність, токсичність викидів та ресурс ДВС. Таким чином необхідно провести дослідження поршня швидкохідного форсованого двигуна для досягнення необхідного рівня працездатності.

В процесі аналізу виконується оцінка температури поверхневого шару камери згорання та зони верхнього поршневого кільця. Особливо важливим залишається питання синтезу геометрії камери згорання за допомогою САПР технологій, визначення граничних умов та вирішення задач з теплопровідності.

В межах дипломної роботи вирішується задача дослідження термонапруженого стану поршня типової конструкції.

Теоретично теплопровідність розглядається як перенос теплоти в нерухомих середовищах постійної щільності. Математично процес теплопередачі (теплообміну) описується диференціальним рівнянням виду:

$$a \cdot \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right); \quad (2.1)$$

Згідно з першим завданням теплообміну, з цього рівняння необхідно визначити розподіл температур у тілі довільної геометрії, враховуючи зміну температури t в об'ємі з координатами x, y, z , в заданий проміжок часу τ .

Відомо, що якщо в різних зонах тіло має різні фізико-механічні властивості (біметалеві конструкції елементів), то завдання слід розглядати як контактну задачу тіл.

З аналізу рівняння (2.1) видно, що подібна постановка має нескінченну кількість можливих рішень. Для того щоб знайти однозначне рішення, вираз (2.1) доповнюють початковими та граничними умовами теплового стану тіла.

Для вирішення даної задачі початкові умови визначають стан тіла у початковий момент часу:

$$f(x, y, z, 0) = t_0(x, y, z). \quad (2.2)$$

Граничні умови описують взаємодію тіла з навколишнім середовищем. Під час взаємодії тіло здобуває нову температуру й при дискретній зміні в часі граничних умов набуває складного розподілу температур.

Таким чином для знаходження вирішень поставленої задачі необхідно задавати граничні умови третього роду. Робиться припущення про конвективний теплообмін з навколишнім середовищем:

$$-\lambda \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) = \alpha \cdot (t_{\text{ст}} - t) \quad (2.3)$$

Загальна постановка задачі теплообміну є складною для одержання рішень. Тому вводяться для спрощення певні допущення. Першочерговим спрощенням є вирішення задачі в стаціонарному вигляді, що дозволяє визначити початкові умови нестационарної задачі.

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0 \quad (2.4)$$

При постановці задачі залежність 2.4 та розглянуті раніше граничні умови виражаються як незалежні від часу.

$$t = t(x, y, z). \quad (2.5)$$

Ще однією умовою і спрощенням доводиться користуватись для переведення об'ємної задачі у плоску та перехід до полярних координат (для вісесиметричних) елементів. Задача теплопровідності у площині описується наступною залежністю:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = \quad (2.6)$$

Для вирішення вісесиметричних задач теплообміну застосовують диференціальне рівняння виду:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial t}{\partial r} = \quad (2.7)$$

Подальше спрощення залежності 2.7 зводиться до одновірної задачі теплопровідності виду:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} = \quad (2.8)$$

Одновимірна задача зводиться до розподілу температури по товщині стінки δ .

Аналітичні рішення для деталей ДВЗ практично одержати з високою точністю вдається в край рідко. Тому задачі теплопровідності краще вирішувати чисельними методами. Вихідне диференціальне рівняння записують як функціонал, який безпосередньо дозволяє враховувати геометрію деталі й граничні умови. Також у функціоналі в загальному можуть враховуватися внутрішні джерела теплової енергії.

Температуру деталі вважають визначеною за умови, коли значення функціоналу набуває мінімальних величин:

$$\Phi(t) \rightarrow \min; \quad \frac{d\Phi}{dt} \quad (2.9)$$

Для загального випадку розв'язання нестационарної об'ємної задачі теплообміну у вигляді функціоналу за допомогою якого здійснюється розв'язання задачі, має вигляд:

$$\begin{aligned} \Phi(t) = & \frac{1}{2} \cdot \int_{\Omega} \left[\lambda_x \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 - 2 \cdot Q \cdot \Phi_q(\tau) \cdot t + 2 \right. \\ & - \int_{\delta\Omega_q} q \cdot \Phi_q(\tau) \cdot t \cdot dS + \int_{\delta\Omega_\alpha} \alpha \cdot \Phi(\tau) \cdot (t - t_{cp} \cdot \Phi_\alpha(\tau)) \cdot t \cdot dS + \\ & \left. \int_{\delta\Omega_\epsilon} \epsilon \cdot \Phi_\epsilon(\tau) \cdot \left[\frac{t^5}{5} - T_u \cdot \Phi_u(\tau) \cdot \int_{\delta\Omega_\alpha} \alpha \cdot \Phi_\alpha(t) \cdot (t - t_{cp} \cdot \Phi_\alpha(\tau)) \right] \cdot dS \right] \cdot d\Omega \end{aligned} \quad (2.10)$$

де перший інтеграл описує розподіл теплового поля у тілі деталі з урахуванням неоднорідності коефіцієнта теплопровідності за різними напрямками, тут враховується можливість внутрішнього виділення теплоти за певним законом в часі: $2Q \cdot \Phi_q(\tau) \cdot t$, а також враховується вплив фізичних властивостей матеріалу

на зміну температури за об'ємом в деталі: $2\rho \cdot c \cdot \frac{\partial t}{\partial \tau}$.

Інтеграл $\int_{\delta\Omega_q} q \cdot \Phi_q(\tau) \cdot t \cdot dS$ забезпечує граничні умови 2-го роду. Робиться припущення, що на частині поверхні деталі $\delta\Omega_q$, підводиться тепловий потік величини q , причому інтегрування здійснюють за елементарними площинами δ .

Інтеграл $\int_{\delta\Omega_\alpha} \alpha \cdot \Phi_\alpha(t) \cdot (t - t_{cp} \cdot \Phi_\alpha(\tau)) \cdot dS$ виражає умови 3-го роду.

Інтеграл $\int_{\delta\Omega_\epsilon} \epsilon \cdot \Phi_\epsilon(\tau) \cdot \left[\frac{t^5}{5} - T_u \cdot \Phi_u(\tau) \cdot \int_{\delta\Omega_\alpha} \alpha \cdot \Phi_\alpha(t) \cdot (t - t_{cp} \cdot \Phi_\alpha(\tau)) \right] \cdot dS$ виражає явище випромінювання в зоні розглянутого об'єму деталі й поглинання цього випромінювання частиною поверхні $\delta\Omega_\epsilon$.

$\epsilon_0 \cdot \epsilon_0$ – коефіцієнт поверхні поглинання (ступінь чорності); T_u – температура випромінюючого джерела. Величини $\Phi_q(\tau)$, $\Phi_\alpha(\tau)$, $\Phi_\epsilon(\tau)$, $\Phi_u(\tau)$ є керуючими функціями, що визначають закон зміни в часі Q , q , α , $\epsilon_{пр}$.

Використання запропонованого функціоналу при розрахунках теплопровідності в ДВС дозволяє визначити тепловий стан деталей двигуна в умовах перехідного процесу з одного режиму в інший. Застосування керуючих функцій дозволяє визначити температуру в різних зонах об'єму деталі.

Для різних зон роботи деталі закони зміни граничних умов будуть різними при перехідних процесах роботи двигуна. Це враховується за рахунок відповідних інтегралів введення керуючих функцій.

В існуючих методиках розрахунку теплообміну ДВЗ внутрішні джерела теплоти не беруться до уваги, а граничні умови задають як умови 3-го роду. Таким чином розглянутий функціонал набуває виду:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\gamma} \cdot \int \left\{ \lambda_x \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial x} \right)^2 + \lambda_y \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial y} \right)^2 + \lambda_z \cdot \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right\} dV + \frac{1}{\gamma} \cdot \int \alpha \cdot (t - t_{cp}) \quad (2.11)$$

Подальше спрощення задачі можливе за умови дослідження вісесиметричних тіл, одним з яких є поршень. Тоді вихідним функціоналом для вирішення вісесиметричної задачі є вираз виду:

$$\Phi(t) = \int \left\{ \left(\frac{\partial t}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial t}{\partial z} \right)^2 \right\} \cdot r \cdot dV + \int \frac{\alpha}{\lambda} (t - t_{cp}) \cdot r \cdot \quad (2.12)$$

Зов'язок задачі теплопровідності на основі використання запропонованого методу функціоналів одержують з застосуванням чисельних методів або з використанням методу R-функцій.

При складній геометрії в умовах зміни температур одержувані розв'язки не завжди відображають істинні значення. У зв'язку з цим використовують регіонально-структурний метод розв'язання. При цьому різні поліноми використовуються для різних областей за об'ємом деталі.

Рішення подають у вигляді:

$$t = f(\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_n, \omega_1, \omega_2, \omega_m, \omega). \quad (2.13)$$

Метод R-функцій має низку переваг порівняно з іншими методами, які застосовуються для розв'язання задач теплообміну. Цей метод дозволяє сформулювати задачу та швидше отримати розв'язок й повністю автоматизувати етапи розрахунку за наявності типового опису досліджуваної області.

Однією з важливих переваг є можливість задання граничних умов в аналітичному вигляді. У використовуваному функціоналі значення $\alpha(r, z)$, $t_{cp}(r, z)$ задаються у вигляді аналітичних функцій.

2.2 Дослідження термонапруженого стану поршня з використанням методу кінцевих елементів

Для моделювання процесів що протікають в деталі при заданих умовах у визначений проміжок часу необхідно перш за все здійснити побудову тривимірної моделі, яку виконують зазвичай в SolidWorks (рис. 2.1).

Визначення значень діючих напружень та температурних полів виконується в декілька етапів з використанням програмного комплексу ABAQUS (Steady-State Thermal та Static Structural).

Початок розрахунку в середовищі Abaqus починається з імпортування моделі та побудови сітки кінцевих елементів (рис. 2.2) виходячи з умови, що кількість елементів при найменшому лінійному розмірі не менше трьох.

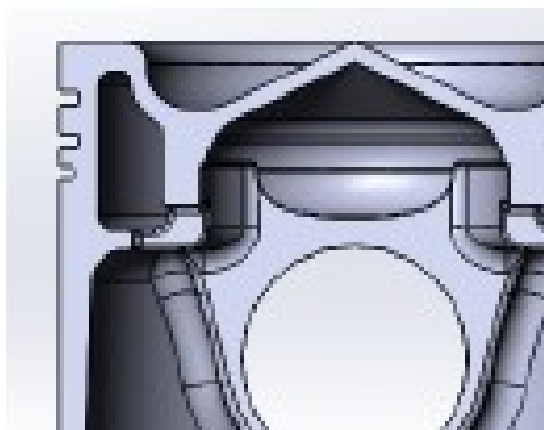


Рисунок 2.1 – 3D модель поршня

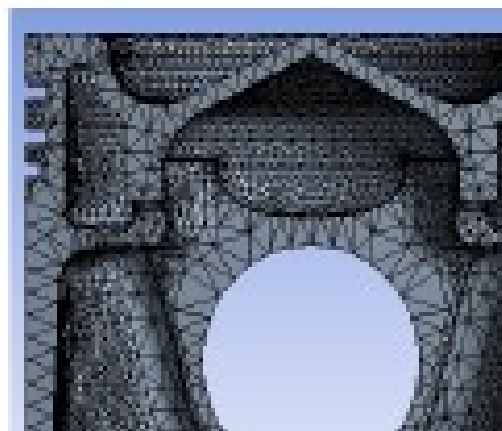


Рисунок 2.2 – Сітка кінцевих елементів

Наступним кроком будують структуру розрахунку (рис. 2.3.) та задання граничних умов.



Рисунок 2.3 – Структура розрахунку в програмному комплексі Abaqus

Властивості матеріалів вводяться у розділ Engineering Data. Також можна використати бібліотеку матеріалів, що міститься у внутрішній базі даних.

Для матеріалу поршня необхідно задати модуль пружності, коефіцієнт теплопровідності, а також модуль пружності при певній температурі (яка була отримана на попередньому етапі розрахунку). Також потрібно вказати розмірності зазначених параметрів.

У програмному пакеті Abaqus **Steady-State Thermal** на основі заданих граничних умов моделюються температурні поля (рис. 2.4).

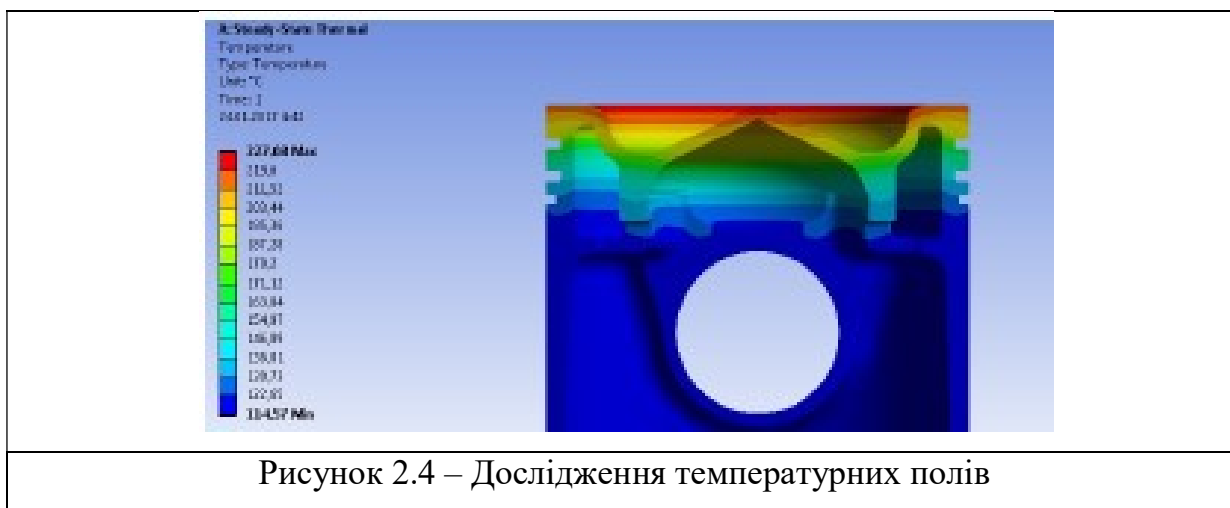
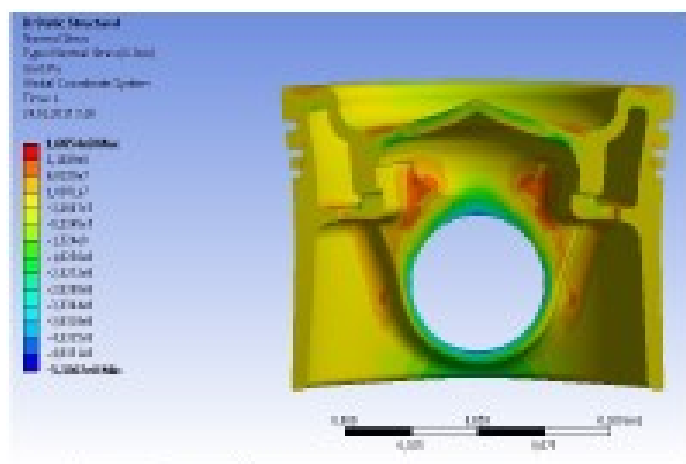


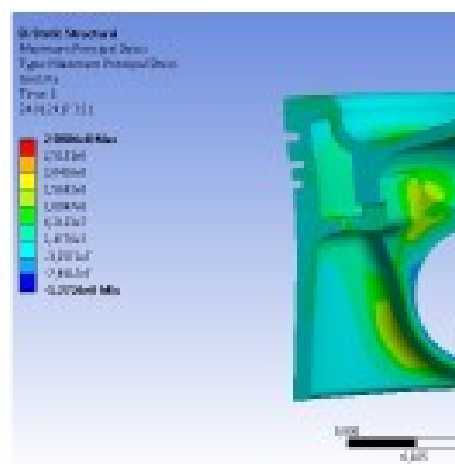
Рисунок 2.4 – Дослідження температурних полів

Визначення амплітудних значень напружень деталі розглядаються у двох положеннях поршня. Перше положення відповідає моменту максимального тиску робочих газів, а друге – моменту максимального значення сил інерції.

У програмному комплексі були виконані розрахунки полів нормальних напружень (Normal Stress) і головних напружень у тілі поршня (рис. 2.5, 2.6).



Поле максимальних нормальних напружень σ_{max}



Поле головного напруження

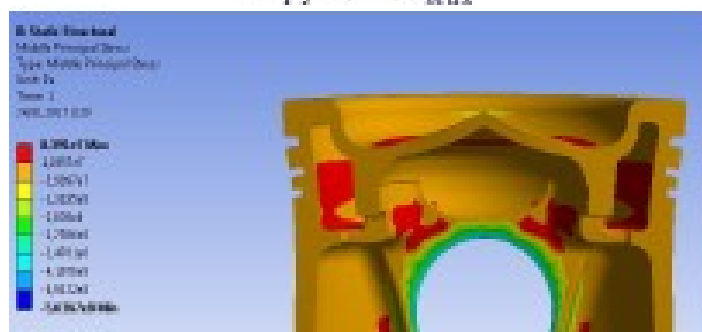


Рисунок 2.5 – Напруження від дії сил газів

За результатами розрахунків полів напружень встановлено, що небезпечною зоною виявлено основу бобишки. Значення головних напружень у критичних точках зведені у таблицю 2.1

Таблиця 2.1

Значення головних напружень у критичних точках

Положення №	σ_1 , МПа	σ_2 , МПа	σ_3 , МПа	σ_{max} , МПа
1	190	80	55	116,4
2	6,03	2,04	1,85	

Аналіз конструкції поршня на міцність розпочинається з перевірки статичної міцності. Дослідження проводяться для половини деталі з

використанням функції Symmetric Region, що дозволяє зменшити кількість елементів сітки й обсяг розрахунків.

Навантаження на днище поршня задається як тиск газів. Сили інерції поршня розраховувались для умов максимального крутного моменту при 4800 об/хв.

Визначення допустимих напружень виходячи з умови забезпечення витривалості в умовах багатокompонентного напруженого стану при асиметричному циклі діючих напружень в момент втомного руйнування має наступний вигляд:

$$\sigma_{\text{екв}} = \sigma_{ia} + \Psi_{\sigma} \sigma_{im} = \sigma_{-1} \quad (2.14)$$

де σ_{ia} – максимальна інтенсивність змінних напруг; $\Psi_{\sigma} = \sigma_{-1} / \sigma_e$ – коефіцієнт, що враховує вплив постійної складової циклічного навантаження на опір втомним напруженням; σ_{im} – максимальне нормальне напруження; σ_{-1} – межа витривалості матеріалу; σ_e – межа міцності матеріалу.

Інтенсивність максимальних напружень при складному напруженому стані виражається залежністю:

$$\sigma_{ia} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xa} - \sigma_{ya})^2 + (\sigma_{ya} - \sigma_{za})^2 + (\sigma_{za} - \sigma_{xa})^2 + 6(\tau_{xya}^2)} \quad (2.15)$$

Результати досліджень напружень від сил інерції наведені на рисунку 2.6.

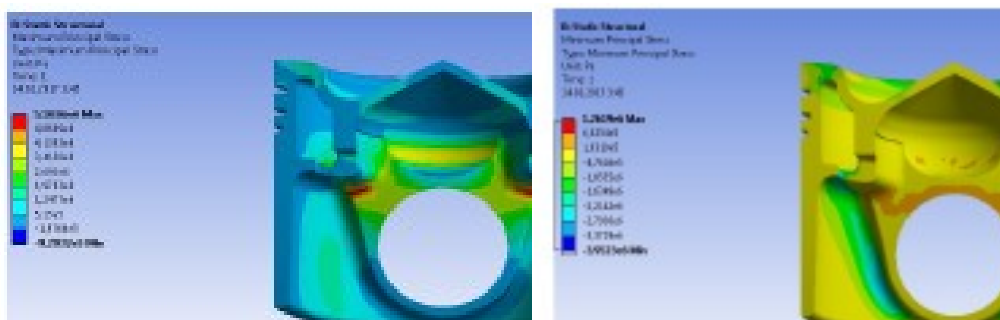


Рисунок 2.6 – Напруження від інерційних сил

Наведені чисельні розрахунки проведені за умов нормального теплового навантаження без урахування факторів, що викликають порушення робочого процесу.

Для визначення допусків на виготовлення деталі поршень за умови теплового розширення проведено додаткові дослідження. Результати досліджень відображено на рис. 2.7, 2.8.

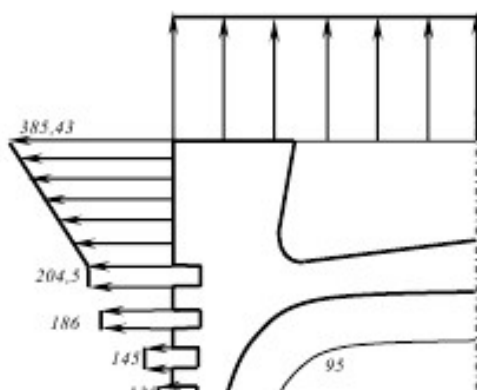


Рисунок 2.7 – Графік розподілу температур по зонах поршня

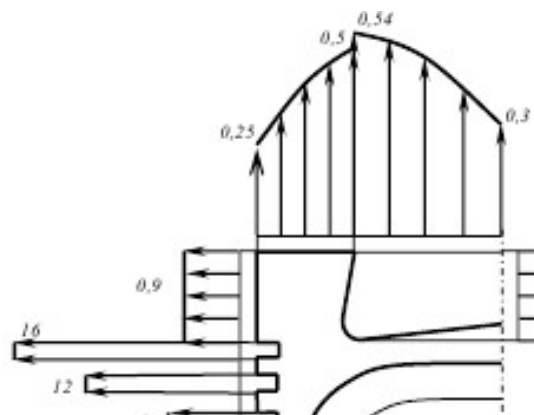


Рисунок 2.8 – Графік розподілу коефіцієнта теплопровідності по зонах поршня

Висновки до другого розділу

Описана загальна методологія роботи, яка передбачає теоретичні та експериментальні дослідження, комп'ютерне моделювання та аналіз вибору оптимальних параметрів деталі з урахуванням умов експлуатації.

Розроблена фізична та математична моделі, які описують поведінку поведінку матеріалу поршня в робочій камері ДВЗ.

Запропоновано методика визначення зміни розмірів деталі поршень при температурному розширенні.

3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ ПОРШЕНЬ

3.1 Технологія виготовлення деталі поршень

3.1.1 Обґрунтування способів отримання заготовки

Заготовки поршнів із алюмінієвих сплавів отримують методом лиття в кокіль або ізотермічного штампування. Під час ізотермічного штампування матеріал не розплавляється, а попередньо нагрівається до стану, що дозволяє пластичну деформацію, після чого штампується на гідравлічному пресі у спеціальній оснастці. Після механічної обробки поршні піддаються термічній обробці для підвищення твердості, міцності та зносостійкості, а також для запобігання викривленню під час експлуатації. Ковані поршні поки що застосовуються рідше, ніж литі [4].

У серійному та масовому виробництві поршні з алюмінієвих сплавів виготовляються методом лиття. Однак найміцнішими вважаються ковані поршні, які виготовляються із заготовок, отриманих методом лиття, а потім піддаються куванню. Для кожного металу існує своя температура кування, для алюмінію вона є відносно низькою — близько 500 °С. У дрібносерійному та одиничному виробництві для досягнення оптимальних механічних характеристик заготовки поршнів виготовляють методом ізотермічного або рідинного штампування.

Лиття в кокіль є найбільш простим технологічним процесом, який дозволяє використовувати поршневі сплави з низьким коефіцієнтом лінійного розширення (КЛР) і виготовляти складні за формою відливки. Проте цей метод має два суттєві недоліки: невисока якість заготовок (наявність дефектів) і низький коефіцієнт використання матеріалу (КІМ), оскільки значна частина металу йде у відходи лиття. Заготовки, отримані методом гарячого штампування деформівних сплавів, мають високу якість. Однак такі сплави мають на 15-20% вищий КЛР порівняно з ливарними, а КІМ при гарячому

штампуванні ще нижчий через втрати металу у вигляді облоя та надлишків від штампувальних ухилів [5].

Розглянемо відмінності цих методів і визначимо оптимальну технологію отримання заготовки.

Двигун працює в складних умовах, що створює велике навантаження на його компоненти, особливо на поршні. Поршні рухаючись з великою швидкістю зазнають значних навантажень, які зростають із збільшенням маси поршня. Ковані поршні зазвичай є легшими за литі й зазнають менших навантажень.

Під час виготовлення литих поршнів утворюється багато мікроскопічних дефектів які при максимальній потужності двигуна можуть призвести до деформації чи руйнування поршня.

Вміст кремнію значно впливає на технологію виготовлення, тому ковані та литі поршні виготовляють із різних сплавів. Для виготовлення кованих поршнів використовують сплави з підвищеним вмістом кремнію, який забезпечує хорошу термостійкість, низьке теплове розширення. Однак під час лиття утворюються дефекти, відбувається нерівномірна кристалізація частинок кремнію, що призводить до формування крихкої структури.

Порівняльний аналіз характеристик кованих та литих поршнів наведено в таблиці 3.1

Таблиця 3.1

Порівняльний аналіз характеристик кованих та литих поршнів

№	Опис	Литво	Поковка
1	Застосування	Легкові автомобілі без важких навантажень	Форсовані двигуни з підвищеними навантаженнями
2	Об'єм випуску	Серійне / масове	Одиничне
3	Вартість	Дешевше	Дорожче
4	Маса	Легкі	Важкі
5	Міцність	Менш міцні	Міцні
6	Структура	Великозерниста	Дрібнозерниста
7	Твердість, HB	80-90	130
8	Роб. Темп. дна	До 200 °С	До 350 °С
9	Легуючі елементи	Бажано менше Si	Допускається більше Si
10	Термоциклічна		В 6 раз вища

В дипломній роботі віддається перевага способу отримання заготовки «Литво» так як виробництво серійне, а двигуни не форсовані.

Модель комплексної заготовки отриманої литвом під тиском з вакуумуванням пресформи наведена на рис. 3.1.

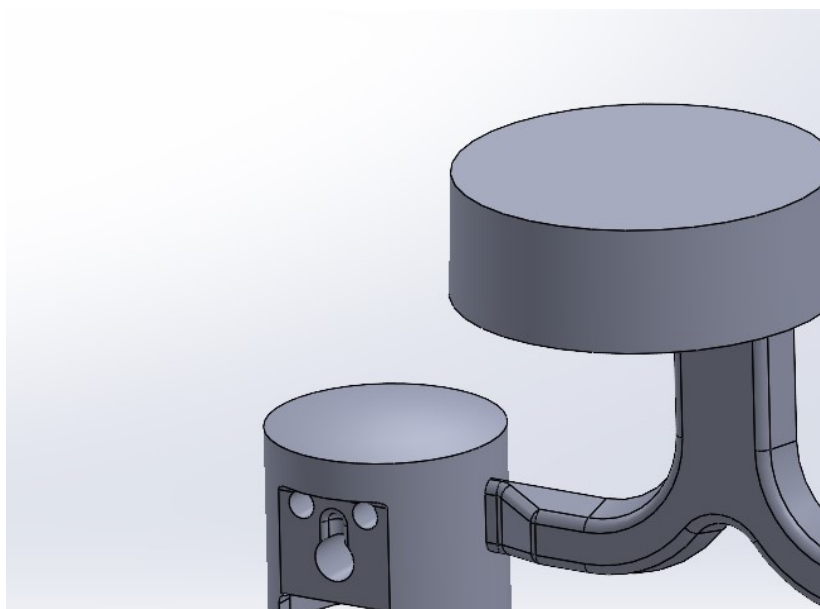


Рисунок 3.1 – Модель заготовки

3.1.2 Термічна обробка поршня

Термічна обробка алюмінієвих сплавів здійснюється для досягнення заданих властивостей шляхом нагрівання до необхідної температури за визначений проміжок часу з наступною витримкою та з певною швидкістю охолодження. Різні методи теплової обробки дозволяють отримати широкий спектр структур і властивостей матеріалу. Час нагрівання залежить від типу печі, розмірів деталей та їх розташування в печі, а тривалість витримки визначається швидкістю фазових перетворень.

Силуміни слабо зміцнюються за допомогою термічної обробки, і їхні властивості значною мірою залежать від технології лиття. Проте для їх

зміцнення застосовують загартування та старіння, а для усунення нерівноважних структур і деформаційних дефектів, які знижують пластичність сплаву, проводять відпал.

Гартування полягає в отриманні у сплаві максимально нерівноважного фазового стану (пересиченого твердого розчину з максимальною концентрацією легуючих елементів). Такий стан, з одного боку, забезпечує підвищення твердості та міцності порівняно з рівноважним станом, а з іншого – створює можливість подальшого зміцнення під час старіння. Гартування застосовується для сплавів, які зазнають фазових перетворень у твердому стані.

Процес гартування включає нагрівання сплаву до температури, за якої надлишкові інтерметалічні фази повністю або переважно розчиняються в алюмінії, витримку при цій температурі та швидке охолодження до нормальної температури для отримання пересиченого, твердого розчину.

Температура нагріву для гартування повинна забезпечити якнайповніше розчинення інтерметалічних фаз в матеріалі. При цьому важливо, щоб охолодження було достатньо швидким. Головною особливістю алюмінієвих сплавів є вузький температурний інтервал нагрівання під гартування.

Температура нагріву для гартування різних промислових сплавів варіюється від 450 до 560 °С.

Оптимальний вибір температури для гартування визначає якість отриманого виробу. Занадто висока температура може призвести до дефекту – перегорання (оплавлення на межах зерен), що викликає утворення тріщин, бульбашок на поверхні напівфабрикатів і зниження їхньої міцності, стійкості до корозії та опору до крихкого руйнування. Це явище є незворотним, тому заготовка зазвичай відправляється до інших бракованих виробів.

Витримка при температурі нагріву для загартування повина бути мінімальною та забезпечувати розчинення інтерметалічних фаз. Тривалість витримки залежить від розміру часток та характеру їх розподілу. У деформованих виробах інтерметалічні фази зазвичай представлені дрібними вторинними кристалами, а в литих виробах – у вигляді грубих евтектичних включень. Відповідно, тривалість витримки при нагріванні для загартування

деформованих сплавів вимірюється десятками хвилин, а для литих – годинами або навіть десятками годин.

Необхідна швидкість охолодження при загартуванні визначається швидкістю випадання надлишкових фаз із переохолодженого та перенасиченого твердого розчину. Охолодження має здійснюватися так, щоб не допустити розпаду твердого розчину під час охолодження. Ця швидкість повина перевищувати критичну швидкість охолодження, яка є найменшою швидкістю охолодження, за якої розпад твердого розчину ще не відбувається.

Критичні швидкості охолодження для різних сплавів можна приблизно визначити за діаграмами ізотермічного розпаду переохолодженого твердого розчину. Частковий розпад твердого розчину знижує механічні властивості та корозійну стійкість після старіння.

У промисловості більшість алюмінієвих сплавів під час загартування охолоджують у воді (зазвичай холодній, іноді підігретій). Однак охолодження у воді не завжди є оптимальним варіантом загартування. Дуже висока швидкість охолодження при загартуванні у воді призводить до утворення значних внутрішніх напружень, що спричиняють короблення виробів.

Це особливо актуально для великогабаритних виробів складної конфігурації, виправлення яких після загартування є вкрай трудомістким і дорогим процесом. Тому вибір середовищ охолодження для кожного сплаву є актуальним завданням.

3.1.2.1 Старіння заготовки

Старіння – це витримка загартованого сплаву при певних відносно низьких температурах, за яких починається розпад пересиченого твердого розчину або відбуваються структурні зміни у твердому розчині, які слугують підготовкою до розпаду.

Метою старіння є додаткове підвищення міцності загартованих сплавів.

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

Висока пересиченість твердого розчину в загартованому сплаві зумовлює його термодинамічну нестабільність. Розпад твердого розчину, що наближає фазовий стан до рівноважного і, відповідно, зменшує вільну енергію сплаву, є самовільним процесом.

У багатьох загартованих алюмінієвих сплавах підготовчі стадії розпаду, а іноді й початок самого розпаду, відбуваються без спеціального нагрівання, під час витримування в природних умовах у цеху, на складі чи іншому приміщенні, де зберігаються вироби, зазвичай за температури від 0 до 30 °С. У деяких алюмінієвих сплавах підготовка до розпаду та початкові стадії розпаду відбуваються лише під час нагрівання загартованого сплаву до температури 100–200 °С. Метою такого нагрівання є термічна активація дифузійних процесів.

Витримування загартованих алюмінієвих сплавів у природних умовах (за температури навколишнього середовища), що призводить до певних змін структури та властивостей (зазвичай підвищення міцності), називається природним старінням. Нагрівання загартованих алюмінієвих сплавів до температури (зазвичай у межах 100...200 °С) і витримка називається штучним старінням (рис.3.2). Здатність багатьох алюмінієвих сплавів до старіння за кімнатної температури зумовила появу терміна "щойно загартований стан" щодо алюмінієвих сплавів, тобто стану сплаву безпосередньо після загартування.

Властивості алюмінієвих сплавів у щойнозагартованому стані можуть суттєво відрізнитися від їхніх властивостей через певний час після загартування (внаслідок природного старіння). Природне та низькотемпературне штучне старіння пов'язане з тонкими змінами структури, які не виявляються у світловому, а в ряді випадків і в електронному мікроскопі. Лише спеціальні

методи рентгеноструктурного аналізу дозволили описати механізм підготовчих стадій розпаду пересиченого твердого розчину [5].

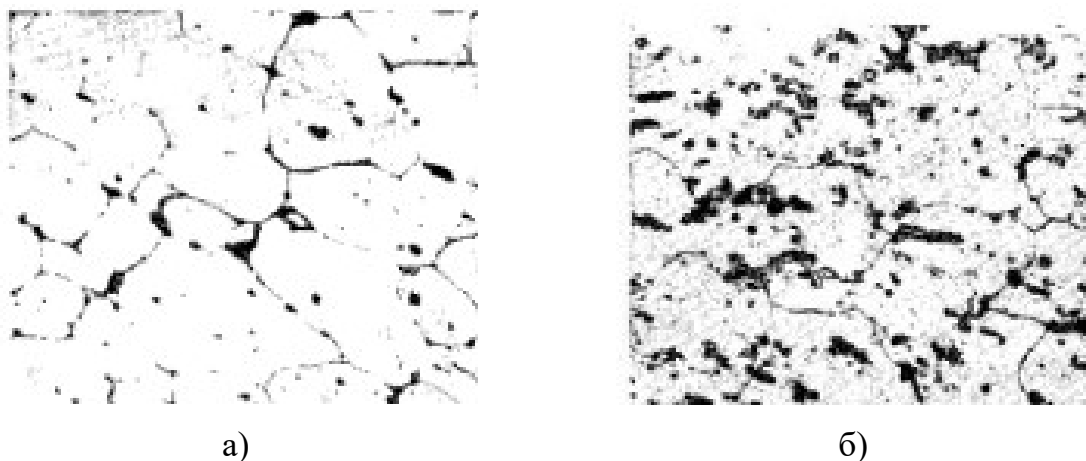


Рисунок 3.2 – Микроструктура сплаву АК12М7

а) після гартування; б) після гартування та штучного старіння

Старіння суттєво впливає на властивості сплаву. У щойнозагартованому стані (тобто одразу після загартування) межа міцності дещо підвищується і становить приблизно $\sigma_B \approx 420$ МПа. Після старіння межа міцності значно зростає, досягаючи 600 МПа. Під час природного старіння за температури 20 °С максимальна міцність досягається через 4–5 діб після загартування. При цьому швидкість зміцнення в перші години значно нижча, ніж у наступні, однак потім інтенсивність зміцнення поступово зменшується. Типова залежність процесу зміцнення при природньому старінні наведена на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зміна міцності при природньому старінні

Початковий період, який характеризується відсутністю або дуже слабким підвищенням міцності, називають інкубаційним. Інкубаційний період має важливе технологічне значення, оскільки в цей час сплав має високу здатність до пластичної деформації. У цей момент загартовані деталі можна піддавати різноманітним технологічним операціям, пов'язаним із деформацією, таким як розклепування заклепок, згинання, відбортовка тощо. Через 2–3 години здатність до пластичної деформації значно знижується, і виконання таких операцій стає неможливим.

Стан сплаву після природного старіння є нестійким. Якщо короткочасно витримати сплав, який пройшов природне старіння, при температурі 200–250 °С, він втрачає міцність. При цьому виділені дисперсні частинки надлишкової фази розчиняються, і сплав відновлює властивості, характерні для щойнозагартованого стану, тобто знову набуває здатності до природного старіння. Це явище, тобто повернення до стану щойнозагартованого після короткочасного нагрівання, називається поверненням.

Під час старіння сплаву Al – Cu відбуваються такі процеси: друга фаза (тобто виділення із твердого розчину) чітко проявляється після штучного старіння за температури вище 200 °С (див. рисунок 3.3), коли сплав ще не досягає максимальної міцності.

3.2 Розроблення маршруту механічної обробки деталі «Поршень»

Розроблення маршруту обробки деталі попередньо починається з вибору технологічних баз та визначення методів і способів досягнення точності.

Після аналізу цих даних приступають до складання планів механічної обробки деталі. З урахуванням особливостей конструкції заготовки також прагнуть обробити за один установ якомога більшу кількість поверхонь.

Побудова маршрутної технології залежить від конструктивно-технологічних особливостей деталі та вимог до точності.

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі необхідно дотримуватися рекомендацій і послідовності дій:

- обробка базових поверхонь;
- чорнова обробка, під час якої знімається максимальний припуск;
- обробка тих поверхонь, які не знижують жорсткість заготовки (деталі);
- обробка поверхонь, які не потребують високої точності;
- чистові операції слід виконувати наприкінці технологічного процесу, за винятком випадків, коли поверхні служать базою для наступних операцій;
- обробка максимальної кількості поверхонь деталі за одну установку тощо.

До маршрутного технологічного процесу (ТП) входить багатоцільова операція механічної обробки, яка містить 2 установи. Це дозволяє заощаджувати між операційний час та зменшує відсоток браку деталей при повному проходженні маршруту механічної обробки. Запропонований технологічний маршрут виготовлення деталі «Поршень» є прогресивним, зважаючи на кількість переходів і видів обробки.

Розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Поршень» наведений у додатку В.

3.3 Вибір обладнання, інструментів та режимів різання для механічної обробки деталі «Поршень»

Виходячи з даних рекомендацій обробку деталі проводимо на багатоцільовому токарно-фрезерному верстаті з контершпінделем моделі OKUMA MACTURN 350W - FOR SALE (рис.3.4).



Рисунок 3.4 – ОЦ OKUMA моделі MacTurn 350W

Оброблювальний центр з ЧПК OKUMA моделі MacTurn 350W (виробництво Японія) призначений для комплексної обробки деталей із різних матеріалів, включаючи високолеговані зі твердістю поверхні HRC 58...60. Верстат обладнаний віссю С, протишпинделем, фрезерним шпинделем та магазином на 44 інструменти. Оснащений конвеєром для видалення стружки, пультом дистанційного керування, 1 Мб пам'яті для програм, USB-портом та внутрішнім автотрансформатором.

Особливості OKUMA MacTurn 350W:

- монолітна лита чавунна станина;
- герметичне захисне огороження;
- серводвигуни переміщення по осям із прямою передачею моменту;
- загартовані сталеві підшипникові блоки напрямних;
- ШВП (гвинт із шариковою передачею) із подвійним кріпленням та попередньо натягнутою гайкою;
- система автоматичного змащення напрямних і ШВП;
- система компенсації теплових розширень ШВП;

- відкатна конструкція бака для СОЖ (системи охолодження та змащення);
- висока надійність обладнання завдяки інтеграції спільних розробок;
- можливість обробки деталей складної форми для медичної, авіаційної та автомобільної промисловості;
- контроль температурних деформацій головного шпинделя завдяки симетричній конструкції та системі внутрішнього охолодження шпинделя;
- опція автоматизації: оснащення вбудованим роботом.

Таким чином обраний верстат найкращим чином підходить для поставлених задач виходячи із функціональних характеристик, що відображені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Характеристики ОЦ OKUMA MacTurn 350W

Рік випуску	2013
Країна походження	Японія
Система керування	OSP-U100L
Діаметр обробки	350 мм
Довжина обробки	1500мм
Швидкість обертання основного шпинделя	38 - 3800 об/хв
Діаметр центрального отвору основного шпинделя	80 мм
Потужність приводу основного шпинделя	22 / 15 кВт
Ось С	дискретність
Швидкість обертання протишпинделя	50 - 5000 об/хв
Діаметр центрального отвору	62 мм
Потужність приводу фрезерного шпинделя	7,5 кВт
Тип хвостовика	HSK 63
Переміщення по осі X	505 + 210 мм
Переміщення по осі Y	+/- 95 мм
Переміщення по осі Z	1670 + 1655 мм
Інструментальний магазин	44 позиції
Конвеєр для видалення стружки	є
Габаритні розміри станка	6000 x 3500 x2400

3.3.1 Вибір ріжучого інструменту та технологічного оснащення

Оскільки верстати з ЧПК є дорого вартісними то доцільно використовувати найсучасніші інструменти та призначати оптимальні режими обробки. Перевагу слід віддавати застосуванню інструментів зі змінними пластинами з покриттям (у тому числі для свердління та розгортання) та інструменти, оснащені композитними матеріалами. Використання комбінованого інструменту дозволяє скоротити час на заміну та позиціонування. Це також зменшує кількість інструментів, необхідних для обробки деталей, і зменшує потребу в додаткових гніздах у магазині інструментів.

На верстатах із ЧПК слід використовувати високоточний інструмент невеликої довжини, оскільки це забезпечує підвищення режимів обробки, точності, зносостійкості та надійності інструменту. Усі інструменти потрібно налаштовувати поза верстатом. На самому верстаті бажано мати пристрій для контролю стану ріжучої кромки, фіксації часу роботи та індикації моменту заміни інструменту.

Інструменти, які використовуються на завершальних етапах обробки, необхідно контролювати для своєчасного налаштування під час обробки. Для цього також доцільно перевіряти точність обробки деталі.

Рекомендується застосовувати багатошпindelні пристрої та головки або столи, які дозволяють, наприклад, на верстатах із горизонтальним шпинделем обробляти поверхні, розташовані в довільному положенні відносно основної бази деталі.

Загальна рекомендація при роботі з верстатами ЧПК – не економити час на розробку технології, вибір оптимальних режимів різання та підбір технологічної оснастки. Використання сучасних високоякісних інструментів, різноманітних пристроїв, систем контролю, діагностики значно підвищує ефективність їх використання.

Інструмент вибирається відповідно до прийнятих методів синтезу маршруту для отримання поверхонь з урахуванням таких правил:

Розміри інструмента повинні бути оптимальними:

- при торцевому фрезеруванні діаметр фрези має бути в 1,2-1,5 рази більшим за ширину фрезерування, щоб забезпечити повне перекриття оброблюваної поверхні;
- при свердлінні та нарізанні різьби метчиком діаметр інструмента має відповідати діаметру оброблюваного отвору, а його довжина повинна бути достатньою для виведення стружки.

Інструмент для обробного центру вибирається з урахуванням його параметрів.

Фрези нового покоління для обробки плоских поверхонь дозволяють знизити витрати на обробку на 25%. Це високоточний інструмент, який забезпечує високу якість чистової обробки при мінімальній кількості проходів.

Використання пластин з чотирма ріжучими кромками в фрезах знижує витрати на виробництво одиниці продукції.

Фрези вирізняються використанням чотирикромкових пластин, низькими силами різання та плавним фрезеруванням. Це досягається завдяки позитивним переднім та осьовим кулам, які забезпечують м'яке входження в матеріал, а також інноваційній геометрії ріжучої пластини та новітнім сплавам. Зокрема, застосована нова геометрія фаски, що дозволяє отримувати відмінну поверхню торців та уступів. Пластини мають гострі лінії кромки, що забезпечує рівне різання без заусенців.

Імпортні свердла виконують неглибокі отвори вдвічі швидше за будь-які інші свердла, знижуючи витрати на половину. У порівняльних випробуваннях імпорнтні свердла показали підвищення продуктивності на 60%. Нове покоління свердл відзначається високою надійністю в роботі завдяки унікальному процесу різання та ефективного видалення стружки з зони обробки. Окрім високої продуктивності та надійності обробки, свердла забезпечують відмінну якість отворів. Розширений діапазон застосування імпорнтних свердел гарантує відмінну роботу з широким спектром оброблюваних матеріалів.

Вибір інструментів здійснювався в електронному каталозі «Hoffmann Group», представлений у таблиці 3.3 з детальним описом [14]. На рисунку 3.5 наведено приклад розшифровки позначення токарної державки.




Рисунок 3.5 – Приклад вибору й позначення токарної державки

Вибраний інструмент для забезпечення технологічного процесу наведений відображений у таблиці 3.3.

таблиця 3.3

Інструмент для забезпечення технологічного процесу

Назва	Вид	Обґрунтування
1	2	3
Державка для ЗТП права GARANT Art. No. 220016		Різець дозволяє швидке встановлення та налаштування на розмір й не потребує загострення в процесі експлуатації

Свердла високопродуктивні, твердосплавні Whistle-Notch HE TiN HOLEX Art. No. 122760		Використовуються для не глибокого свердлування. Характеризуються підвищеною продуктивністю приблизно у 2 рази
Кінцева фреза HSS-Co8 GARANT Art. No. 191520		Високопродуктивні фрези, дозволяють отримати поверхні високої чистоти
Токарная державка UniTurn® KOMET Art. No. 240100 Різець розточний UniTurn®, правий KOMET Art. No. 240110		Різець розточний зі швидкозмінною пластинкою.
Токарная державка канавкового різця GARANT Art. No. 273860 СМП HB7215 GARANT Art. No. 273706		Різець канавковий зі швидкозмінною пластинкою.
Набір для прецизійного розточування MicroKom® hi.flex 6-125 мм KOMET Art. No. 238390		Прецизійна розточувальна система нового покоління. Характеризується високою якістю оброблених поверхонь

3.4 Розрахунок припуску на механічну обробку

Розраховуємо припуски на механічну обробку та проміжні граничні розміри для зовнішнього діаметра $\varnothing 76_{-0,4}^{-0,35}$ мм.

Заготовка деталі «Поршень» являє собою відливку 2-ї групи, точність відливки 11-10, масою 0,24кг. Технологічний маршрут обробки зовнішнього діаметра $\varnothing 76_{-0,4}^{-0,35}$ мм складається з двох переходів: чорнового та чистового

точіння. Усі переходи виконуються за однієї установки. Базами слугують торець та отвір.

Визначаємо мінімальний припуск із формули:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{zi-1} + h_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}),$$

де R_{zi-1} , – висота мікронерівностей, що утворилися на попередній операції; h_{i-1} – величина дефектного шару, що утворився на попередній операції; $\Delta_{\Sigma i-1}$ – сумарне відхилення розташування поверхні, що створилося на попередній операції, мкм; ε_{yi} – похибка установлення заготовки на виконуваному переході, мкм.

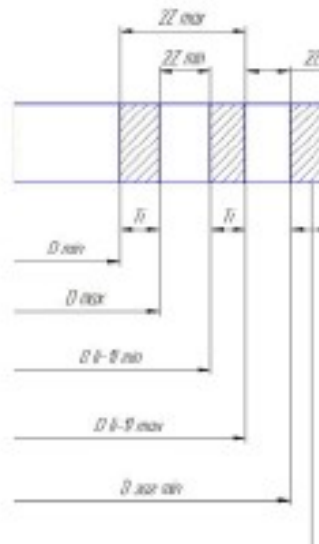


Рисунок 3.6 – Схема розташування припусків і допусків

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\kappa} \cdot l = 0,016 \cdot 0,250 = 0,004$$

$$\varepsilon = C \left(\frac{P}{9,8} \right)^{0,5} = 2,9 \cdot \left(\frac{8000}{9,8} \right)^{0,5} = 0,01$$

Значення елементів припуску, граничні розміри записуємо у таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок припусків при обробці поверхні $\varnothing 76_{-0,4}^{-0,35}$

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мм	
	$R_{z_{i-1}}$	h_{i-1}	$\Delta_{\Sigma_{i-1}}$	ε_i				Нм.	Нб.	Нм.	Нб.
Заготовка	50	50	44	-	2,175	78	1,000	75,60	13,3		
Точіння чорнове	12,5	12,5	3	70	0,185	12,017	0,1	12,02	12,20	0,58	1,1
Точіння чистове	6,3	6,3	1	70	2×123	11,771	0,050	11,771	11,814	0,249	0,386

3.5 Розрахунок режимів різання

Режими різання розраховувались притримуючись рекомендацій виробника ріжучого інструменту й обирались з каталогів «Hoffmann Group» [6].

Операція 005, установ А, перехід 1, підрізка торця

Точити торець А

Глибина різання $t = 1,5\text{мм}$; подача $S=0,1\text{мм/об}$; швидкість різання $v=335\text{м/хв}$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 335}{3.14 \cdot 78} = 600 \text{ об/хв.}$$

Визначення сили різання:

$$P_z = 10 C_p * S^y * t^z * K_f$$

$$P_z = 10 * 170 * 0.1^{0.75} * 1^1 * 1 = 57$$

Визначаємо потужність різання:

$$N_s = \frac{P_z * V}{1020 * 60},$$

$$N = \frac{532,34 * 335}{1020 * 60} = 2,9 \text{ кВ}$$

Визначаємо машиний час на обробку:

$$T = \frac{L_x}{S * n},$$

$$T_{\text{рез}} = T_{\text{рез}} + T_{\text{пер}}$$

де l_1, l_2 – врізання та перебіг

Аналогічні розрахунки для інших переходів визначаються за допомогою використання сучасних калькуляторів від виробників ріжучого інструменту.

3.5.1 Аналітичний розрахунок режимів різання на свердлування отвору $\varnothing 12,5$

Обробка ведеться в межах багатоцільової операції. Ріжучий інструмент свердло $\varnothing 12,5$ мм. з швидкорізальної сталі Р6М5.

Визначаємо глибину різання:

$$t = 0,5D$$

$$t = 0,5 \cdot 12,5 = 6,25 \text{ мм.}$$

Подача при свердлінні отворів без обмежуючих факторів обирається максимально допустимою по міцності свердла $S = 0,25$ мм/об.

[4, с. 277].

Швидкість різання визначаємо по формулі:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m S^y} K_v$$

де коефіцієнт $C_v = 9,8$ і показники ступеню $q = 0,4$; $y = 0,5$; $m = 0,2$ [4, с. 278], T – період стійкості інструменту $T = 45$ [4, с. 279, табл. 30], K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання:

$$K_v = K_{Mv} \cdot K_{Iv} \cdot K_{lv}$$

де K_{Mv} – коефіцієнт на матеріал що обробляється [4, с. 261]

$$K_{Mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{nv}$$

K_{Iv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал $K_{Iv} = 1$ [4, с. 263],

K_{lv} – коефіцієнт враховуючий глибину свердлення $K_{lv} = 1$ [4, с. 280]

$$K_{Mv} = 1 \cdot \left(\frac{750}{430} \right)^{-0,9} = 0,6$$

$$K_v = 0,6 \cdot 1 \cdot 1 = 0,6$$

$$v = \frac{9,8}{45^{0,2}} \frac{12,5^{0,4}}{0,25^{0,5}} 0,6 = 13,51$$

Число обертів шпинделя

$$n = \frac{1000}{\pi D} \frac{v}{12,5} = \frac{1000}{3,14} \frac{13,51}{12,5} = 361,3 \text{ об/хв.}$$

По паспорту верстата приймаємо $n = 355$ об/хв

Дійсну швидкість головного руху визначаємо за формулою:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 12,5 \cdot 355}{1000} = 11,0 \text{ м/хв}$$

Кругний момент розраховується по формулі

$$M_{кр} = 10 C_M D^q s^y K_p$$

де K_p та C_M - довідникові коефіцієнти, q та y - показники степені.

$C_M = 0,0345$; $q = 2,0$; $y = 0,8$ [4, с. 281, табл. 32]

Коефіцієнт враховуючий фактичні умови обробки, в даному випадку залежить тільки від матеріалу заготовки що оброблюється та визначається із виразу:

$$K_p = K_{mp}$$

Значення коефіцієнта K_{MP} приведені у [4, с. 264].

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_{\epsilon}}{750} \right)^n, n = 1$$

$$K_{MP} = \left(\frac{430}{750} \right)^1 = 0,57$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 12,5^2 \cdot 0,25^{0,8} \cdot 0,57 = 5,85 \text{ Нм}$$

Осьова сила P_o , Н визначається за формулою;

$$P_o = 10 C_p D^q s^y K_p$$

де $C_p = 68$, $q = 1,0$, $y = 0,7$. [4, с. 281, табл. 32]

$K_p = K_{MP}$ і рівний значенню K_{MP} для крутного моменту.

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 12,5^1 \cdot 0,25^{0,7} \cdot 0,57 = 1395,3 \text{ Н}$$

Потужність різання N , кВт визначається по формулі

$$N_e = \frac{M_{кр} n}{9750} = \frac{5,85 \cdot 355}{9750} = 0,22 \text{ кВт}$$

де n – частота обертання інструмента.

Розрахунок основного машинного часу обробки T_m , хв.

$$T_m = \frac{L_{px}}{ns_o}$$

$$L_{px} = 3 + 70 = 73 \text{ мм}$$

$$T_m = \frac{73}{355 \cdot 0,25} = 0,85 \text{ хв.}$$

3.6 Розробка керуючої програми

Розробка керуючої програми для обробки деталі «Поршень» починається з визначення кодів підготовки верстату до роботи, після чого здійснюється прив'язка інструментів. Панель управління ADMAC спрощує роботу оператора до мінімуму.

Система OSP L200P візуалізує поточний стан верстата під час обробки, надає важливі контрольні дані про актуальний стан і інформує оператора за допомогою спеціальних іконок і текстових повідомлень про можливі помилки.

OSP L200P оптимізує взаємодію між людиною і верстатом. Основна перевага системи – панель керування від OKUMA з діагоналлю 21,5 дюйма, обладнана РК-екраном та зручним і зрозумілим інтерфейсом користувача.

Фрагмент керуючої програми відображено нижче.

(*** Поршень***)

G13	голова А
G140	головний шпindel
G50 S2000	обмеження обертів
PR42=40 (PROTOCHKA)	номер інструмента
CALL OGRAF	прорисовка заготовки
NP03 G20 HP=1 (* PROTOCHKA *)	порядок операцій
CALL OP03 TLN=PR40 TNT=PR43	виклик операції
M02	кінець програми
OP03 (PROTOCHKA)	ім'я операції
MT=TLN*100+1	наступний інструмент
M321	підготовка наступного інструменту
IF [VRSTT NE 0] NRTS	перевірка наявності інструмента в шпинделі
G90 G95 G97 S1000 M03 M08	абсолютна система координат, вимкнення приводу шпинделя, подача MOP
G00 X175 Z5 TL=TLN*010101	вихід в координату з корекцією інструменту
G85 NLAP2 D1.5 F0.1 U0.1 W0.2	цикл чорнової обробки
G87 NLAP2 F0.1	цикл чистової обробки
G0 Z500 X200 M09	вихід в координату на швидкому ході
G00 X175 Z5 TL=TLN*010101	
G85 NLAP2 D1.5 F0.1 U0.1 W0.2	
G87 NLAP2 F0.1	
G0 Z500 X200 M09	
G20 HP=1	
M51	
T100	
M50	
NLAP2 G81	
G1 X169.625	
Z-24.5	
X169.7	
Z-145.5	
G80	
NRTS RTS	

```

OGRAF
DEF WORK
PS LC,[-146,0],[151,175]
PS LC,[-146,0],[151,50]
END
CLEAR
DRAW
RTS

```

3.6 Конструкторська частина

3.6.1 Розрахунок сил затиску затискного пристрою

При виготовленні деталей з алюмінієвих сплавів особливу увагу слід приділяти умовам базування та затиску й режимам різання. Надмірна сила затиску призведе до зміни форми деталі типу «Поршень», а в ряді випадків і до руйнування. У зв'язку з цим набирає актуальності задача з розрахунку сил затиску пневматичним патроном для установки деталі (операція 005, 010) й забезпечення необхідного зусилля затиску та точності встановлення.

З попередніх розрахунків:

Глибина різання $t = 1,5\text{мм}$; подача $S=0,1\text{мм/об}$; швидкість різання $v=335\text{м/хв}$

Визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000v}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 335}{3.14 \cdot 78} = 600 \text{ об/хв.}$$

Визначаємо силу різання:

$$P_z = 10C_p \cdot S^v \cdot t^r \cdot K_p$$

$$P_z = 10 \cdot 178 \cdot 0.2^{0.75} \cdot 1^1 \cdot 1 = 53$$

Визначаємо точність пристрою. При базуванні циліндричної деталі в патроніо сновною умовою вважатимемо забезпечення точності розмірів, тобто необхідно забезпечити точність положення деталі відносно системи координат верстата.

У такому разі прийmemo поле допуску на розмір 0,25 мм.

Умова забезпечення точності: $E_y + \Delta_n + \Delta_{обр} \leq \delta$

$\Delta_n = 0,3a = 0,3 \cdot 0,25 = 0,075$ мм – похибка налаштування

$\Delta_{обр} = 0,1$ мм – похибка обробки.

Похибка обробки $\Delta_{обр}$ виникає в процесі обробки поверхонь деталі за рахунок:

- геометричної неточності верстата в ненавантаженому стані;
- пружних деформацій технологічної системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь» під навантаженням;
- зносом і температурними деформаціями технологічної системи «верстат – пристосування – інструмент – деталь» та іншими причинами.

Похибка встановлення ϵ_y — це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при встановленні в пристосування від необхідного.

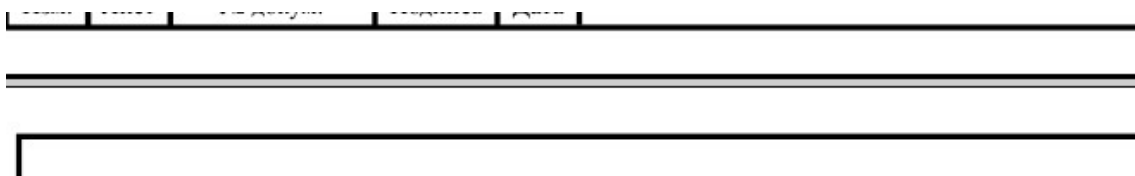
Похибка встановлення ϵ_y визначається:

$$E_y = E_\delta + E_z + E_{ар} = 0 + 0,029 + 0,025 = 0,054$$

$E_\delta = 0$ – похибка базування дорівнює нулю, оскільки конструкторські бази збігаються з технологічними.

Похибка базування ϵ_δ – це відхилення фактично досягнутого положення заготовки або виробу при базуванні від необхідного.

Похибка базування ϵ_δ визначається розрахунковим шляхом як величина проєкції максимального зміщення вимірювальної бази відносно технологічної бази на напрямок виконуваного розміру (похибка пристрою)



Похибка пристосування $\epsilon_{пр}$ включає: знос його установчих елементів (опор), похибку встановлення пристосування в шпинделі верстата. Похибку

закріплення зводимо до нуля за допомогою додаткового налаштування інструмента на розмір.

Тоді при $E_y = 0,054$ мм

$$0,054 + 0,075 + 0,1 = 0,229 < 0,25 \text{ мм}$$

Таким чином умова забезпечення точності виконується.

Для визначення зусилля затиску має бути виконана наступна умова:

$$P_{\text{різ}} \leq P_{\text{затиску}}$$

На рисунку 3.7 зображено затискний пристрій, а на рисунку 3.8 показані напрямки зусиль затискання.



Рисунок 3.7 – Затискний пристрій

Основні допущення під час розрахунку:

1. Усі деталі абсолютно жорсткі (пружними деформаціями нехтуємо, оскільки вони мають незначний вплив).
2. Навантаження на опори розподіляються рівномірно.
3. Сила різання намагаються витиснути деталь із пристосування.

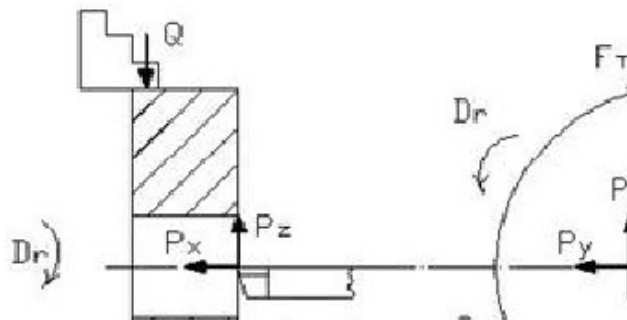


Рисунок 3.8 – Схема зусиль при затиску

$$P_{зат} = P_{ум}$$

Визначаємо необхідну силу затиску виходячи із опору зсуву (виштовхування)

$$P_{ум} = (P_z K_z) / K_{тр}$$

де K_z – коефіцієнт запаса; P_z – сила різання; $K_{тр}$ – коефіцієнт тертя.

$$P_{ум} = (532,34 \cdot 1,2) / 0,12 = 5323,4 \text{ Н}$$

3.6.2 Проектування калібр-скоби

Граничний калібр (limit gauge) — це контрольний інструмент, що визначає допустимі межі геометричних параметрів елементів виробу: прохідну та непрохідну.

Під час контролю розмірів за допомогою калібрів дійсні розміри деталей не вимірюються безпосередньо, а лише перевіряється, чи відповідають вони заданим межам. Калібри застосовуються для перевірки максимальних і мінімальних розмірів деталей. Їх використовують для контролю розмірів гладких циліндричних, конічних, різбових і шліцьових деталей, а також висоти виступів, глибини западин, довжин, ширини канавок, уступів і глухих

отворів, якщо допуски на ці розміри не перевищують шостого квалітету точності (IT6).

За конструкцією граничні калібри поділяються на:

- пробки — для контролю внутрішніх розмірів;
- скоби — для контролю зовнішніх розмірів.

За кількістю одночасно контрольованих елементів вони поділяються на:

- елементні — контролюють лише один елемент;
- комплексні — дозволяють перевірити кілька елементів чи розмірів деталі одночасно.

Калібри поділяються залежно від граничних розмірів деталей, які вони контролюють, на:

- прохідні (ПР): для перевірки найменших граничних значень внутрішніх розмірів і найбільших граничних значень зовнішніх розмірів;
- непрохідні (НЕ): для перевірки найбільших граничних значень внутрішніх розмірів і найменших граничних значень зовнішніх розмірів.

За призначенням калібри поділяються на:

- 1) Робочі (Р) – позначаються як Р-ПР (прохідні) та Р-НЕ (непрохідні). Використовуються для контролю деталей робітниками або заводськими контролерами безпосередньо на робочих місцях.
- 2) Приймальні (ПР) – позначаються як П-ПР (прохідні) та П-НЕ (непрохідні). Призначені для контролю готових виробів замовниками або відділом технічного контролю (ВТК) заводу. Приймальні калібри виготовляються шляхом відбору робочих калібрів із певним рівнем зносу.
- 3) Контрольні (К) – використовуються для перевірки робочих і приймальних калібрів під час їх виготовлення або експлуатації. Контроль здійснюється здебільшого для калібрів-скоб, адже калібри-пробки зручніше перевіряти високоточними універсальними вимірювальними засобами (мікрокаторами, оптиметрами тощо).

Для контролю заданого розміру деталі $\varnothing 76_{-0,4}^{-0,35}$ мм необхідно спроектувати спеціальний контрольно-вимірювальний інструмент – калібр-скобу,

розташування полів допусків і відхилень якого задовольняли б умовам й відповідали б схемам за ДСТУ 2234-93 (рис.3.9).

Далі визначають граничні для вала (d_{max} , d_{min}), мм. Значення допусків та відхилень для калібрів вибирають за ДСТУ 2234-93.

нок 4.1) розраховують номінальні розміри :
калібрів-пробок для отворів

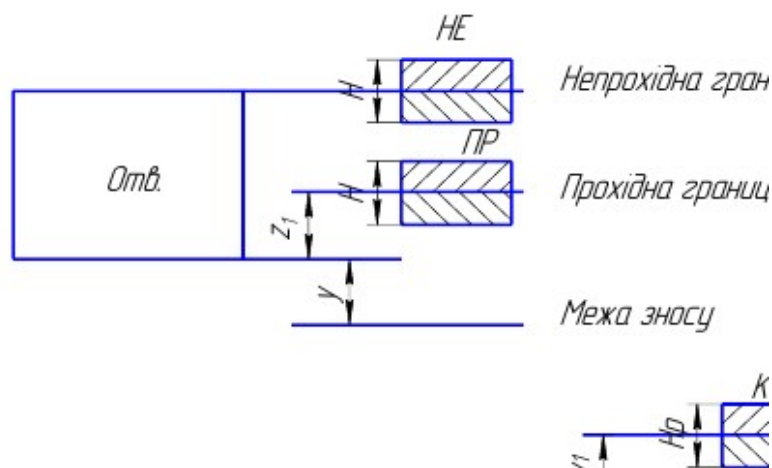


Рисунок 3.9 – Схема розташування полів допусків калібрів для номінальних розмірів до 180 мм й квалітетів 6 – 8

У відповідності до вибраної схеми полів допусків для калібрів розраховують номінальні розміри : $ПР = D_{min} + Z$, $НЕ = D_{max}$;

Визначаємо граничні розміри контрольованого отвору $\phi 76_{-0,4}^{-0,35}$

$$D_{max} = D_n - ES;$$

де D_{max} – найбільший граничний розмір, мм; D_n – номінальний розмір, мм; ES – верхнє граничне відхилення, мм.

$$\text{Тоді } D_{max} = 76 - 0,35 = 75,65 \text{ мм}$$

$$D_{min} = D_n - EI;$$

де D_{min} – найменший граничний розмір, мм; EI – нижнє граничне відхилення, мм;

$$D_{min} = 76 - 0,4 = 75,6 \text{ мм}$$

Визначаємо допуски калібр-скоби користуючись довідниковими значеннями:

відхилення середнього поля допуску $Z=2$ мкм ; допуск зношування $Y=1.5$ мкм;
допуск на виготовлення калібру $H=2.5$ мкм.

Використовуваний розмір прохідної сторони калібру пробки:

$PR_{max} = 10.00325$ допуск -0.0025

Використовуваний розмір непрохідної сторони калібру пробки:

$NE_{max} = 10.01625$ допуск -0.0025

Шорсткість робочої поверхні: $Ra0.25$

На основі проведених розрахунків спроектовано калібр-скоба (рис. 3.10),
кресленик якого наведено в додатках.

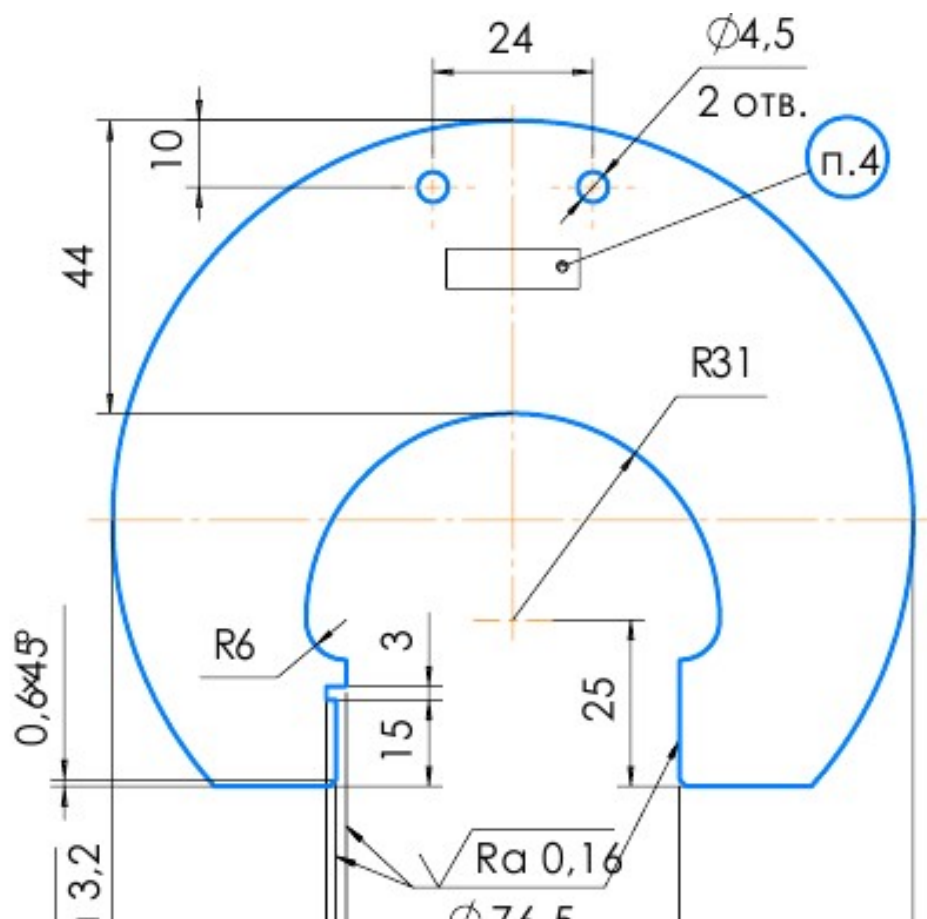


Рисунок 3.10 – Калібр-скоба

Висновки до третього розділу

В даному роздірі проведено обґрунтування вибору заготовки, та її термічної обробки. Розроблено технологію механічної обробки з використанням обробного центру з ЧПК. Проведено вибір інструментів та розрахунок режимів різання. Для обробки деталі розроблено керуючу програму.

Для забезпечення базування й затиску заготовки на верстаті розраховані сили затиску пневматичного патрона.

Для контролю полів допусків відповідальних поверхонь деталі розроблено контрольний інструмент «Калібр-скоба».

4. Охорона праці

В даному розділі розглянуто питання забезпечення безпеки праці під час виготовлення деталі «Поршень» у виробничих умовах. Заходи з охорони праці спрямовані на запобігання травм, покращення умов праці та мінімізацію негативного впливу шкідливих факторів. Всі заходи узгоджуються з чинним законодавством України в сфері охорони праці та техніки безпеки.

4.1 Аналіз небезпек та їх попередження на машинобудівному підприємстві

Під час виконання роботи проведено аналіз умов праці і встановлено, що при виробництві деталі можуть виникати небезпечні та шкідливі фактори, серед яких:

Механічні пошкодження – ураження рухомими частинами обладнання або різальним інструментом; випадки пошкодження через невідповідне кріплення заготовок або неправильну експлуатацію обладнання.

Шум та вібрація – тривале перебування в зоні високого рівня шуму може викликати втому, погіршення слуху, та підвищення стресу. Вібрації від обладнання можуть спричинити порушення кровообігу або захворювання опорно-рухового апарату.

Пил та шкідливі аерозолі – утворення дрібнодисперсного металевого пилу під час механічної обробки, наявність аерозолів мастильних матеріалів, які можуть подразнювати дихальні шляхи.

Температурний фактор – робота з нагрітими деталями або в умовах підвищеної температури повітря, ризик опіків при контакті з гарячими поверхнями.

Небезпека від електрообладнання – ризик ураження електричним струмом через несправне обладнання, небезпека виникнення короткого замикання або пожежі.

Для попередження цих ризиків, пропонується вдатись до наступних заходів. Обладнання має бути оснащеним захисними кожухами, екранами та блокуваннями, що унеможливають доступ до небезпечних зон та регулярна перевірка стану захисних засобів. Проведення інструктажів щодо правильної експлуатації обладнання та забезпечення працівників спецодягом, рукавицями й іншими засобами індивідуального захисту.

Для мінімізації шуму та вібрації на машинобудівному підприємстві, слід: оснастити обладнання шумно ізолюючими кожухами, які зменшуватимуть рівень шуму під час роботи; використання демпфуючих матеріалів для гасіння вібрацій в конструкціях обладнання та фундаментів; замінити або модернізувати застаріле обладнання, яке створює підвищений рівень шуму або вібрації; використовувати глушники звуку на системах вентиляції та компресорному обладнанні, а також впровадити технології, що зменшують силу механічних ударів.

Організаційні заходи: розроблення графіку роботи обладнання з високим рівнем шуму та вібрації, щоб уникнути постійного впливу на працівників; організація зон ізоляції для обладнання, яке створює шум і вібрацію (спеціальні акустичні кабінки або ізольовані приміщення); оптимізація розміщення обладнання, щоб мінімізувати передачу шуму та вібрацій до сусідніх робочих зон; забезпечення перерв для працівників, що працюють у зонах з підвищеним рівнем шуму чи вібрації, для зменшення їх впливу.

Рекомендується працівникам надавати засоби захисту слуху, такі як шумозахисні навушники або беруші з відповідним рівнем захисту. Застосовувати антивібраційні рукавички для працівників, які працюють на обладнанні, що створює вібрації, оснастити робочі місця антивібраційними підлогами або сидіннями для робітників; застосовувати шумопоглинаючі матеріали для облицювання стін, стель та підлог у виробничих приміщеннях; організація зелених зон або додаткових звукоізоляційних бар'єрів між джерелами шуму та робочими місцями; обладнання приміщень системами вентиляції та кондиціонування, які не будуть джерелом додаткового шуму.

Також варто ввести додатковий контроль за станом обладнання:

- Регулярне технічне обслуговування обладнання для попередження збільшення шуму чи вібрацій через знос або недотримання вимог експлуатації.
- Балансування обертових частин обладнання для зменшення вібрацій.
- Своєчасна заміна амортизаторів, демпферів та інших компонентів, що гасить вібрацію.
- Проведення навчання працівників щодо безпечної експлуатації обладнання з високим рівнем шуму та вібрацій.
- Інформування про ризики тривалого впливу шуму та вібрацій і важливість використання засобів захисту.

Застосування цих заходів дозволить знизити рівень шуму та вібрацій на підприємстві, створюючи більш комфортні та безпечні умови праці.

Для попередження пилу та аерозолів в робочій зоні рекомендується встановлення локальних вентиляційних систем з фільтрами, використання пирососів промислового типу для очищення робочих місць та застосування респіраторів з відповідним класом захисту залежно від типу забруднення й регулярне вологе прибирання виробничих приміщень.

Для безпечної роботи працівників в зонах підвищених температур рекомендується: встановлення систем вентиляції та кондиціонування для підтримання комфортної температури у виробничих приміщеннях; використання теплоізолюючих матеріалів на трубопроводах, печах, обладнанні та інших джерелах тепла; обладнання робочих зон захисними екранами для ізоляції працівників від джерел високої температури; автоматизація технологічних процесів, що дозволяє мінімізувати перебування працівників у зонах високих температур; впровадження дистанційного управління обладнанням для зменшення необхідності безпосереднього контакту з нагрітими поверхнями.

Для забезпечення рекомендацій варто організувати зони відпочинку, які обладнані системами охолодження, для працівників, запровадити перерви у роботі для відновлення фізичного стану працівників, які працюють в умовах підвищених температур. Розробити гнучкі графіки роботи, щоб мінімізувати перебування працівників у гарячих зонах протягом тривалого часу, а також

забезпечити працівників питною водою й засобами для регідратації (наприклад, спеціальні розчини з електролітами).

Забезпечити працівників термостійким спецодягом, який знижує вплив високих температур на організм. Використовувати лише термостійкі рукавички, взуття та захисні окуляри при виконанні робіт поблизу нагрітих поверхонь або джерел тепла.

Провести оснащення працівників теплоізолюючими підкладками або жилетами з охолоджувальними елементами, а також ввести контроль робочого середовища. Забезпечити постійний моніторинг температур у виробничих приміщеннях з метою виявлення зон із критично високими температурами та регулярну перевірку стану ізоляції на обладнанні та комунікаціях. Запровадити автоматизовані системи сигналізації про перевищення допустимого температурного режиму.

Забезпечити проведення інструктажів щодо правил поведінки у зонах підвищених температур, інформувати про ознаки теплового удару та порядок надання першої допомоги. Навчити правильному використанню засобів індивідуального захисту та правил роботи з гарячими поверхнями чи речовинами.

У разі травмування обладнати робочі місця аптечками з необхідними засобами для надання першої допомоги при опіках та теплових ударах. Розмістити зони доступу до охолоджувальних пристроїв (наприклад, вентиляторів чи охолоджувальних ванн для рук) та забезпечити швидкий доступ до медичного персоналу у разі надзвичайних ситуацій.

Для захисту від статичної електрики та атмосферної електрики пропонуємо засоби та рекомендуємо заходи до впровадження у виробництво в повній мірі або частково. Потенціали зарядів, що виникають через штучну статичну електрику, можуть досягати значних величин. Наприклад, у ремінних передачах і стрічках конвеєрів вони можуть досягати 40 кВ, під час механічної обробки пластмас і дерева – до 30 кВ, а при розпилюванні фарб – до 12 кВ. У разі пробією повітряного прошарку, що зазвичай відбувається при перевищенні пробивного опору сухого повітря (3000 кВ/м), виникає іскровий розряд. Це

може стати причиною вибуху або пожежі, що особливо небезпечно в умовах виробництва.

Для зменшення ризику, пов'язаного із накопиченням статичної електрики, використовуються заходи, спрямовані на зниження інтенсивності її утворення та ефективне усунення зарядів:

- Зменшення генерації зарядів – підбір матеріалів, правильний вибір пар тертя або змішування матеріалів, щоб у результаті тертя один матеріал заряджався позитивно, а інший – негативно. Наприклад, використання комбінованого матеріалу з нейлону та дакрону. Дакрон є універсальним матеріалом, який завдяки своїм властивостям широко використовується у різних галузях, включаючи промисловість, медицину та побут.

- Зміна технологічних режимів – зменшення швидкості обробки, транспортування, зливу діелектричних рідин, а також сил тертя.

- Усунення утворених зарядів – електропровідні частини обладнання заземлюються, причому опір заземлення має бути не більше 100 Ом. Використовують заземлені ділянки трубопроводу збільшеного діаметра на вході для забезпечення стікання зарядів у землю.

- У приміщеннях з високим ризиком накопичення статичної електрики підвищують вологість. Для збільшення провідності в матеріали додають графіт, ацетиленову сажу, алюмінієвий порошок, а до рідин – спеціальні добавки. Використовують нейтралізатори статичної електрики – пристрої коронного розряду, радіоізотопні, аеродинамічні або комбіновані, які нейтралізують заряд шляхом іонізації повітря.

- Засоби індивідуального захисту – спеціальні антистатичні халати, взуття з електропровідною підошвою, антистатичні браслети тощо. Для захисту від атмосферної електрики, наприклад, блискавки, яка становить ще більшу загрозу для людей, будівель та обладнання використовується цілий комплекс заходів:

- Громовідводи - одиночні або подвійні стрижньові громовідводи, багатократні стрижньові громовідводи, тросові громовідводи (одиночні та подвійні).

- Проектування та встановлення захисту від блискавок регулюється нормативними документами, такими як «Інструкція по захисту від блискавок будівель і споруд». Контроль за станом засобів електробезпеки, включаючи захист від блискавок, покладається на службу головного енергетика та електриків підприємства. Комплексний підхід до захисту від статичної електрики та блискавок забезпечує безпеку виробничих процесів, людей та навколишнього середовища, а також запобігає ризикам виникнення пожеж та вибухів. Дотримання зазначених заходів сприятиме зниженню ризиків, покращенню умов праці та забезпеченню здоров'я і безпеки персоналу на виробництві.

Висновки до розділу 4

У розділі розглянуто основні небезпечні та шкідливі фактори, які можуть виникати під час виготовлення деталі «Поршень» на машинобудівному підприємстві. Запропоновано комплекс заходів, спрямованих на запобігання ризиків, пов'язаних із механічними пошкодженнями, шумом і вібраціями, пилом, високими температурами, статичною електрикою та атмосферною електрикою.

Мінімізація небезпечних факторів: Використання захисних пристроїв, спеціального обладнання, засобів індивідуального захисту та правильна організація робочих процесів дозволяють значно знизити ризики травмування працівників. Покращення умов праці та впровадження шумопоглинаючих і антивібраційних рішень, систем вентиляції, а також зон відпочинку сприяють створенню комфортних і безпечних умов для роботи.

Регулярне технічне обслуговування обладнання, моніторинг стану виробничих умов, навчання персоналу та впровадження засобів захисту від статичної й атмосферної електрики є обов'язковими для забезпечення безпеки праці. Таким чином, реалізація наведених заходів дозволить ефективно захистити працівників від небезпечних виробничих факторів, забезпечуючи їхню безпеку, здоров'я та комфорт на робочому місці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В дипломній роботі вирішена науково-технічна задача, яка полягає в розробленні технологічного забезпечення виготовлення деталі «Поршень».

На основі отриманих наукових та практичних результатів сформовано такі висновки:

1. Аналіз типових технологій виготовлення та методів отримання заготовки показав, що перспективним напрямком підвищення експлуатаційних можливостей ДВЗ можливе за умови врахування температурних полів робочих органів для даного матеріалу з обґрунтуванням їх параметрів.

2. Проведено теоретичні та експериментальні дослідження конструктивно-технологічних параметрів деталі «Поршень».

4. На основі проведених досліджень та комп'ютерного моделювання запропоновано низку конструкторсько-технологічних параметрів, що враховують термонапружений стан деталі під час експлуатації.

5. В результаті виконання роботи розроблено технологію та технологічне забезпечення для виготовлення деталі «Поршень».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Некоз О.І., Горпенюк М.А., Прейс Г.О., Технологія конструкційних матеріалів; за ред. Сологуба М.А. – 2-ге вид., перероб. і допов. – К.:Вища шк., 2002. – 374 с.
2. Проектування технологічних процесів. Методичні вказівки для виконання курсового проекту та самостійної роботи студентів за напрямом підготовки Інженерна механіка. Програма професійного спрямування Технології машинобудування усіх форм навчання./Укладачі:В.Г. Біланенко, В.П. Приходько.-Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського». 2017.-151с
3. Технологічні процеси галузей промисловості : навч. посібник / [Д. М. Колотило, А. Т. Соколовський, С. В. Гарбуз та ін.] ; за наук. ред. Д. М. Колотила, А. Т. Соколовського. – К. : КНЕУ, 2003. – 380 с.
4. Michael Marlatt, David Weiss, John N. Hryn Developments in lost foam casting of magnesium, Magnesium Technology 2003 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://iweb.tms.org/Mg/magtech2003/141.pdf>
5. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство. Практикум [Текст] : [навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. за напрямом «Інж. механіка»] / В. В. Попович, А. І. Кондир, Е. І. Плешаков та ін. – Львів: Світ, 2009. – 551 с.
6. Дворук В. І. Вплив низькотемпературної термомеханічної обробки (НТМО) на абразивну зносостійкість легованої сталі / В. І. Дворук // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2013. – № 4. – С. 46-52.
7. Вакуленко І.О. Технологія механічної обробки металевих матеріалів: навчальний посібник / І. О. Вакуленко, Т. М. Кадильникова, С. В. Пройдак. — Дніпропетровськ : Дніпропетр. нац. ун-т, 2014. — 176 с.
8. Григурко І.О. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування): навч. посіб. / І. О. Григурко, М. Ф. Брендюля, С. М. Доценко. — Львів : Новий Світ-2000, 2006. — 576 с.
9. Кузнєцов Ю. М., Саленко О. Ф., Харченко О. О., Щетинін В. Т. Технологічне обладнання з ЧПК: механізми і оснащення: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / Ю. М. Кузнєцов, О. Ф. Саленко, О. О. Харченко, В. Т. Щетинін. – Київ – Кременчук - Севастопіль: Вид-во «Точка»,

2014. — 500 с.

10. Основи обробки матеріалів різанням та інструмент: Навчальний посібник для підготовки молодших спеціалістів та бакалаврів машинобудівних спеціальностей / Ю. Ф. Лебеденко, С. Є. Сліпченко. Харків: Факт, 2020. —344 с

11. Основи обробки матеріалів різанням та інструмент: Навчальний посібник для підготовки молодших спеціалістів та бакалаврів машинобудівних спеціальностей / Ю. Ф. Лебеденко, С. Є. Сліпченко. Харків: Факт, 2020.-344 с.

12. Бондаренко С. Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С. Г. Бондаренко – Львів : Магнолія, 2018. – 500 с.

13. Дерібо О. В. Основи технології машинобудування. Частина 2 : практикум / Дерібо О. В., Дусанюк Ж. П., Сухоруков С. І. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – 116 с

ДОДАТКИ

Додаток А

(Комплект графічного матеріалу)