

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет інженерії транспорту та архітектури  
Кафедра технології машинобудування

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на здобуття ступеня вищої освіти магістра

Розроблення наскрізної технології виготовлення деталі циліндр компресора  
МВ 400.0060.1700 на основі комплексної оцінки ефективності процесів  
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.24.13.ПЗ

Виконав студент 2 курсу група  
ПМТМ-23-1

  
Підпис

Володимир  
ОРЛОВСЬКИЙ  
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 «22» листопада 2024

2

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  
 \_\_\_\_\_ 2 . 09 . 2024

**ЗАВДАННЯ  
 НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Орловський Володимир Вікторович  
Прізвище, ім'я, по батькові студента

Розроблення наскрізної технології виготовлення деталі циліндр компресора  
 МВ 400.0060.1700 на основі комплексної оцінки ефективності процесів  
 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)



Завідувачу кафедри  
Віталію ТКАЧУКУ  
здобувача вищої освіти (студента  
Володимира ОРЛОВСЬКОГО  
ФІТА гр. 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.

24.12.2024

дата



підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ КАФЕДРИ ТМ

## 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 Створення наукової технічної кваліфікаційної роботиАвтор Віталій Віталійович ТКАЧУКОсвітня програма технічної кваліфікаційної роботиСпеціальність: ТМНауковий керівник: Віталій Віталійович ТКАЧУК

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 Віталій ТКАЧУК

Підпис

Ім'я, прізвище

Гарант освітньої програми Віталій ТКАЧУК

Підпис

Ім'я, прізвище

Керівник кваліфікаційної роботи Світлана КОСТЮК

Підпис

Ім'я, прізвище

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Орловський Володимир Вікторович на захист дипломного проєкту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)  
за спеціальністю 131 - Прикладна механіка

На тему: Розроблення наскрізної технології виготовлення деталі циліндр компресора МВ 400.0060.1700 на основі комплексної оцінки ефективності процесів

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

Декан факультету

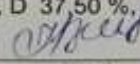


ОЛЕГ ПОЛІЩУК  
(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Орловський 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 83,33 %, задовільно 16,67 %.  
шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 12,50 %, С 43,75 %, D 37,50 %, E 6,25 %.

Методист факультету



(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Володимир Орловський під час роботи над кваліфікаційною роботою показав найвищий професійний рівень, роботу виконав вчасно та з дотриманням усіх встановлених вимог

Оцінка дипломного проєкту (роботи) заслужує на оцінку „добрий“

Керівник дипломного проєкту



В.В. КОСТЮК  
(ім'я, прізвище)

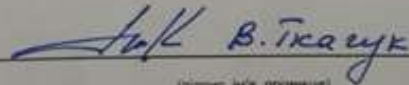
" 27 " з грудня 2024 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Орловський В. В. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

технології машинобудування  
(назва)



(підпис, ім'я, прізвище)

" 27 " з грудня 2024 р.

**РЕЦЕНЗИЯ**  
на кваліфікаційну роботу магістра

студента Володимира Орловського

Тема роботи: Розроблення наскрізної технології виготовлення деталі циліндр компресора MB 400.0060.1700 на основі комплексної оцінки ефективності процесів

Тема кваліфікаційної роботи, та її зміст відповідають обраній спеціальності.

У роботі проаналізовано конструкцію обраної деталі, її технологічність.

Проаналізовано існуючий технологічний процес, проведено вибір обладнання з ЧПК, обґрунтування параметрів обробки, а також моделювання та оцінку ефективності запропонованих змін. Розроблено керуючу програму САМ ESPRIT для оброблення деталі циліндр на верстатному верстаті з ЧПК. Представлено порівняння результатів впровадження нових технологій із традиційними методами обробки.

Спроектовано пристосування для контролю певного розміру, верстатний пристрій для виконання певних комбінованих операцій при обробленні деталі циліндр.

В дослідницькому розділі проведено дослідження впливу температури на зносостійкість деталей та встановлено методи її зменшення.

В розділі охорони праці проведено аналіз та моделювання небезпек, їх проявлення в механічних цехах.

Результати технологічного та конструкторського розділів дозволяють покращити точність виготовлення, скоротити час обробки та зменшити витрати на виробництво. Запропоновані рішення можуть бути використані у машинобудуванні для вдосконалення технологій виробництва деталей складної форми.

Загальний висновок та оцінка

Всі проведені розроблення, проєктування та дослідження підкріплені розрахунками та поясненнями.

Графічна частина виконана у відповідності з вимогами ЕСКД та ДСТУ, розділи розрахунково-пояснювальної записки оформлені з виконанням основних вимог ЕСТД та ДСТУ на досить високому рівні.

Вагомих кваліфікаційної роботи не виявлено.

Кваліфікаційна робота виконана згідно завдання, у повному обсязі та на достатньому технічному рівні і заслуговує на оцінку «добре».

Рецензент К.М.Н. доц. Кооп. АМ Мамішевський Н.С.  
«\_\_» грудня 2024 р.

## АНОТАЦІЯ

Орловський. Розроблення наскрізної технології виготовлення деталі циліндр компресора MB 400.0060.1700 на основі комплексної оцінки ефективності процесів.

Стрімке зростання попиту на продукцію машинобудівних підприємств та підприємств, що входять до технологічного циклу нерозривно пов'язане з необхідністю заміщення імпортованої продукції на продукцію власного виробництва. На тлі загального споживання чорних та кольорових металів і сплавів, в Україні спостерігається стійке зростання до споживання металів і продуктів їх глибокого перероблення в секторі виробництв та споживання авто-мото та інших компонентів вузлів спеціального призначення. Підвищення конкурентоспроможності підприємств машинобудівного та металургійного комплексу пов'язане не тільки зі збільшенням обсягів виробництва, а й з освоєнням і промисловим виробництвом нових марок сплавів та їхньою переробкою в кінцевий продукт

Машинобудівна галузь демонструє стійке економічне зростання із-за зменшення частки продукції іноземних компаній на ринку України (зокрема виробів, що можуть мати подвійне призначення).

Зміни, що відбуваються зараз у галузях машинобудівного комплексу, дають змогу з високою ймовірністю спрогнозувати різке підвищення вимог до якості продукції та стабільності виробництва за конкурентоздатної ціни. Досвід локалізації «Ford Motor Company» засвідчив, що лише одиниці Українських підприємств мають необхідний досвід підготовки та практичної реалізації технологій, що дають змогу виробляти продукцію, яка відповідає всьому комплексу вимог, які пред'являються. Таким чином, інтеграція у світову економіку і підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних підприємств є актуальним завданням машинобудівників.

Прогнозуючи потребу у компонентах вузлів поршневіх машин виробники яких вивчають можливість щодо розроблення та освоєння технологій серійного виготовлення деталей циліндро-поршневої групи.

В роботі розглядаються дві альтернативні конструкції циліндра МВ 400.0060.1700, що відрізняються, зокрема, конструктивно і маркою матеріалу. Виготовленні (в одному випадку – з гільзою сталь 40ХНМ, в іншому – алюмінієвий сплав АК12М7).

Аналізуючи значний досвід у галузі виробництва типових деталей було проведено всебічний аналіз технічних та економіко-організаційних вимог під час вибору конструктивних рішень, технологічної схеми виробництва та її практичної реалізації. Технологія виробництва циліндра МВ 400.0060.1700, незалежно від конструкції, містить у собі значну кількість процесів і операцій, починаючи від металургійних (отримання вихідного підкату), виготовлення заготовки, термічного оброблення та закінчуючи операціями механічного оброблення з нанесенням покриттів та мікрорельєфу на робочу поверхню.

Необхідність врахування відмінного від прийнятого у вітчизняній практиці комплексу вимог до процесів виробництва і постачання компонентів з боку зарубіжних замовників обумовлюють актуальну задачу обґрунтованого вибору варіанта найефективнішої схеми технологічного процесу виробництва.

*Ключові слова:* технологічне устаткування, процес, працездатність, статико-коефіцієнт перекриття, , мікропрофіль, , пластична деформація.

**ЗМІСТ**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	21
ВСТУП.....	22

## ВСТУП

Стрімке зростання попиту на продукцію машинобудівних підприємств та підприємств, що входять до технологічного циклу нерозривно пов'язане з необхідністю заміщення імпортованої продукції на продукцію власного виробництва. На тлі загального споживання чорних та кольорових металів і сплавів, в Україні спостерігається стійке зростання до споживання металів і продуктів їх глибокого перероблення в секторі виробництв та споживання авто-мото та інших компонентів вузлів спеціального призначення. Підвищення конкурентоспроможності підприємств машинобудівного та металургійного комплексу пов'язане не тільки зі збільшенням обсягів виробництва, а й з освоєнням і промисловим виробництвом нових марок сплавів та їхньою переробкою в кінцевий продукт.

Машинобудівна галузь демонструє стійке економічне зростання із-за зменшення частки продукції іноземних компаній на ринку України (зокрема виробів, що можуть мати подвійне призначення).

Зміни, що відбуваються зараз у галузях машинобудівного комплексу, дають змогу з високою ймовірністю спрогнозувати різке підвищення вимог до якості продукції та стабільності виробництва за конкурентоздатної ціни. Досвід локалізації «Ford Motor Company» засвідчив, що лише одиниці Українських підприємств мають необхідний досвід підготовки та практичної реалізації технологій, що дають змогу виробляти продукцію, яка відповідає всьому комплексу вимог, які пред'являються. Таким чином, інтеграція у світову економіку і підвищення конкурентоспроможності продукції вітчизняних підприємств є актуальним завданням машинобудівників.

Прогнозуючи потребу у компонентах вузлів поршневіх машин виробники яких вивчають можливість щодо розроблення та освоєння технологій серійного виготовлення деталей циліндро-поршневої групи.

В роботі розглядаються дві альтернативні конструкції циліндра МВ 400.0060.1700, що відрізняються, зокрема, конструктивно і маркою матеріалу. Виготовленні (в одному випадку – з гільзою сталь 40ХНМ, в іншому – алюмінієвий сплав АК12М7).

Аналізуючи значний досвід у галузі виробництва типових деталей було проведено всебічний аналіз технічних та економіко-організаційних вимог під час вибору конструктивних рішень, технологічної схеми виробництва та її практичної реалізації. Технологія виробництва циліндра МВ 400.0060.1700, незалежно від конструкції, містить у собі значну кількість процесів і операцій, починаючи від металургійних (отримання вихідного підкату), виготовлення заготовки, термічного оброблення та закінчуючи операціями механічного оброблення з нанесенням покриттів та мікрорельєфу на робочу поверхню.

Необхідність врахування відмінного від прийнятого у вітчизняній практиці комплексу вимог до процесів виробництва і постачання компонентів з боку зарубіжних замовників обумовлюють актуальну задачу обґрунтованого вибору варіанта найефективнішої схеми технологічного процесу виробництва.

**метою роботи** є обґрунтований вибір схеми технологічного процесу і створення конкурентоспроможної технології виробництва циліндра МВ 400.0060.1700 для отримання продукції заданого рівня якості.

Відповідно до поставленої мети, у роботі розглянуто наступні завдання:

1. Провести аналіз системи вимог до процесів виробництва циліндрів.
2. Здійснити порівняння систем вимог до конструкції, матеріалів і процесів виробництва, провести огляд та вибір процесів і операцій виробництва, що забезпечують одержання продукції заданого рівня якості.

3. Здійснити вибір та обґрунтування ефективного варіанта технологічного процесу виготовлення циліндра МВ 400.0060.1700 на основі порівняння комплексних оцінок.

4. Запропонувати заходи щодо вдосконалення схеми технологічних переходів отримання заготовки циліндра МВ 400.0060.1700.

5. Розробити технологічне оснащення для реалізації процесу виготовлення циліндра МВ 400.0060.1700

**Об'єктом дослідження** є процес виготовлення деталі «Циліндр».

**Предметом дослідження** виступають конструктивно-технологічні параметри процесу виготовлення деталі «циліндр» 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 розроблена кінцево-елементна динамічна модель поширення температурних полів, що виникають при експлуатації й дозволяє оцінити їх поведінку за висотою циліндра.

**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.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІШЕНЬ ТА ВИБІР НАПРЯМКІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1. Аналіз особливостей конструкцій та вимоги до циліндрів

В сучасній техніці циліндри є важливими елементами поршневих машин. Від якості виготовлення даних деталей залежить працездатність та ресурс поршневої машини. При проектуванні технологічного процесу виготовлення циліндрів необхідно провести аналіз початкової конструкторської й нормативної документації для визначення вимог до готової продукції. На базі проведеного аналізу можна виділити основні вимоги:

1. Вимоги до хімічного складу та фізико-механічних властивостей матеріалу і робочої поверхні.
2. Вимоги до точності геометричних розмірів та взаємного розташування поверхонь.
3. Вимоги до якості поверхонь.
4. Вимоги до стану поверхонь (тріщини, раковини, неметалічні включення та інші дефекти).
5. Спеціальні вимоги до зносостійких, захисних та декоративних покриттів поверхонь.
6. Вимоги до контролю якості виробу.
7. Спеціальні вимоги до способів механічної обробки (методи та режими формування шорсткості поверхневого шару робочої поверхні).

Конструкція циліндра (рис.1.1) включає в себе ряд елементів властивості і розміри яких формуються як в процесі отримання заготовки так і під час механічної обробки чим забезпечується необхідні експлуатаційні властивості:

- точність діаметрального розміру й шорсткість робочої поверхні циліндра забезпечує необхідний експлуатаційний ресурс компресора;
- форма циліндра, розміри приєднувальних поверхонь їх шорсткість забезпечують необхідну статичну та динамічну міцність та забезпечують складання вузла.

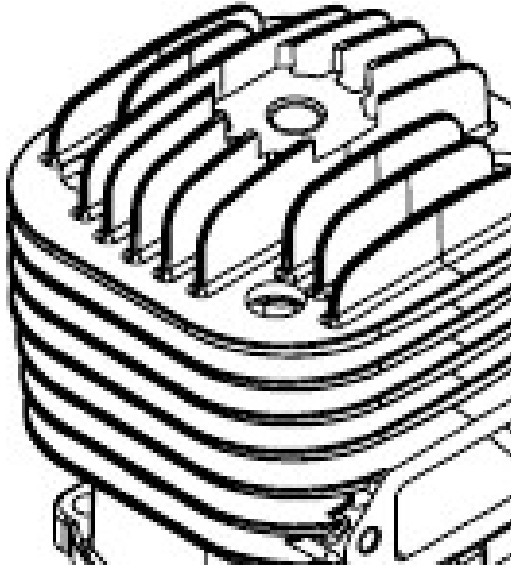
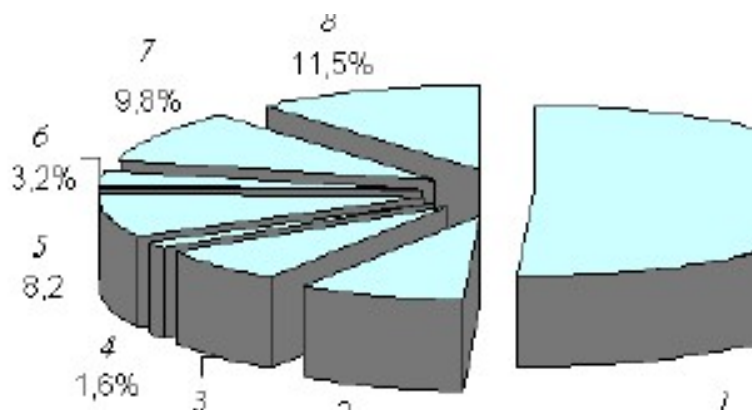


Рисунок 1.1 Циліндр компресора

Як правило в процесі експлуатації робоча поверхня циліндра зношується, що призводить до параметричної відмови при досягненні певного напрацювання. Для підвищення ресурсу виробу робочу поверхню піддають різним видам зміцнення, наприклад покривають твердим хромом).

Аналіз експлуатаційних (рис. 1.2) даних показав, що в ряді випадків на зниження ресурсу циліндро-поршневої групи значний вплив чинять різноманітні поверхневі пошкодження, пов'язані з порушенням геометричних розмірів та погіршенням якості поверхневого шару, якому сприяють високі експлуатаційні навантаження.



- 1 – контактні ушкодження, корозія;
- 2 – викришування хромового покриття;
- 3 – пробоїни, деформації;
- 4 – розгерметизація, протікання гідравлічної рідини, палива, масла;
- 5 – випучування покриття;
- 6 – відшарування редер охолодження;
- 7 – тріщини (від температурних навантажень);
- 8 – порушення лакофарбових та інших покриттів

Рисунок 1.2 – Розподіл видів дефектів циліндро-поршневої групи

Статистичні дані проведених досліджень показують, що характер ушкоджень рухомих з'єднань деталей і вузлів створюють різні умови протікання різних трибологічних процесів та видів тертя й зношування, основними з яких є зношування (рис. 1.3), абразивне зношування, граничне тертя та ін.

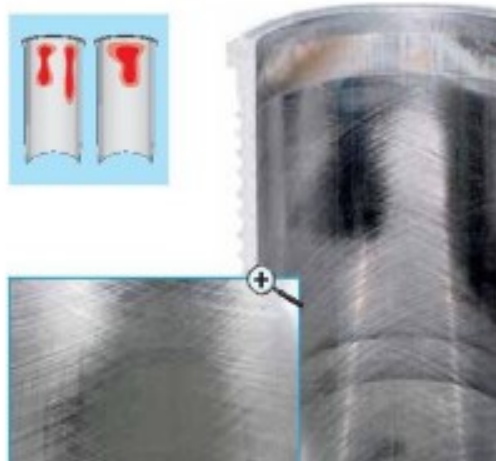


Рисунок 1.3 – Приклад видів дефектів циліндро-поршневої групи

Головним фактором виходу з ладу залишається процес зношування внутрішньої поверхні циліндра та компресійних кілець.

1.2. Аналіз вимог до матеріалів та обґрунтування способу отримання заготовок для виготовлення циліндрів

Вибір заготовок завжди є складним і трудомістким завданням. Заготовка повинна забезпечувати високу якість виготовлюваної деталі, водночас її вартість має бути мінімальною. Також необхідно враховувати строки виготовлення заготовки. Ефективність застосування того чи іншого способу виготовлення заготовки оцінюється за такими критеріями: собівартість, якість і строки виготовлення деталі. Оцінка доцільності вибору способу виготовлення заготовок повинна проводитися з урахуванням багатьох чинників, аналізуючи переваги та недоліки кожного способу виготовлення.

Максимальне наближення заготовки за формою та розмірами до готової деталі не завжди є найкращим рішенням. Складність вибору раціональної заготовки також полягає в тому, що конструкторам і технологам часто доводиться приймати рішення, не маючи всієї необхідної вихідної інформації. Проте їм потрібно вибрати

оптимальний варіант конструкторського рішення або технологічного процесу, який буде розроблений і впроваджений у виробництво. Отже, вже на етапі проектування деталі необхідно виконувати техніко-економічний аналіз виготовлення заготовки.

Під час вибору заготовок використовуються терміни "метод" виготовлення заготовки та "спосіб" виготовлення заготовки. Під терміном "метод" розуміють групу технологічних процесів, які базуються на єдиному принципі формоутворення. Наприклад, метод обробки металів тиском, метод виготовлення заготовок литтям, а також комбінація цих методів.

При виборі методу отримання заготовки головну роль відіграє тип і форма виробництва, матеріал і його фізико механічні, технологічні та експлуатаційні властивості.

Для дрібносерійного та одиничного виробництва доцільно використовувати заготовки, виготовлені за допомогою універсального інструмента або з мінімальними витратами на його виготовлення.

В умовах великосерійного та масового виробництва економічно виправдане використання заготовок, виготовлених із застосуванням спеціальних методів, спеціального інструмента, максимально наближеного за формою та геометричними розмірами до готової деталі.

Витрати на виготовлення спеціального інструмента, наприклад, штампів для деформованих заготовок або спеціальних форм для способів точного лиття, виправдані зменшенням витрат на матеріал для виготовлення деталі та зниженням витрат на механічну обробку.

### 1.2.1 Аналіз технологічних властивостей матеріалу заготовки

Основні тенденції сучасного машинобудування – це застосування матеріалів, які забезпечують конструктивні та експлуатаційні властивості (якість, міцність, надійність, ресурс тощо). Проте не завжди враховуються їхні технологічні властивості – здатність

до об'ємного деформування, рідкотекучість, зварюваність, оброблюваність різанням, які суттєво впливають на вибір заготовок. При виборі способу виготовлення заготовок завжди необхідно враховувати технологічні властивості.

Чим нижча пластичність матеріалу, тим складніше отримати якісну заготовку способом гарячого, а тим більше холодного деформування.

Якщо при отриманні заготовки литвом матеріал має знижені ливарні властивості, то не рекомендується його використовувати при литті в кокіль або литті під тиском, оскільки через низьку податливість металевих форм у відливках виникають напруження, які призводять до викривлення заготовок. Сплави, схильні до ліквідації, не використовуються для заготовок, виготовлених центробіжним литтям. Відповідальні литі заготовки, що одержують литвом під високим тиском виготовляють з використанням установок вакуумування пресформи та розплаву.

Для деталей типу гільза циліндра монолітної конструкції закритого типу зі сплавів алюмінію, як правило заготовки отримують литвом під високим тиском з мінімальними припусками на механічну обробку.

В таких випадках доцільно застосовуючи спеціальні прийоми, наприклад з направленою або монокристалічною структурою, що дозволяє отримати заготовки з високими міцнісними та експлуатаційними властивостями.

На основі проведеного аналізу для виготовлення заготовки обрано матеріал марки АК12М7, АК5М2, що підходить для литва під високим тиском та піддається термічній обробці.

Аналіз показав, що деталь «гільза» закритого типу виготовляється з алюмінієвого сплаву АК5М2, який згідно з стандартом має такий хімічний склад і механічні властивості.

Таблиця 1.1

## Хімічний склад сплаву АК5М2 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 фізико-механічні властивості сплаву наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

## Механічні властивості сплаву АК5М2 ДСТУ 7806: 2015

$\sigma_T$	$\sigma_B$	$\delta_5$ ,	$\psi$ ,	$a_n$ ,	<i>HB</i>
МПа	МПа	%	%	кДж/см <sup>2</sup>	
127	130	22	30	24	65...70

В якості ливарної машини високого тиску обрано модель Ningbo Dongfang 280T (рис. 1.4).

Машина оснащена автоматичною системою керування процесом литва з контролем температури робочої камери. Робоче зусилля складає 280 тон. Об'єм вприску 1020 мл.

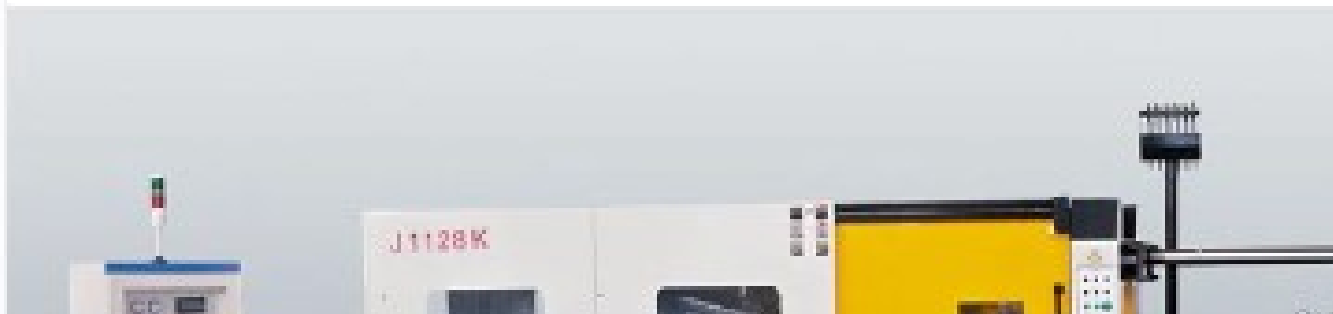


Рисунок 1.4 – Машина для лиття під тиском 280T

Прес-форма для виготовлення заготовки під тиском відображення на рисунку 1.5

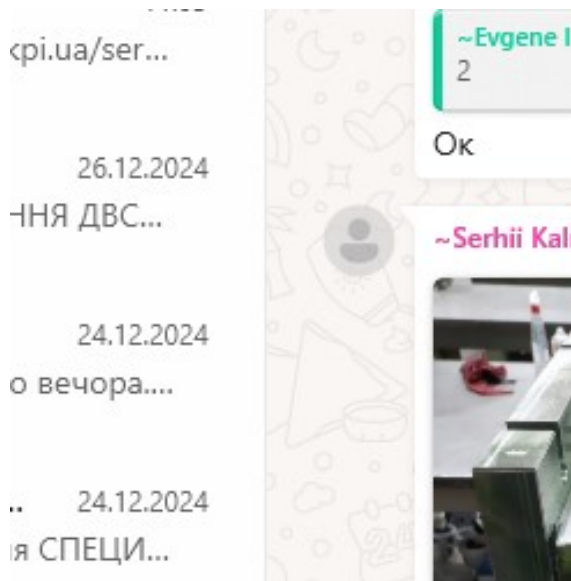


Рисунок 1.5 – Прес-форма для лиття під тиском

### 1.3 Аналіз технологічних методів формування зносостійкого покриття

Інноваційний розвиток інженерії поверхонь охоплює широкий спектр наукових напрямів та знань, спрямованих на цілеспрямовану зміну фізико-хімічних та фізико-механічних властивостей поверхневих шарів робочих поверхонь. Це досягається шляхом деформування, модифікації, нанесення плівок, покриттів, захисних шарів різними методами та їх комбінаціями.

Вибір методів інженерії для конкретних деталей і вузлів тертя є складною техніко-економічною задачею. Наразі відомо низку методів модифікації поверхні, зокрема таких, що передбачають заміну традиційного суцільного покриття на мозаїчно-дискретну структуру. Відомо, що локально зміцнені поверхні характеризуються зносостійкістю й забезпечують необхідну надійність та довговічність трибосполучень навіть в екстремальних умовах експлуатації, де звичайні покриття менш ефективні.

Застосування дискретних поверхонь дозволяє мінімізувати зношування, сприяє стабілізації геометричних розмірів і форм, а також забезпечує стабільність утворення мастильних плівок на робочих поверхнях циліндро-поршневої групи.

Для підвищення працездатності робочих поверхонь слід вдаватись до проведення конструкторсько-технологічних заходів спрямованих на зниження інтенсивності зношування.

Аналіз проведених досліджень [1] показав, що на працездатність та довговічність циліндра впливають наступні фактори:

- *контактний тиск*, який впливає на інтенсивність зношування і визначається, робочим тиском, геометрією контактуючих поверхонь спряження та умовами експлуатації;
- *швидкість відносного ковзання*, яка залежить від конструктивних розмірів деталей, кінематики їх спряження та умов експлуатації;

- *значення температури* в зоні контакту, що суттєво впливає на вибір матеріалів контактуючих поверхонь і мастила;
- *змащування*, яке суттєво впливає на процес зношування. При проведенні заходів спрямованих на поліпшення умов змащування (формування мастилоутримуючого профілю на робочих поверхнях) можна досягнути значного ефекту. Завдяки відновленню мастильної плівки усувається безпосередній контакт робочих поверхонь, зменшуються сили тертя і відповідно швидкість зношування;
- *якість робочих поверхонь* впливає на величину зношування під час періоду припрацювання;
- *відхилення від циліндричності* робочої поверхні, негативно впливає на працездатність пари тертя і не повинно виходити за межі IT8.

Отже підвищення працездатності циліндропоршневої групи можливо забезпечити за рахунок зміцнення робочої поверхні гільзи з формуванням на її поверхні геометрично визначеного мастилоутримуючого профілю.

Для зміцнення робочих поверхонь можуть використовуватись різноманітні методи впливу. Аналіз відомих методів дозволив згрупувати їх у групи за такими критеріями (рис. 1.6):

- формування дискретних поверхонь шляхом зміцнення робочої поверхні.
- формування зносостійких поверхонь за допомогою різних видів обробки.



Рисунок 1.6 – Класифікація методів впливу на робочі поверхні

Також слід зазначити, що у разі застосування монолітного циліндра закритого типу з алюмінієвих сплавів, кількість технологічних методів зміцнення значно зменшується.

В такому випадку задача зводиться до нанесення зносостійкого покриття з подальшою фінішною обробкою.

Гарно себе зарекомендували покриття робочої поверхні твердим хромом, Нікасилове покриття, лазерне напилення (LST) з послідуною фінішною обробкою (абразивне розточування, алмазне хонінгування з нанесенням спеціального мікрорельєфу [2].

Технологія хонінгування циліндрів вимагає особливого підходу у випадку обробки закритих отворів.

Хонінгування – це фінішна операція, під час якої забезпечують необхідний розмір циліндра, досягаються вимоги круглості та циліндричності форм, формується

спеціальний мікрорельєф та забезпечується певна структура металу на робочій поверхні циліндра. Якщо використовуються абразивні бруски, то в більшості випадків хонінгування відбувається у три етапи. Коротко їх можна описати так:

1. Більшу частину припуску знімають брусками з відносно крупним абразивом. При цьому циліндр повинен набути правильної форми, тобто відхилення від круглості та циліндричності повинні бути зведені до мінімуму. Після такої обробки мікрорельєф поверхні циліндра являє собою чергування високих гострих виступів та глибоких западин.

2. Далі обробку продовжують брусками з дрібнішим абразивом. На цьому етапі остаточно формують правильну форму циліндра. Мікрорельєф поверхні після цього етапу являє собою чергування западин та відносно «плоских» виступів. Таким чином, досягається збільшення площі опорної поверхні циліндра. Теоретично, кожен виступ має бути трапецієподібної форми. Однак для нормальної роботи циліндропоршневої групи така форма виступів не є ідеальною. Для цього на заключному етапі обробки переходять до «кронцювання».

3. Кронцювання – процес округлення вершин трапецієподібних виступів мікрорельєфу поверхні циліндра, а також звільнення западин від часток абразиву та найдрібніших часток металу спеціальними щітками. Під час цієї процедури зміна діаметра циліндра практично не відбувається. Отриманий таким чином мікрорельєф здатен утримати максимальну кількість оливи на стінках циліндра за умови, що основні параметри шорсткості поверхні ( $R_a$ ,  $t_p$ ) витримані в межах допустимих значень.

Таким чином процес хонінгування надзвичайно складний і вимагає дуже ретельної розробки технології та постійного контролю якості. При використанні алмазних брусків процес хонінгування може дещо відрізнятись.

#### 1.4 Аналіз технологічного обладнання для механічної обробки циліндра

В роботі розглядається комплекс обладнання для механічної обробки циліндрів.

Для обробки отворів пропонується розточний верстат моделі АМС-SCHOU SM1200V призначений для обробки блоків циліндрів (рис. 1.7). Верстат оснащений потужним двигуном для обертання шпинделя та змінними твердосплавними різцями, що дозволяють швидко здійснювати расточку циліндрів до діаметра 350 мм. Усі верстати мають автоматичну систему керування. Шпинделі виготовлені так, щоб забезпечити високу якість роботи протягом всього терміну служби.

Стійка управління має зручну конструкцію та є самоорієнтуючим, що дозволяє оператору працювати в найкращому зручному положенні. Верстат є надзвичайно «гнучким» в плані адаптації до технологічних потреб.



Рисунок 1.7 Загальний вид розточного верстату моделі АМС-SCHOU SM1200V

Технічні характеристики верстата наведені у таблиці 1.3.

## Технічні характеристики верстата

Назва параметра	Параметр
Тип	Вертикально-розточний
Діаметр оброблюваних циліндрів, мм	32-350
Частота обертання шпинделя, хв. <sup>-1</sup>	0-1200
Подача, мм/об	0,07
Споживана потужність, кВт	0,75 – 4
Габаритні розміри, мм	2720x1720x3700
Маса, кг	1540

Робоче місце повинно бути оснащено контрольним та вимірювальним інструментом, як мінімум:

- штативом для установки мікрометра;
- мікрометр МК 75-100 мм;
- нутромір індикаторний НІ 50-100 мм;
- штангенциркуль ШЦ-2 0-160 мм;
- лінійка довжиною 300 мм;
- чупа ЛШ-4.

## 1.5. Технічні вимоги до деталі «Циліндр компресора»

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі «Циліндр компресора» необхідно володіти базовою інформацією (конструкторська, нормативна документація та функціональне призначення виробу), яка визначає комплекс вимог та завдань.

Технічне креслення деталі представлено на рис. 1.8.

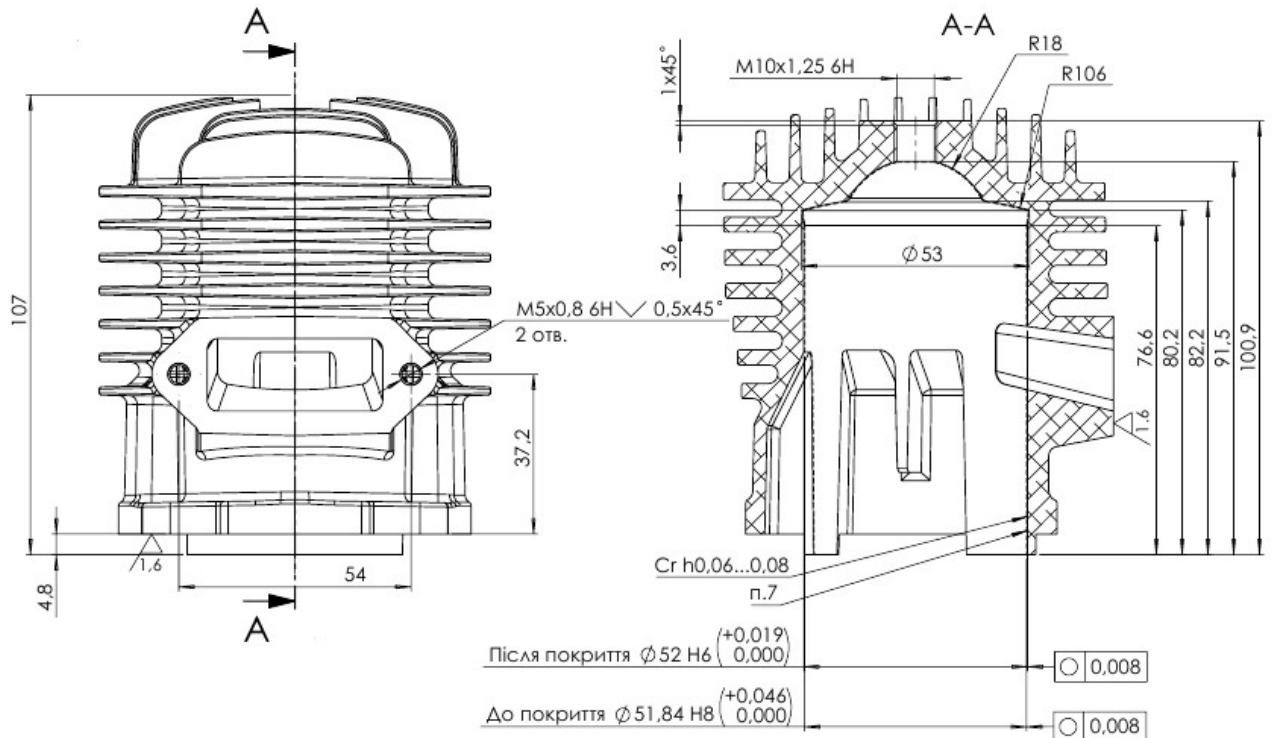


Рис. 1.8. Креслення пальця «Гільза циліндра»

На основі аналізу базової інформації до деталей типу «Гільза циліндра», які використовуються в сучасних машинах сформовано комплекс вимог [1,3-7]:

1. Вимоги до хімічного складу та фізико-механічних властивостей матеріалу і робочої поверхні ( $\sigma_b=880\dots1030 \text{ Н/мм}^2$ ).
2. Вимоги до точності геометричних розмірів і взаємного розміщення поверхонь (6–9 квалітет точності).
3. Вимоги до якості поверхонь (параметр шорсткості  $R_a=0,32 - 3,2 \text{ мкм}$ ), а також до стану поверхні та поверхневого шару (окалина, неметалічні включення, тріщини, раковини, задири та інші дефекти не допустимі).
4. Спеціальні вимоги до системи контролю якості виробу (зазначення методу контролю параметра якості).
5. Спеціальні вимоги до способів обробки (методи, режими). Наприклад, зміцнення поверхневого шару з формуванням певного мікрорельєфу.

Конструкція циліндра включає в себе ряд елементів, властивості яких формуються як в процесі виготовлення заготовки так і під час механічної обробки і забезпечують необхідні експлуатаційні властивості [1]:

1. Форма, розміри, шорсткість робочої поверхні з мінімальними відхиленнями забезпечують необхідний експлуатаційний ресурс виробу.

2. Допуски взаємного розміщення конструктивно-технологічних елементів циліндра забезпечують необхідну кінематичну точність роботи вузла.

3. Точність форми і розмірів монтажних поверхонь (конічних та циліндричних) забезпечують збирання вузлів та необхідні натяги і контактні напруження в монтажних з'єднаннях.

5. Точність профілю різьби забезпечує автоматизоване збирання та необхідну міцність різьбового з'єднання.

## **1.6 Висновки до першого розділу**

Результати проведеного аналізу сучасного стану питання виготовлення деталі «Циліндр» та підготовки наскрізної технології вказують на актуальність подальших досліджень спрямованих на удосконалення процесів в напрямку проектування, виготовлення та експлуатації виробу. З огляду літературних джерел встановлено, що підвищення працездатності циліндро-поршневої групи можливе за рахунок методів термічного зміцнення, нанесення зносостійких покриттів та формування мастило утримуючого мікрорельєфу на фінішних операціях механічної обробки.

## 2. МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СПОСОБІВ ДОСЯГНЕННЯ ЯКОСТІ ВИРОБУ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ

### 2.1. Теоретичні підходи до вибору основних операцій наскрізної технології виготовлення деталі «циліндр»

Розробка та вибір альтернативних варіантів технології виробництва деталі «Циліндр» вимагає аналізу всього комплексу технологічних операцій – від підготовки металу та виготовлення заготовки до механічної обробки. Підхід пошуку оптимальних рішень можна представити у формалізованому вигляді наступним чином, рисунок 2.1. Частка застосовуваних процесів термічної обробки та обробки металів тиском у виробництві даного виробу є значною. Відповідно, витрати на ці процеси займають велику частину в загальній структурі собівартості та мають великий вплив на формування параметрів якості кінцевої продукції.

Отримання заготовки можливо різними методами: гарячим і напівгарячим об'ємним штампуванням, литвом в кокіль під низьким тиском, литвом під високим тиском з вакуумуванням прес-форми. Залежно від матеріалу виготовлення виробу можна побудувати різні схеми технологічних процесів виробництва заготовки, які включають операції підготовки металу, формоутворюючі операції, термічну обробку, механічну обробку поверхні заготовки, нанесення зносостійкого покриття, надання їй остаточної геометрії та інші.

Механічна обробка формує ряд критичних характеристик (параметрів якості) поверхонь. Операції механічної обробки повинні забезпечувати стабільність і відтворюваність процесів, відповідати сучасним вимогам до високопродуктивних і ефективних операцій.

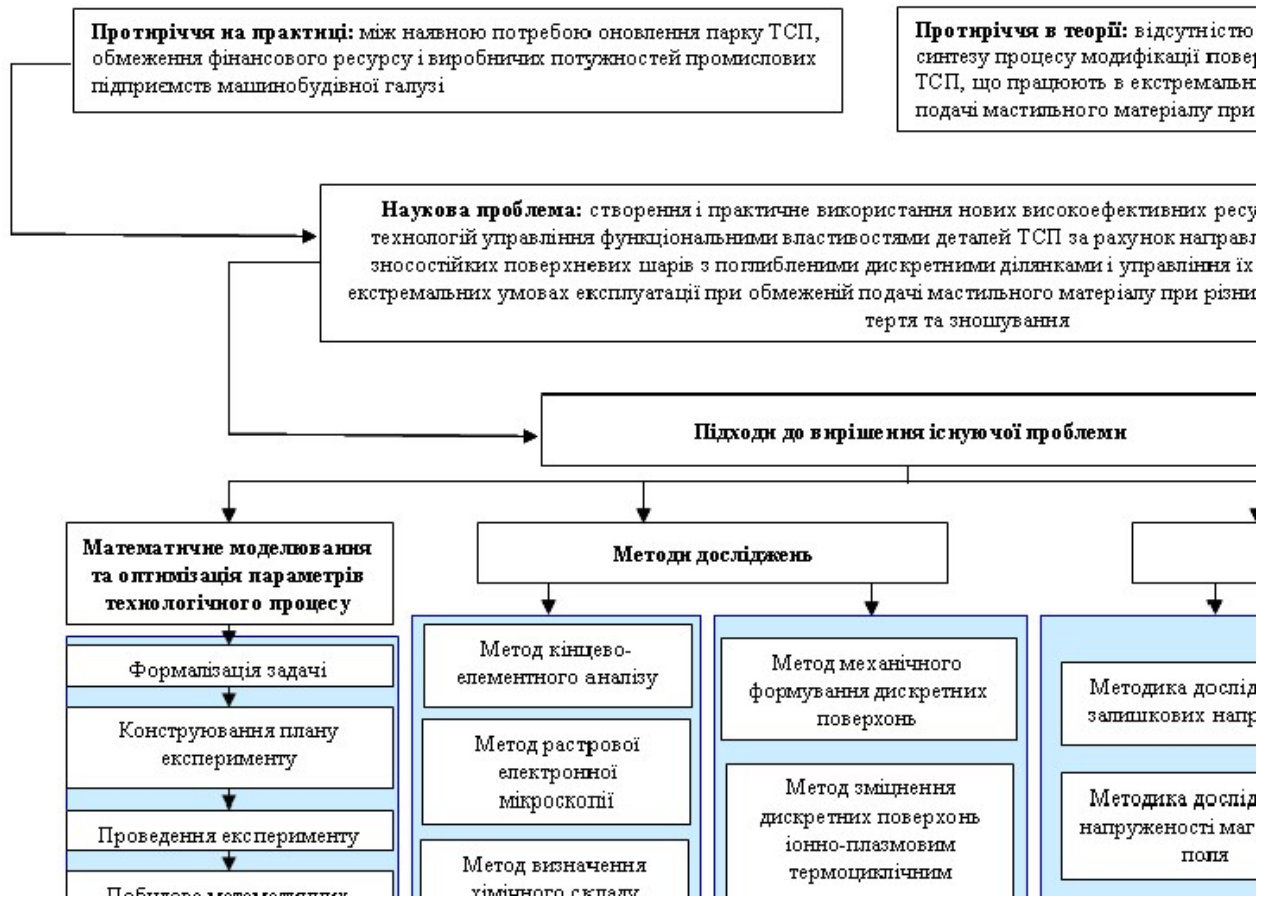


Рисунок 2.1 Модель формалізованого підходу до пошуку оптимальних рішень

Раціональний вибір схеми технологічного процесу вимагає розгляду та аналізу методів виготовлення заготовок і методів механічної обробки з точки зору забезпечення заданої якості та економічної ефективності процесу виробництва.

### 2.1.1 Огляд та оцінка технології отримання заготовки

Заготовки циліндрів із алюмінієвих сплавів закритого типу виготовляються методом лиття в кокіль або литвом під високим тиском. Заготовки проходять термічну обробку для підвищення твердості, міцності, зносостійкості та інших експлуатаційних характеристик.

У серійному та масовому виробництві циліндри з алюмінієвих сплавів виготовляються методом лиття. Лиття в кокіль є простим технологічним процесом, що дозволяє використовувати сплави з низьким коефіцієнтом лінійного розширення (КЛР) та виготовляти складні відливки. Проте цей метод має суттєві недоліки, що обмежують його використання при великосерійному виробництві. Розглянувши ці методи, можна визначити оптимальну технологію для отримання заготовок.

Аналіз технологічних можливостей сучасного виробництва показав ефективність використання способів литва під високим тиском.

2.2 Методика дослідження взаємозв'язку внутрішніх напружень в залежності від температури та товщини зносостійкого покриття.

Деталі типу циліндр виготовлені з алюмінієвих сплавів закритої конструкції піддаються зміцненню робочої поверхні за рахунок зносостійкого покриття з послідуною механічною обробкою.

Покриття на попередньо підготовлену алюмінієву поверхню наносять переважно гальванічними способом або осадженням матеріалу на поверхню в інертному середовищі.

Встановлено, що під час експлуатації в поверхневих шарах робочої поверхні контактні температури досягають критичних 650-700 °С. За таких температур здійснюється руйнування (розтріскування, відшарування) зносостійкого покриття, що призводить до передчасних відмов.

Для моделювання процесів, що відбуваються під дією температурних навантажень в при поверхневому шарі розроблено методику моделювання з використанням програмного комплексу abaqus.

Для підвищення адекватності моделі зносостійке покриття моделювалось у вигляді 18 шарів товщиною 15 мкм кожен. Визначення характеру зміни та розподілу температур здійснювалось за рахунок закріплення віртуальних датчиків «тепловізор».

Модель циліндра подавалась у спрощеному вигляді, що значно дозволяє скоротити час розрахунків. 3D – модель експериментального циліндра відображена на рисунку 2.2.

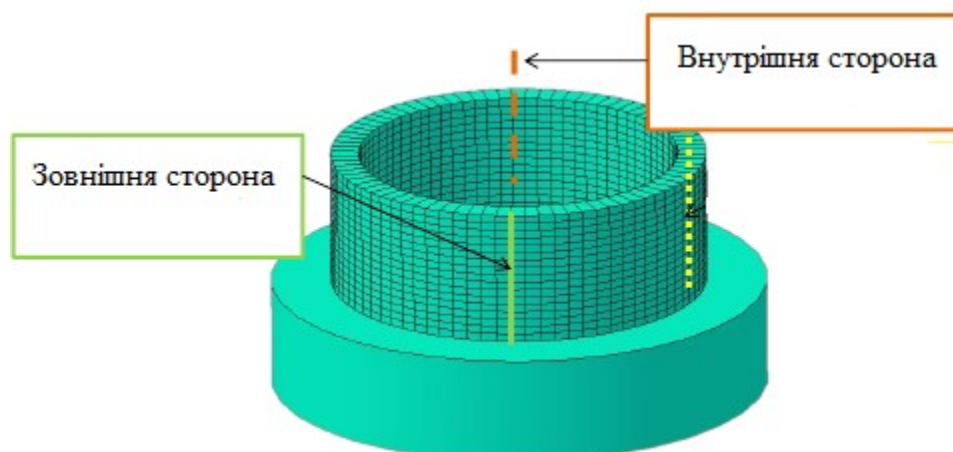


Рисунок 2.2 – 3D модель експериментального циліндра для дослідження теплових потоків

### 2.3 Методика теоретичних досліджень допустимої температури за глибиною

Для визначення температурних діапазонів з допустимою температурою необхідно визначити розміри області металу, нагрітого вище температури рекристалізації, особливо важливою є глибина впливу таких температур.

У процесі синтезу за методом 3DMP імітована ванна розплаву є основним джерелом тепла, потужність та енергія якого визначаються режимами тензора нагріву(інтенсивність нагріву). Наступним етапом визначають допустимий діапазон

енергій зони мікророзплава 980....1140.....1560....1680 Дж, що відповідає тепловому потоку 11,21....14,52.....18,6 Дж/(мм<sup>3</sup>\*с).

З метою визначення зон перегріву матеріалу вище температури рекристалізації дослідження розподілу температур представлено по 18 шарам.

Відомо, що температура рекристалізації є найменшою температурою нагріву за якої можливе зародження нових зерен і складає певну частину від температури рекристалізації:  $T_{\text{рекр}} = aT_{\text{пл}}$ . Коефіцієнт  $a$  обирається в залежності від хім.складу матеріалу. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що внаслідок утрудненого відведення тепла температура внутрішньої поверхні оболонки в 1,3 рази вища, ніж зовнішньої. Для виявлення проблемних зон з температурами, вищими за температури рекристалізації й залежить від низки факторів.

Відповідно, якщо товщина покриття перевищує глибину залягання структурних змін, то можна вважати, що прояву розтріскування внаслідок температурного навантаження не відбудеться.

#### 2.4. Методика вимірювання мікротвердості

Вимірювання мікротвердості проводилось в центрі пластичного відбитка згідно з методикою [11, 14], на обладнанні УИПМТ – 3, рис. 2.3. Навантаження на інструмент складало 100 г, час витримки 15 с. Схема вимірювань приведена на рис. 2.4.

Мікротвердість розраховується за формулою:

$$HV_{100} = 0.189 \frac{F}{d^2}, \quad (2.1)$$

де  $F$  – навантаження на пірамідку ( $F=0.98N$ );  $d$  – середнє арифметичне довжин двох діагоналей відбитка після зняття навантаження, мм.



Рис. 2.3. Мікротвердомір моделі  
ПМТ-3

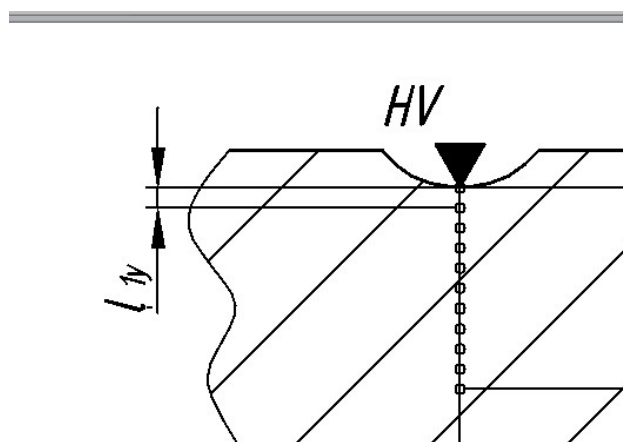


Рис. 2.4. Схема вимірювання  
мікротвердості

Для дослідження мікроструктури та розподілення твердості по глибині на поверхнях зразків готувались мікрошліфи з кроком по глибині 20 мкм.

Підготовка мікрошліфів здійснювалась в три етапи: чорнове шліфування, чистове шліфування (абразивний папір Р 180 – Р2500) та полірування (паста алмазна А80–А20). Промивання між переходами здійснювалось в керосині, а травлення мікрошліфів проводилось у 4% розчині нітратної кислоти ( $\text{HNO}_3$ ).

### Висновки до другого розділу

У другому розділі описана загальна методологія роботи, яка здійснюється на базі застосування системного підходу до вирішення задач і передбачає теоретичні та експериментальні дослідження, а також комп'ютерне моделювання, аналіз і формування множини стратегій вибору оптимальних параметрів процесу виготовлення деталі, а також при проектуванні технологічного устаткування.

### 3. ДОСЛІДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ

3.1. Дослідження взаємозв'язку внутрішніх напружень в залежності від температури та товщини зносостійкого покриття.

При дослідженні температурних напружень поверхневого шару головним параметром є інтенсивність теплової енергії величина якої визначає глибину залягання деформації та градієнт температурних напружень.

Локалізація областей деталі, нагрітих до різних температурних діапазонів, проводиться на основі розробленої моделі процесу синтезу деталі типу «оболонка» методом 3DMP — наплавкою.

На рисунку 3.1 показано розподіл температурних полів при моделюванні штучного дефекту (відшарування покриття). Зона максимальних температур відповідає осередку температурних деформацій, що є рушійним джерелом зародження тріщин.

Моделювання показує, що відведення тепла відбувається не рівномірно. Як видно з рисунка 3.1а), близько половини шару має мінімальну температуру 160...290°C, що пояснюється активним відведенням тепла в підкладку. Температура, що перевищує температуру рекристалізації, характерна для осередків з низькою теплопровідністю. На рисунку 3.1 б), відведення тепла має мінімальне значення, відбувається збільшення температур. Температура, що перевищує температуру рекристалізації, відповідає 21 осередку (з 59 по 80). Мінімальні температури на поверхні 18 шару, становлять 400...600 °C і займають близько половини площі кільця, рисунок 3.1, в). Температура, що перевищує температуру рекристалізації, відповідає 23 осередкам (з 57 по 80).

Для всіх розглянутих карт температурних полів характерне схоже розподілення зон. Зони мінімальних температур займають близько половини площі кільця, з підвищенням температури в цій області. Це пояснюється зменшенням відведення тепла

та «накопичувальним» ефектом тепла в нижніх шарах. Перехідні зони та зони максимальних температур мають практично однакові розміри, але різні температурні діапазони, що пояснюється слабшим теплообміном.

На рисунку 3.1, г), показано розподілення теплових полів при природньому охолодженні. Характерно зміна розмірів усіх температурних зон із зниженням температури.

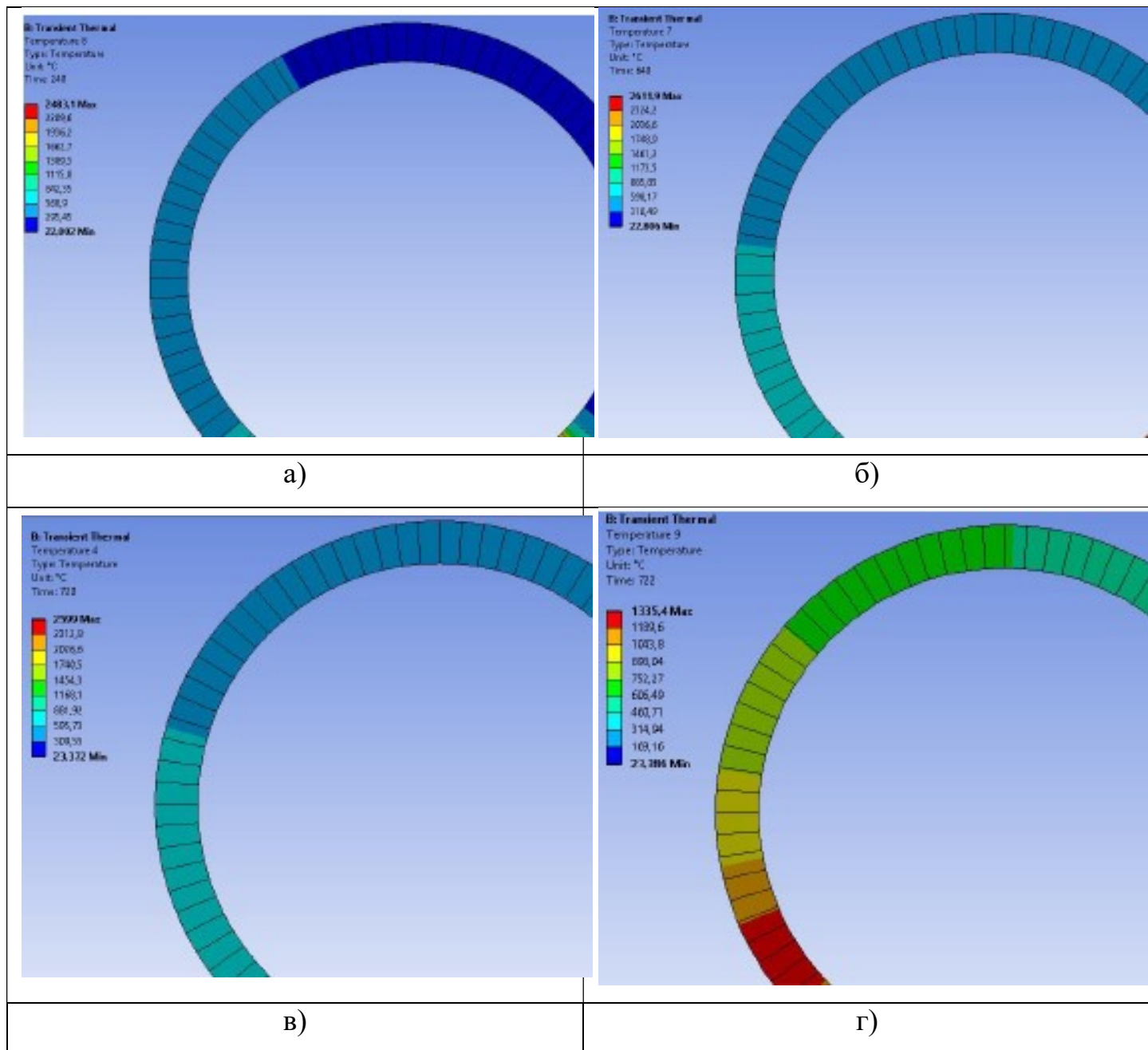


Рисунок 3.1 – Зміна температурних полів

Оцінка характерних діапазонів температур поверхневого шару й розподілу температур наведено на рисунку 3.2.

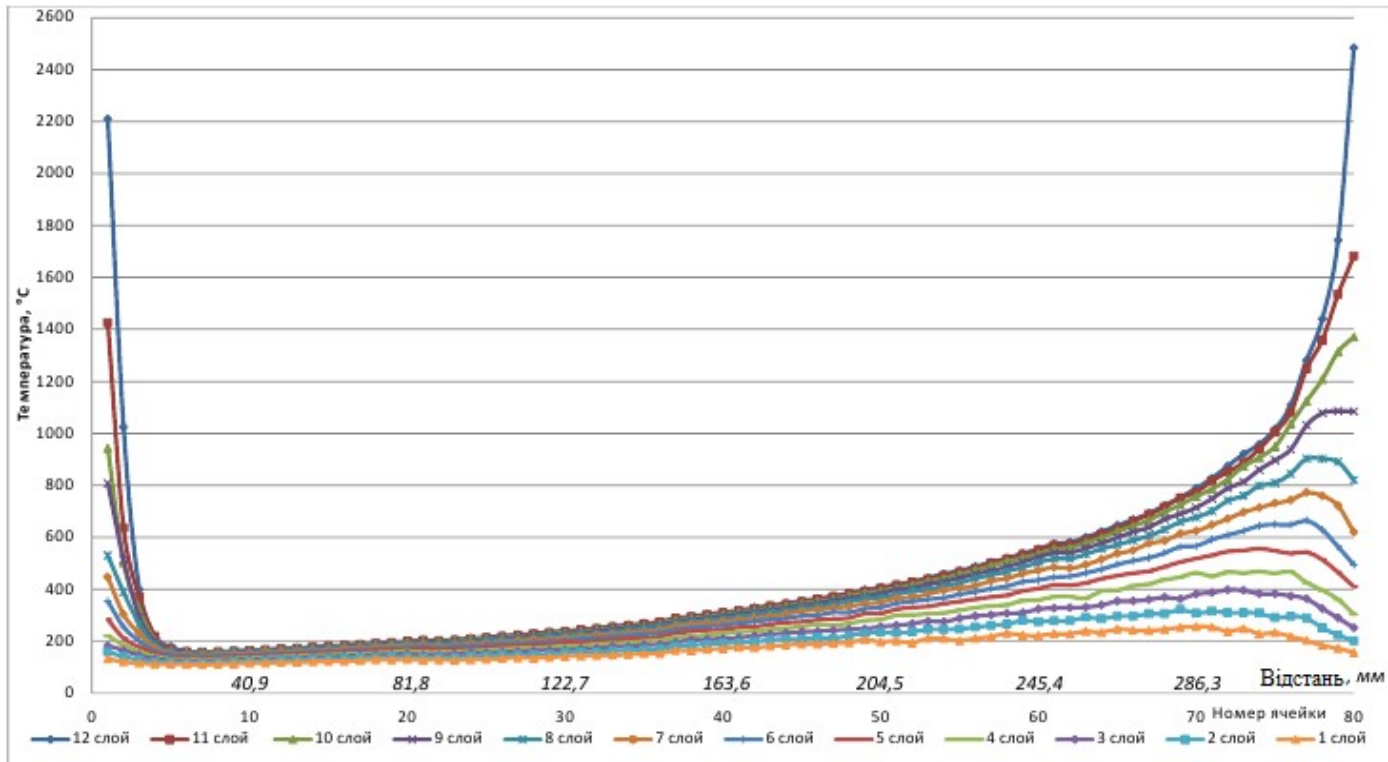


Рисунок 3.2 Графіки розподілу температур

На рисунку 3.3 наведено графік залежності появи дефекту від температури

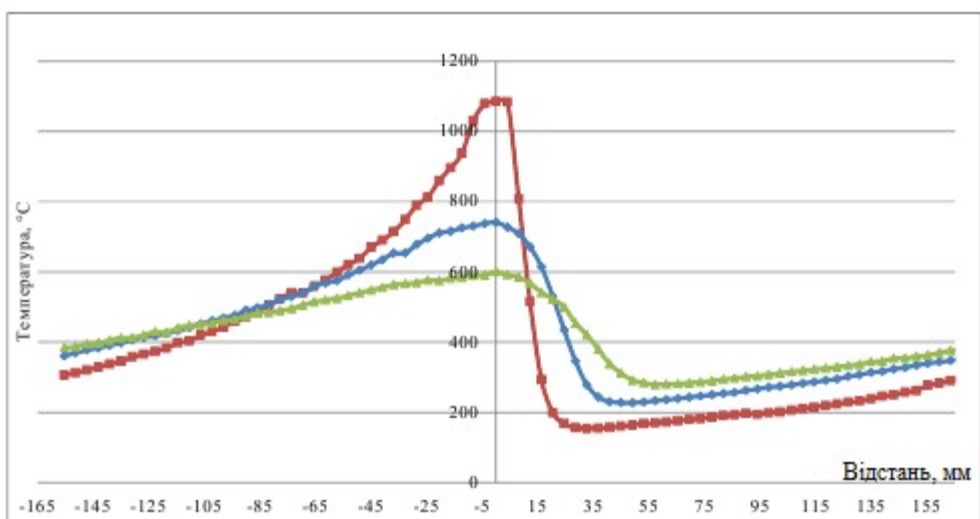


Рисунок 3.3 Графіки появи дефекту від температури

В процесі тривалої експлуатації температура поступово зростає, в місці пониженого теплообміну (вспучування) відбувається підвищення температури, яка поширюється по об'єму тіла і досягає критичних значень (температури рекристалізації), рис. 3.4.

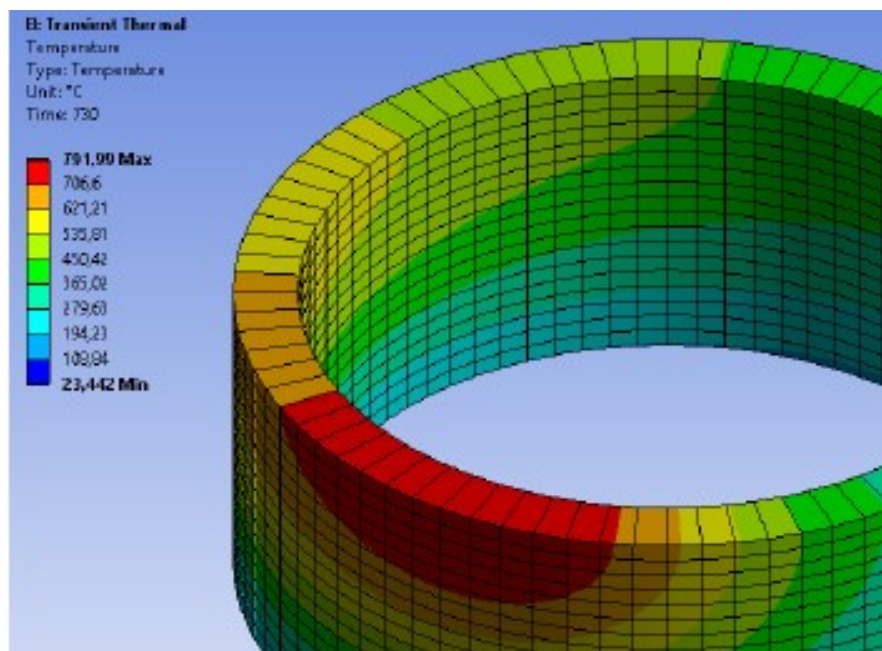


Рисунок 3.4 Температурне поле за товщиною зносостійкого шару (18 шарів)

На основі проведених досліджень отримано графічні залежності зміни температури для кожного умовного шару покриття, рис. 3.5.

Апроксимація графіків з ймовірність 96% дозволила отримати математичні залежності розподілу тепла по багатошаровій поверхні.

$$t_{12 \text{ шар}} = -398 \ln(L) + 2393 \quad (3.1)$$

$$t_{15 \text{ шар}} = -397 \ln(L) + 2502,6 \quad (3.2)$$

$$t_{18 \text{ шар}} = -411 \ln(L) + 2824,8 \quad (3.3)$$

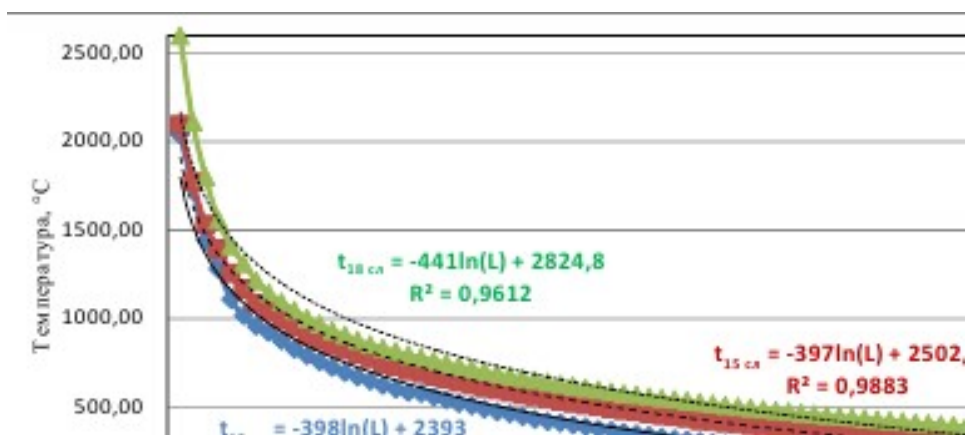


Рисунок 3.5 Характер розподілу тепла за шарами

Таким чином, на основі отриманих експериментальних даних в ході проведення численних експериментів та отриманих апроксимованих залежностей одержані математичні залежності зміни температури в напрямку зростання товщини зносостійкого шару. Результати моделювання розподілу тепла по всій товщині зносостійкого покриття відображені на рис. 3.6.

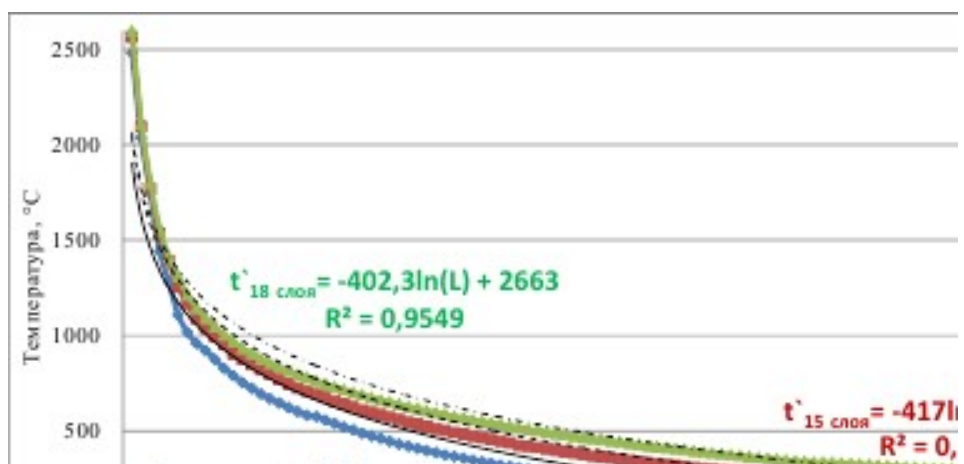


Рисунок 3.6 Розподіл теплоти по товщині покриття

Проведені дослідження дозволили зрозуміти картину явища розподілу температури за об'ємом деталі. На основі проведених досліджень встановлено мінімально необхідну товщину покриття (Твердий хром)  $a=360$  мкм, яке б витримувало температурні навантаження й забезпечувався процес перерозподілу температур без досягнення критичних значень лінійного розширення для матеріалів покриття та основи.

### 3.2. Дослідження поведінки поширення температури по товщині зносостійкого покриття

Для розширення достовірності проведених досліджень було використано аналогічну модель із 22 шарів товщиною 20 мкм, тобто розглядався випадок поширення температур за об'ємом зносостійкого покриття товщиною 440 мкм. Результати досліджень наведені на рисунку 3.7.

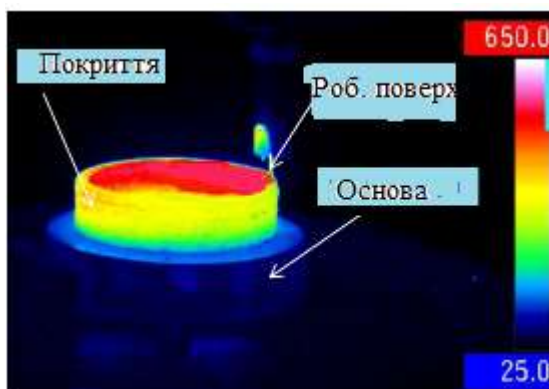


Рисунок 3.7 Поширення теплоти за об'ємом зносостійкого покриття

В ході комп'ютерного моделювання отримано дані поширення температур в залежності від висоти циліндра (тобто в залежності від зміни тиску), рис. 3.8.

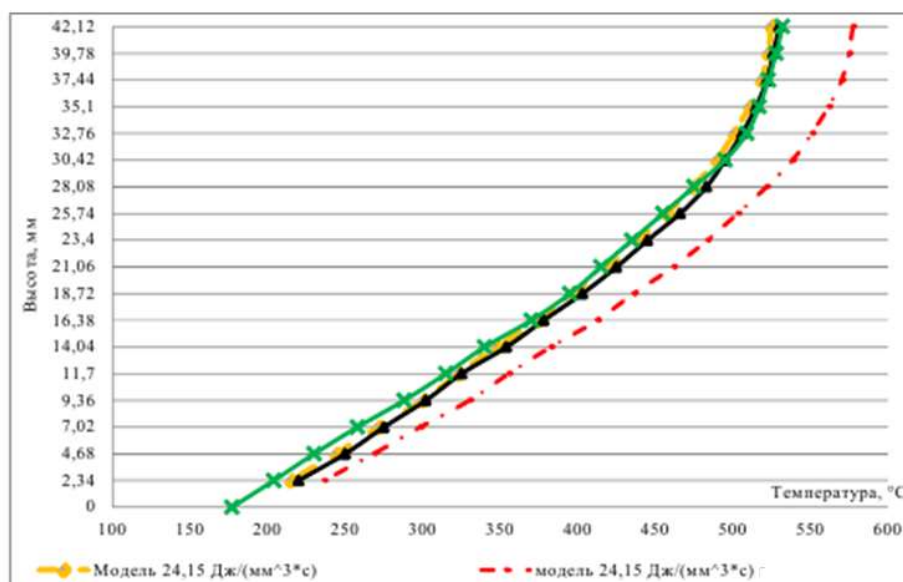


Рисунок 3.8 Поширення теплоти по висоті та за об'ємом зносостійкого покриття

Аналіз отриманих результатів показує, що зона підвищених температур знаходиться у верхній частині циліндра. Даний факт свідчить про необхідність удосконалення системи тепловідведення в зазначеній зоні.

### 3.3 Дослідження впливу температурного режиму роботи на мікротвердість основи

Експериментальні дослідження впливу температурних режимів на мікротвердість проведені відповідно до методики експерименту. Вимірювання мікротвердісті для дослідних зразків проводилось на твердомірі за методом Віккерса з навантаженням на індентор 100 г.

Твердість матеріалу основи зразка має рівномірний розподіл по всій довжині на рівні 115НВ. Дослідження мікротвердості в зоні активного впливу температурних полів показали, що при температурі до межі рекристалізації особливих структурних змін не відбувається. На рисунку 3.9 наведено діаграму залежності мікротвердості від температури термічної обробки покриття «Твердий хром».

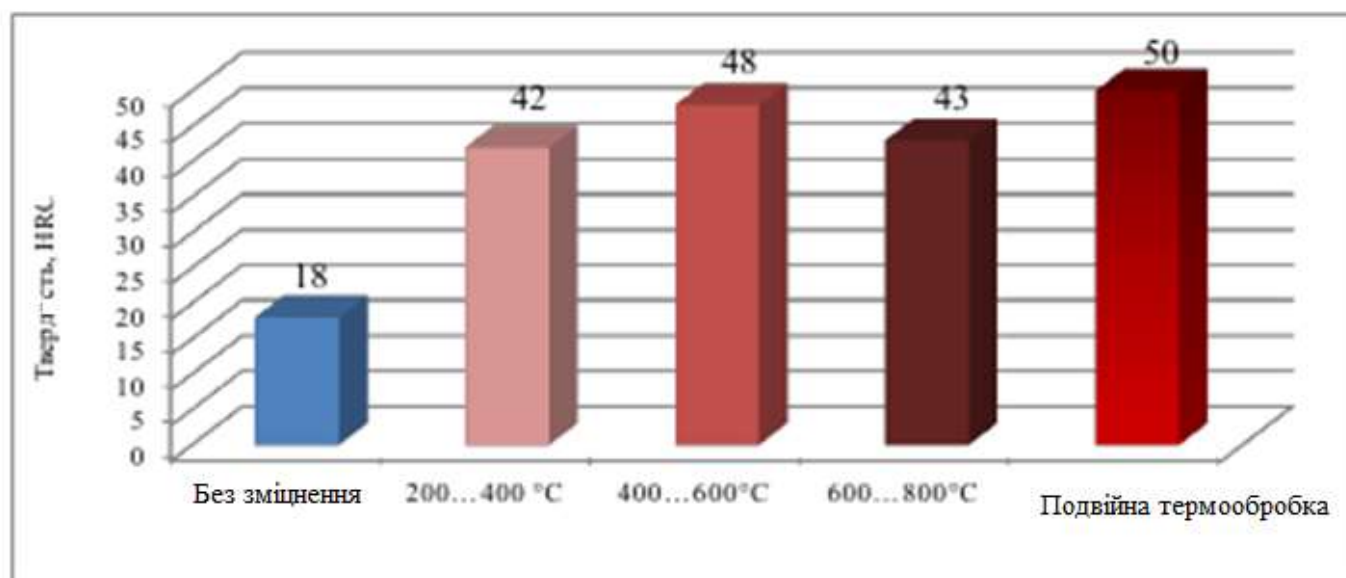


Рисунок 3.9 – Залежність мікротвердості від температури термічної обробки покриття

### **Висновки до третього розділу**

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень сформовано основні напрямки удосконалення технології виготовлення деталей типу «циліндр компресора» монолітної конструкції із зносостійким покриттям.

Розроблено скінчено-елементну динамічну модель впливу температурних полів на напружено-деформований стан деталі. В ході проведених досліджень встановленні закономірності поширення теплової енергії за об'ємом зносостійкого покриття.

Дослідження температурного розподілу показали, товщина зносостійкого покриття повинна відповідати мінімально необхідній.

## 4 Конструкторсько-технологічний розділ

4.1 Визначення форми й типу виробництва та аналіз його впливу на процес технологічної підготовки виробництва

Тип та форма виробництва залежать від кількості продукції, яку здатне випустити підприємство за одиницю часу. В залежності від типу виробництва буде й формуватись підхід до розробки технології виготовлення, вибору технологічного оснащення та інших факторів, що приймають участь у технологічних процесах.

Для визначення типу виробництва необхідно знати масу деталі,  $m=0,6$  кг та задатись річною програмою випуску.

Таблиця 4.1

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  $N = 150000$  шт та масу деталі  $m = 0,6$  кг – тип виробництва великосерійний.

Кількість деталей у партії визначається за формулою:

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

де  $N$  – програма випуску виробів у рік,  $N = 150000$  шт.;  $t$  – період на який необхідно мати мінімальний запас деталей, приймаємо  $t = 12$ ;  $\Phi$  – число робочих днів

в році,  $\Phi = 254$ , тоді  $N_n = 1000 \cdot \frac{12}{254} = 47,2$  шт., приймаємо  $N_n = 7000$  шт.

основні технологічні ознаки, що характеризують великосерійний тип виробництва:

- спеціалізація робочих місць на мінімальну кількість операцій;
- класифікація розрядів робітників переважно середня;
- обмежена номенклатура виробів;
- використовується універсальне та спеціальне обладнання;
- стандартний та спеціальний інструмент;
- спеціалізовані переналагоджувані верстатні пристрої;
- використання верстатів з ЧПК та обробних центрів. [6].

#### 4.2 Вибір та обґрунтування баз для реалізації технологічного процесу виготовлення деталі

Алгоритм обґрунтування вибору технологічних баз передбачає виконання наступних етапів [6]:

- Обґрунтування вибору технологічних баз в цілому;
- Обґрунтування вибору технологічних баз для чорнових операцій або першого установу.

Вихідними даними для вибору тех.. баз є робоче креслення деталі, заготовки або вузла, до якого входить дана деталь.

На етапі вибору технологічних баз необхідно користуватись загальними правилами, що дозволяють забезпечити точність виготовлення, сталість розмірів, високу повторюваність при мінімальній кількості установів.

### 4.3 Проектування технологічного процесу (операційного) виготовлення деталі циліндр

На попередньому етапі розробки технологічного процесу необхідно визначитись з послідовністю виконання технологічних операцій. Для всіх поверхонь деталі що обробляються необхідно призначити порядок обробки в загальному процесі. При проектуванні технологічних операцій та переходів слід притримуватись тенденції використання обладнання з ЧПК, що обумовлює в більшості випадків проектування багатоцільових технологічних операцій.

Технологічна послідовність виконання операції відображена таким чином щоб зберігались основні принципи, що притаманні технології серійного та великосерійного виробництва.

Аналізуючи кресленик деталі та умови, що висуваються до готової продукції розробляємо операційний маршрут технологічного процесу.

005 Заготівельна

010 Термічна

015 Контрольна

020 Фрезерна ЧПК (багатоцільова)

025 слюсарна

027 Токарна ЧПК (багатоцільова)\*

030 Фрезерна ЧПК (багатоцільова)

035 Слюсарна

040 Гальванічна (покриття)

045 Контрольна

050 Внутрішньо-шліфувальна

055 Хонінгувальна

060 Слюсарна

065 Очистка

070 Контрольна

\*Може використовуватись на заміну фрезерній операції ЧПК.

#### 4.4. Вибір верстатного обладнання

Для реалізації механічної обробки, а саме токарних та фрезерних операцій, обираємо верстати Haas, які досить гарно себе зарекомендували при виготовленні аналогічних деталей.

Для токарних операцій пропонується верстат моделі Haas DS-30Y (рис. 4.1).



Рисунок 4.1 – Токарний оброблюючий центр Haas DS-30Y

Загальні характеристики верстата зведені в таблицю 4.2.

Таблиця 4.2

## Характеристики верстату Haas DS-30Y

Параметри робочої зони:	
Максимально встановлюється діаметр заготовки, мм:	
над станиною	806
над кареткою	527
Максимальний оброблюваний зовнішній діаметр, мм	457
Максимальна довжина точіння (без урахування патрона), мм	584

Максимальний крутний момент на шпинделі (при n = 600 об / хв), Нм	373
Максимальна потужність на шпинделі, кВт	22,4
Діаметр отвору в шпинделі,	88,9
Параметри контршпинделя:	
Максимальна частота обертання шпинделя, об / хв	4800
Максимальний крутний момент на шпинделі (при n = 700 об / хв), Нм	149
Максимальна потужність на шпинделі, кВт	14,9
Параметри інструментального револьвера:	
Тип інструментального револьвера	ВМТ6
Кількість позицій в револьвері, шт	12
Макс. число приводних станцій,	12
Перетину корпусів різців, мм	25x2

Для відпрацювання фрезерних операцій використовується верстат моделі HAAS EC-1600ZT-5AX



Рисунок 4.2 – Верстат фрезерний 5-ти осьовий haas ec-1600zt-5ax

Основні технічні характеристики відображені у таблиці 4.3

Таблиця 4.3

Характеристики верстату Haas ec-1600zt-5ax

РОБОЧІ ПЕРЕМІЩЕННЯ	
Переміщення по осі X	1626 мм
Переміщення по осі Y	1270 мм
Переміщення по осі Z	1016 мм
СТІЛ	

Довжина столу	1626 мм
Ширина столу / при 4-осьової обробці /	813 мм
Матеріал столу	Т-образні канавки
Ширина Т-образних пазів	16 мм
Максимальна вага на столі (рівномірно розподілений)	4536 кг
4 ВІСЬ (ОПЦІОНАЛЬНО)	
Діаметр планшайби	Ø 762 мм
Тип приводу	безперервний
Максимальний крутний момент	2712 Нм
Гальмівний момент	5423 Нм
Максимальне навантаження на стіл	4536 кг
Точність позиціонування	+/- 30" секунда
Відтворюваність	15" секунда
5 ВІСЬ / ВІСЬ А / ЗІ СТОЛОМ HRT310	
Діаметр план-шайби	Ø 310 мм
Обертання осі А (HRT310, з опорою зовнішній вигляд А)	360 секунда
Максимальний крутний момент	407 Нм
Гальмівний момент	678 Нм
Виготовлення столу / Кількість канавок	Т-обр\6
ШПИНДЕЛЬ	
Конус шпинделя	50 ISO

Тип приводу	2-ступінчата зубчаста передача
Максимальна швидкість	7500 об/хв
Максимальний крутний момент / при 700 об / хв /	460 Нм
Максимальна потужність шпинделя	22,4 кВт
ШВИДКІСТЬ ПОДАЧІ:	
Прискорені переміщення по осях X, Y, Z	15,2 м/хв
МАГАЗИН ІНСТРУМЕНТУ	
Кількість інструменту в магазині	50+1
Тип кріплення конуса / Стандарт DIN 69871	СТ / ВТ 50
Максимальний діаметр інструмента	102 мм
Максимальна вага інструменту	13,6 кг
Час зміни інструменту (середнє)	8 сек
Час від стружки до стружки (середнє)	12,6 сек
ТОЧНІСТЬ:	
Точність позиціонування	+/-0,008* мм
Стиснене повітря/витрата	255 л/хв
Точність повторного позиціонування	+/-0,005* мм

#### 4.5 Визначення припусків на технологічних переходах при обробленні поверхонь заготовки

Метод розрахунково-аналітичного визначення припусків при обробленні поверхонь ґрунтується на аналізі факторів, що впливають на значення величини припусків для попереднього етапу та переходу, що виконуються в технологічному процесі обробки поверхні. Величина припуску визначається шляхом диференційованого розрахунку за елементами, що утворюють припуск на оброблення. Такий підхід передбачає розрахунок припусків для всіх послідовно виконуваних технологічних переходів обробки поверхонь деталі. Послідовне додавання припусків дозволяє визначити загальний припуск на обробку певної поверхні, а також здійснити розрахунок проміжних розмірів, які визначають положення поверхонь і розміри заготовки при виконанні кожного технологічного переходу [6].

Вихідними даними для розрахунку припусків є робочий кресленник деталі з вказаними вимогами до характеристик якості оброблених поверхонь, визначена технологічна послідовність обробки заданої поверхні, яка забезпечує формування поверхні з характеристиками якості, зазначеними в кресленні, теоретична схема базування та її конструктивна реалізація в пристрої при виконанні кожного етапу оброблення.

4.5.1 Аналітичний розрахунок припуску на обробку внутрішньої циліндричної поверхні ( $\emptyset 55H7$ ), мм

Маршрут обробки поверхні ( $\emptyset 55H7$ ), мм

- точіння чорнове;
- розточування чистове;
- Координатне розточування.

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 сформована на попередній операції;  $h_{i-1}$  – величина дефектного шару, що утворився в ході попередньої операції;  $\Delta_{\Sigma i-1}$  – сумарне відхилення розташування поверхні, що створилося на попередній операції, мкм;  $\varepsilon_{yi}$  – похибка установлення заготовки на виконуваному переході, мкм.

Для розрахунку припусків використовуємо алгоритм, приведений в [3].

Знаходимо величини елементів припуску.

1. Параметри заготовки (литво по випалюваним моделям:

$$R_{zag} = 80 \text{ мкм}; h_{zag} = 100 \text{ мкм} [5], \text{ табл. 1}$$

Сумарне відхилення розташування поверхні визначаємо за формулою:

$$\Delta_{\Sigma za} = \rho_k,$$

де  $\rho_k$  – викривлення заготовки із-за деформації,  $\rho_k = \Delta_k \cdot L$ ,

де  $\Delta_k$  – питома кривизна заготовки,  $\Delta_k = 1,0 \text{ мкм/мм}$ ;

$L$  – максимальний розмір заготовки,  $L = 40 \text{ мм}$ ;

$$\rho_k = 40 \cdot 1 = 40 \text{ мкм};$$

$$\text{Тоді } \Delta_{\Sigma za} = \rho_k = 40 \text{ мкм};$$

Допуск переходу  $T_{zagot.} = 700 \text{ мкм}$

2. Точіння чорнове:

$$R_{\Sigma \text{чорн}} = 63 \text{ мкм}; h_{\text{чорн}} = 60 \text{ мкм} [5], \text{ табл. 5};$$

Загальне сумарне відхилення розташування поверхні в межах переходу механічної обробки розраховується за формулами:  $\Delta_{\Sigma \text{т.чорн.}} = \Delta_{zag} \cdot K_y$ ,

де  $K_y$  – коефіцієнт, що враховує уточнення,  $K_y = 0,06$  [3], табл. 29;

$$\Delta_{\Sigma \text{т.чорн.}} = 40 \cdot 0,06 = 2,4 \text{ мкм.}$$

Допуск переходу  $T_{\text{т.чорн.}} = 180 \text{ мкм.}$

### 3. Розточування чистове

$$R_{z_{т.чист}} = 30 \text{ мкм}; h_{т.чист} = 30 \text{ мкм} \quad [5], \text{ табл. 28};$$

Сумарне відхилення розташування поверхні після виконання переходу механічного оброблення:  $\Delta_{\Sigma_{т.чист.}} = \Delta_{заг.} \cdot k_y$ ,

де  $k_y$  – коефіцієнт, що враховує уточнення,  $k_y = 0,05$  [6], табл. 29

$$\Delta_{\Sigma_{чист.}} = 30 \cdot 0,05 = 1,5 \text{ мкм.}$$

Похибка встановлення заготовки на оправку в центрах :

$$\varepsilon_{у.чист.} = 0$$

Допуск переходу  $T_{т.чист.} = 43 \text{ мкм.}$

### 4. Координатне розточування

$$R_{z_{шлш.чорн.}} = 10 \text{ мкм.}; h_{шліф.чорн.} = 20 \text{ мкм} \quad [5], \text{ табл.5};$$

Сумарне відхилення розташування поверхні після виконання переходу механічного оброблення  $\Delta_{\Sigma_{шліф.чорн.}} = \Delta_{\Sigma_{заг.}} \cdot k_y$ ,

де  $k_y$  – коефіцієнт, що враховує уточнення,  $k_y = 0,04$  [3], табл. 29;

$$\Delta_{\Sigma_{шлш.чорн.}} = 3 \cdot 0,04 = 0 \text{ мкм.}$$

Допуск переходу  $T_{т.чист.} = 11 \text{ мкм.}$

Визначені величини елементів припуску заносимо в табл. 4.4.

## Розрахунок припусків на обробку внутрішньої поверхні Ø55H7

Технологічні переходи обробки поверхні	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий припуск, мкм	Розрахунковий розмір, мм	Допуск	Граничні розміри, мм		Граничні припуски, мм	
	$R_{z_{i-1}}$	$h_{i-1}$	$\Delta_{\Sigma i}$	$\varepsilon_i$				Нм.	Нб.	Нм.	Нб.
Заготовка	80	100	44	-		53,664	0,7	53,96	53,66		
Точіння чорнове	63	60	3	60	2×254	54,866	0,180	54,686	54,866	0,58	1,1
Точіння чистове	30	30	1	4	2×123	54,856	0,043	54,86	54,913	0,1	0,095
Координатне розточування	6,3	12	0	0	2×30	55,011	0,011	55,011	55	0,06	0,07
Всього										1,011	1,7

Знаходимо мінімальні припуски за переходами:

Точіння чорнове:

$$2Z_{\min.чорн.} = 2(80 + 100 + \sqrt{(44^2 + 60^2)} = 2 \times 254 \text{ мкм.}$$

розточування чистове:

$$2Z_{\min.чист.} = 2(63 + 50 + \sqrt{3^2 + 4^2}) = 2 \times 123 \text{ мкм.}$$

Координатне розточування:

$$2Z_{\min.ил.чист.} = 2(10 + 20) = 2 \times 30 \text{ мкм.}$$

Визначені розрахункові розміри записуємо для кінцевого переходу у графу «розрахунковий розмір» найменший граничний розмір деталі:

$$D_p = 55 + 0,011 = 55,011 \text{ мм}$$

Визначаємо розрахункові розміри для всіх переходів.

Для передостаннього переходу знаходимо розрахунковий розмір шляхом додавання до найменшого граничного розміру із креслення розрахункового припуску:

$$D_{p. \text{ к. розточ.}} = 55 + 0,06 = 55,06 \text{ мм}$$

Послідовно знаходимо розрахункові розміри для кожного попереднього переходу шляхом віднімання від розрахованого розміру наступного за ним суміжного переходу розрахункового припуску:

$$D_{p. \text{ точ. чист.}} = 55,06 - 0,122 = 54,938 \text{ мм};$$

$$D_{p. \text{ точ. чорн.}} = 54,938 - 0,246 = 54,692 \text{ мм};$$

$$D_{p. \text{ розр. заг.}} = 54,692 - 0,508 = 54,182 \text{ мм}$$

Фіксуємо найменші граничні розміри по всіх технологічних переходах, округлюючи їх шляхом збільшення розрахункових розмірів:

$$D_{\text{нм дет.}} = 55 \text{ мм};$$

$$D_{\text{нм к. розточ.}} = 54,938 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нм точ. чорн.}} = 54,692 \text{ мм}$$

$$D_{\text{нм загот.}} = 54,182 \text{ мм}$$

Визначаємо найбільші граничні розміри шляхом віднімання допуску до округленого найменшого граничного розміру:

$$D_{\text{нб дет.}} = D_{\text{нм дет.}} + T_{\text{дет.}} = 54,986 + 0,011 = 55,0 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{нб к. розточ.}} = D_{\text{нм к. розточ.}} + T_{\text{к. розточ.}} = 54,938 - 0,018 = 54,92 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{нб точ. чист.}} = D_{\text{нм точ. чист.}} + T_{\text{точ. чист.}} = 54,92 - 0,043 = 54,508 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{нб точ. чорн.}} = D_{\text{нм точ. чорн.}} + T_{\text{точ. чорн.}} = 54,508 - 0,18 = 54,328 \text{ мм.}$$

$$D_{\text{нб заг.}} = D_{\text{нм заг.}} + T_{\text{заг.}} = 54,382 - 0,7 = 53,682 \text{ мм.}$$

Знаходимо найбільші значення припусків як різницю найбільших розмірів попереднього і виконуваного переходів:

$$2Z_{\text{нб к. розточ.}} = D_{\text{нб к. розточ.}} - D_{\text{нб к. розточ.}} = 55,011 - 55 = 0,011 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{нб шл. чорн.}} = D_{\text{нб точ. чист.}} - D_{\text{нб шл. чорн.}} = 55,356 - 55,092 = 0,264 \text{ мм};$$

$$2Z_{\text{нб т. чист.}} = D_{\text{нб. точ. чорн.}} - D_{\text{нб точ. чист.}} = 55,866 - 55,356 = 0,51 \text{ мм};$$

$$2Z_{нб.точ. чорн..} = D_{нб.заг..} - D_{нб.точ.чорн..} = 57,66 - 55,866 = 1,2 \text{ мм.}$$

Знаходимо найменші припуски як різницю найменших розмірів попереднього і виконуваного переходів:

$$2Z_{нм.к.розточ.} = D_{нм.к.розточ.} - D_{нм.к.розточ} = 55 - 54,937 = 0,137 \text{ мм}$$

$$2Z_{нм.шл.чорн.} = D_{нм.точ.чист.} - D_{нм.шл.чорн.} = 55,313 - 55,074 = 0,039 \text{ мм;}$$

$$2Z_{нм.т.чист..} = D_{нм.точ.чорн.} - D_{нм.точ.чист..} = 55,686 - 55,313 = 0,373 \text{ мм;}$$

$$2Z_{нм.т.чорн..} = D_{нм.заг..} - D_{нм.точ.чорн..} = 56,96 - 55,686 = 1,274 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальні найменші та найбільші припуски:

$$2Z_{нбзаг.} = 2Z_{нб.к.розточ.} + 2Z_{нб.шл.чорн.} + 2Z_{нб.точ.чист.} + 2Z_{нб.точ.чорн.};$$

$$2Z_{нбзаг} = 0,092 + 0,264 + 0,51 + 1,2 = 2,066 \text{ мм}$$

$$2Z_{нм.заг.} = 2Z_{нм.к.розточ.} + 2Z_{нм.шл.чорн.} + 2Z_{нм.точ.чист.} + 2Z_{нм.точ.чорн.}$$

$$2Z_{нм.заг.} = 0,037 + 0,039 + 0,373 + 1,274 = 1,723 \text{ мм.}$$

Визначаємо загальний номінальний припуск:

$$2Z_{ном.} = 2Z_{нм.заг.} + H_z - H_\delta ,$$

де  $H_z$  – нижнє відхилення заготовки,  $H_z = 0,5$  мм;

$H_\delta$  – нижнє відхилення деталі,  $H_\delta = 0,063$  мм.

$$2Z_{ном.} = 1,723 + 0,5 - 0,063 = 2,16 \text{ мм}$$

Номінальний розмір заготовки:

$$D_{ном.заг.} = D_{ном.дет..} + 2Z_{ном} = 55 - 2,16 = 52,84 \text{ мм}$$

На базі розрахунку будуємо схему (рис.4.3) розміщення припусків, допусків та граничних розмірів при обробці поверхні  $\text{Ø}55^{+0,011}$  мм.

Розрахунок припуску проведено за методикою викладеною у практичних рекомендаціях [9].

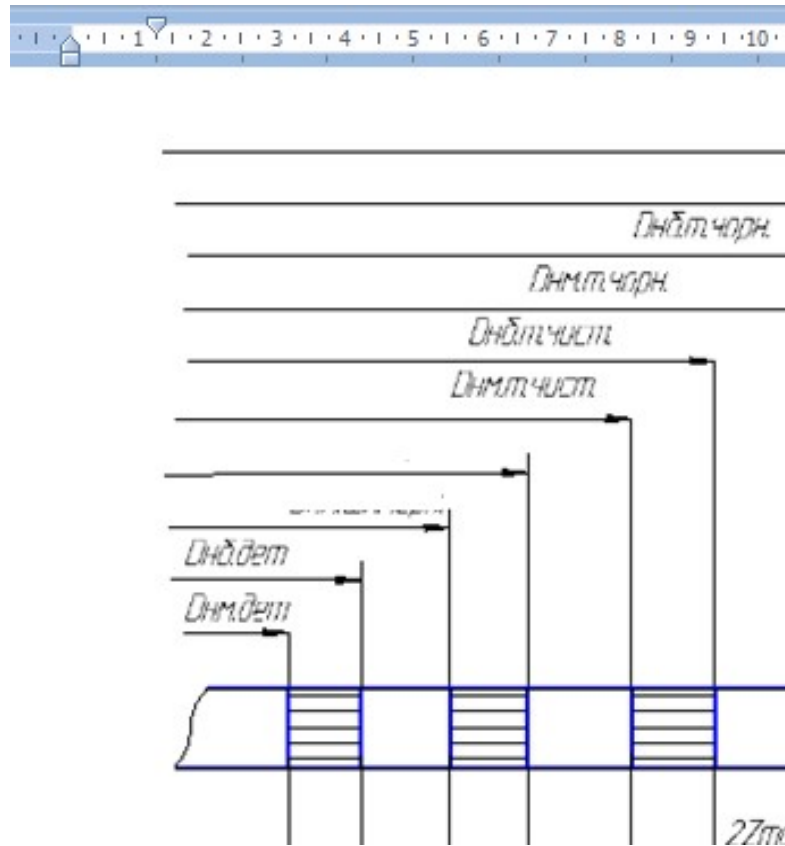


Рисунок 4.3 – Схема розміщення припусків, допусків, граничних розмірів при обробці поверхні  $\text{Ø}55^{+0,011}$  мм

#### 4.6. Визначення режимів різання

Розробка математичної моделі процесу різання є важливим етапом створення алгоритму оптимізації. У традиційному, класичному підході математична модель будується у вигляді математичних залежностей, що виражають зв'язки між керуючими факторами, обмеженнями та вибраними критеріями оптимізації, на основі класичних залежностей теорії різання [8].

Зв'язок між управліннями  $s$  і  $n$  та періодом  $T$  стійкості інструмента, що визначають його ріжучу здатність, одержують за відомою з теорії різання залежністю [8]:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{C_v k_1}{T^m k^{2m}}$$

звідки

$$n s^{1/m} = \frac{318 C_v}{\Gamma T^m H}$$

Оскільки всі залежності, що складають математичну модель, є емпіричними, слід не забувати про розмірності вхідних фізичних величин. Традиційно розмірності не відповідають системі СІ.

Так, у залежності частота обертання  $n$  (об/хв), подача -  $s$  (мм/об), глибина різання -  $h$  (мм), період стійкості -  $T$  (хв), діаметр заготовки -  $D$  (мм) [8]; де  $N_{ст}$  - ефективна потужність верстату у кВт.

Подача, що допускається необхідною шорсткістю обробки може бути визначена за геометричними залежностями формування мікронерівностей поверхневого шару деталі [8]:

$$[s_{ст}]_{min} = Rz \frac{\sin(\varphi + \varphi_1)}{\sin \varphi \sin \varphi_1} + r \left( \operatorname{tg} \left( \frac{\varphi}{2} \right) + \right.$$

У випадку різання за один прохід з постійною глибиною різання, рівною припуску на обробку (ідеальний випадок), режим різання буде оптимальним, коли комбінація подачі та швидкості різання дасть мінімальний основний технологічний час. Таке рішення знаходиться шляхом визначення відповідних значень керуючих факторів або параметрів (подачі  $s$ , швидкості різання та припуску на механічну обробку) наступний критерій мінімізує технологічний час.

#### 4.6.1 Визначення режимів різання для окремих поверхонь

Обробка поверхонь деталі на верстаті з числовою системою керування, що дозволяє здійснювати вибір інструменту та розрахунок режимів різання в автоматичному режимі. Обробка отвору  $\text{Ø}55^{+0,011}$  здійснюється з використанням розточної системи. Чорнова обробка циліндричних поверхонь може здійснюватись на універсальному обладнанні. Обробка кріпильних отворів здійснюється на свердлувальному верстаті з використанням спеціального оснащення. Режими різання розраховуємо за загальноприйнятою методикою [8].

Контурну обробку поверхонь виконуємо на верстаті з ЧПК.

Інструменти, що використовуються оснащені пластинками фірми Sandvik Coromant.

Режими різання визначаємо за допомогою спеціального калькулятора вбудованого в середовище програмного продукту, розробленого фірмою Sandvik Coromant – Coro Plus Tool Guide та традиційними методами– за емпіричними формулами.

Матеріал деталі сплав алюмінію АК5М2 за класифікацією Sandvik Coromant відноситься до групи легко оброблюваних.

Режими різання для окремих переходів розраховані за допомогою спеціальних додатків відображені на рисунку 4.4–4.7.

Перехід «Розточити поверхню  $\text{Ø}55^{+0,011}$ »

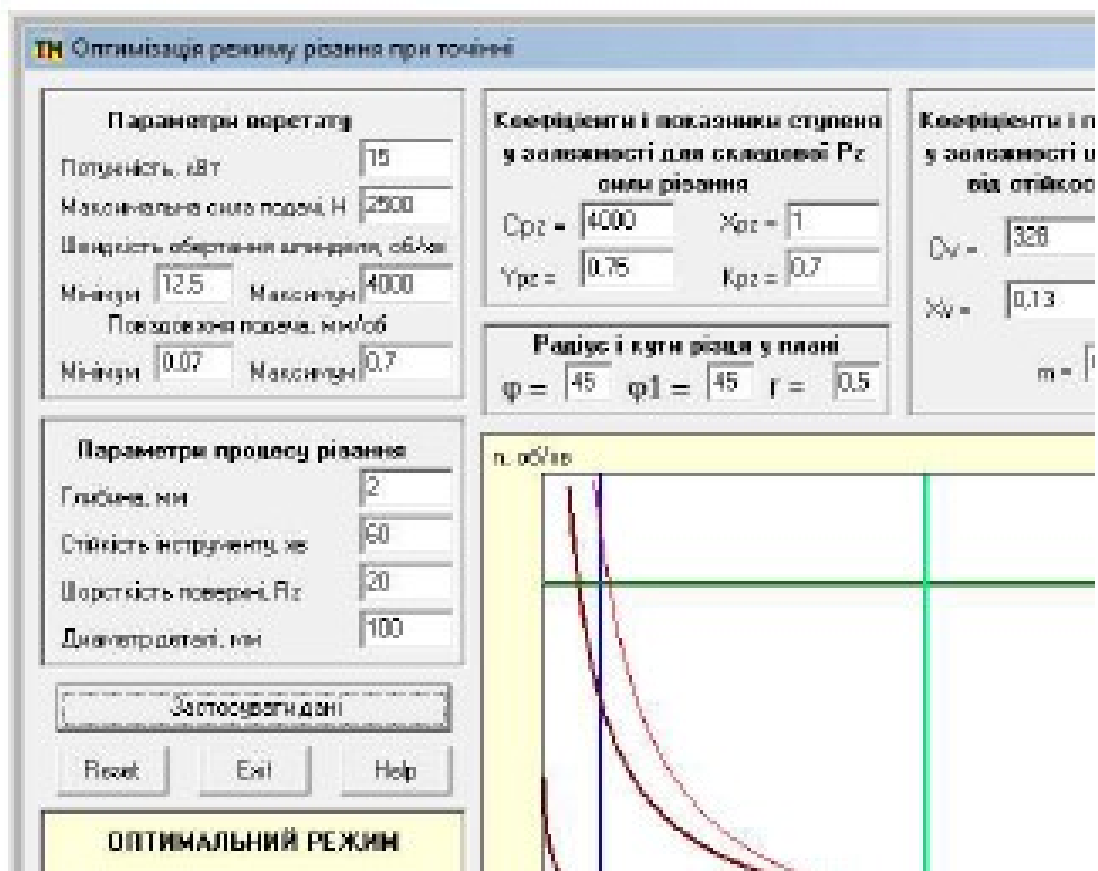


Рисунок 4.4 розрахунок режимів різання для поверхні  $\text{Ø}55^{+0,011}$

### Режими

$h$ , мм	$S$ , мм/об.	$S_{хв}$ , мм/хв	$V$ , м/хв	$n$ , об./хв.	$T_{0,1}$ , хв	$P_z$ , кВт
2	0.455	318.5	219.8	700	0.45	31.0

Розрахунок режиму різання для операції підрізати торець

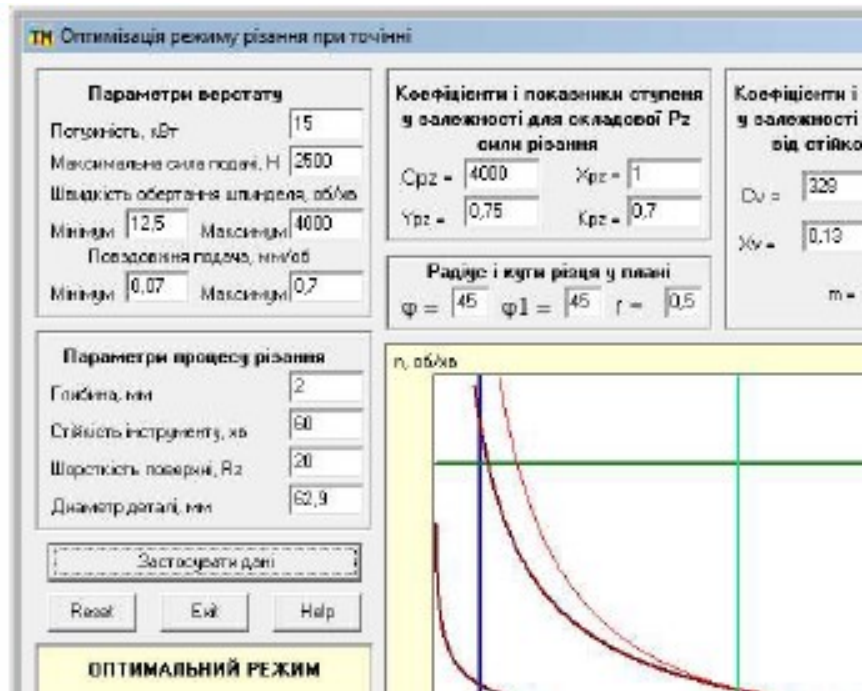


Рисунок 4.5 Розрахунок режимів різання для поверхні  $\varnothing 65 \dots 110$

Режими різання:

$h$ ,	$S$ ,	$S_{xв}$ ,	$V$ ,	$n$ ,	$T_0$ ,	$P_z$ ,
мм	мм/об.	мм/хв	м/хв	об./хв.	хв	
2	0,455	112	218	1100	0,34	31

4.7 Нормування витрат часу на механічну обробку в межах технологічних операцій.

В умовах серійного та великосерійного виробництва розрахунок норм часу має велике значення й розраховується за стандартними методиками [10]:

норма штучно-калькуляційного часу визначається  $T_{шт.к.}$

$$T_{шт.к.} = (T_{шт} + T_{н.з.}/n),$$

де  $T_{шт}$  – штучний час обробки деталі, хв.;

$$T_{\text{шт}} = T_o + T_{\partial} + T_{\text{обс.}} + T_{\text{відп.}} ,$$

де  $T_o$  – машинний час, хв.;  $T_{\partial}$  – допоміжний час обробки, хв.;

Допоміжний час розраховується:

$$T_{\partial} = T_{\text{вст}} + T_{\text{з.о}} + T_{\text{кер}} + T_{\text{вим}} ,$$

де  $T_{\text{вст}}$  – час зняття та установки деталі, хв.;

$T_{\text{з.о}}$  – час розкріплення та закріплення деталі, хв.

$T_{\text{кер}}$  – час, відведений на прийоми керування верстатом, хв.

$T_{\text{вим}}$  – час контролю (вимірювання) розмірів деталі, хв.

$T_{\text{обс.}}$  – час, враховуючий обслуговування робочого місця, хв.

$T_{\text{відп.}}$  – необхідний час на відпочинок, хв.

$T_{\text{н.з.}}$  – підготовчо-заклучний час обробки, хв.;

$n$  – кількість деталей в партії, шт;

$$n = \frac{N \cdot t_3}{\Phi} ,$$

де  $N$  – річна програма випуску деталей, шт.;  $t_3$  – число днів, що враховують запас,  $t_3 = 12$ ;  $\Phi = 254$  число робочих днів на рік.

$$n = \frac{1000 \cdot 12}{254} = 70058 \text{ шт.}, \text{ приймаємо } 7000 \text{ шт.}$$

#### 4.7.1. Розрахунок норм часу на перехід розточування отвору $\text{Ø}55^{+0,011}$

Основний час  $T_o = 1,5$  хв.

Допоміжний час  $T_\partial = T_{вст} + T_{кер} + T_{вим}$ ,

Визначаємо час на встановлення та зняття деталі

де  $(T_{вст} + T_{з.о})$  – час на установку деталі в цангу та її затиск,  $T_{вст} + T_{з.о} = \mathbf{0,55}$  хв [3] с.199.

$T_{кер}$  – час, що включає прийоми керування, і складається з часу на вмикання верстата - 0,02 хв; часу переміщення супорта в напрямку Z – 0,08 хв.; часу переміщення супорта в напрямку Y – 0,05 хв.; часу підведення ріжучого інструменту до деталі – 0,08 хв. [3], с.202...203.

Тоді  $T_{кер} = 0,01 + 0,06 + 0,06 + 0,08 = 0,21$  хв.

$T_{вим}$  – час на виконання вимірювання деталі – 0,20 хв.; тоді

$$T_\partial = (0,22 + 0,21 + 0,20) \times 1,85 = 1,092 \text{ хв.}$$

Час оперативний  $T_{он.} = T_o + T_\partial$

$$T_{он.} = 1,5 + 1,092 = 2,592 \text{ хв.}$$

Час, враховуючий витрати на відпочинок та обслуговування робочого місця:

$$T_{об} + T_{від} = P_{об.від} \times ((T_o + T_\partial)/100),$$

де  $P_{об.від}$  – норматив часу для обслуговування робочого місця, природні потреби і відпочинок для серійного виробництва;  $P_{об.від} = 6\%$ , [1], с.215.

$$T_{об} + T_{від} = 6/100 \times (3 + 1,092) = 0,015 \text{ хв.}$$

Штучний час  $T_{шт} = 2,592 + 0,015 = 2,607$  хв.

Час підготовчо-заклучний включає час на встановлення пристрою та наладку верстата  $T_{n.-з.} = 16$  хв.; часу для отримання інструменту  $T_{n.-з.} = 2$  хв.; час, що враховує додаткові прийоми  $T_{n.-з.} = 14$  хв.

$$T_{n.-з.} = 16 + 2 + 14 = 32 \text{ хв.}$$

Час штучно-калькуляційний на операцію  $T_{шт.-к} = 4,17 + 32/7000 = 0,6$  хв.

#### 4.8 Проектування верстатного пристрою для обробки отвору $\varnothing 55^{+0,011}$

Для обробки отвору  $\varnothing 55^{+0,011}$  вибираємо схему базування [6] за якої заготовка встановлюється на внутрішню циліндричну поверхню  $\varnothing 12$  мм з упором в торець та затиском за рахунок різьби.

В якості верстатного пристрою прийнято спеціальну технологічну оправку.

Базування по внутрішній циліндричній поверхні залишає заготовку 3-х степеней вільності. Упор в торець та затиск з необхідним зусиллям унеможливають проворот заготовки відносно осі за рахунок сил тертя. Така схема залишає заготовку можливості переміщення в просторі за всіма можливими напрямками.

Для розрахунку параметрів пристрою задаємось вихідними даними:

- Діаметр оброблюваної поверхні: 190 мм;
- Діаметр отвору деталі: 55 мм;
- Довжина оброблюваної поверхні: 98 мм
- швидкість обертання деталі: 25 м/хв;

1. Визначення параметрів приводу.

Поздовжня подача:

$$S_{\text{пр}} = (0,3-0,7)H_{\text{к}}$$

Поздовжня подача лежать в межах 0.05 – 0.25 мм/об;

Прийнято поздовжню подачу 0.1 мм/об;

Визначаємо силу різання:

$$P_t = 9.8 \cdot C_p \cdot V_d^{0.7} \cdot S_{\text{ш}}^{0.7} \cdot t^{0.6}$$

Значення коефіцієнтів приймаємо:  $C_v = 2.2$ ,  $r = 0.7$ ,  $y = 0.7$ ,  $x = 0.6$ ;

Тоді сила різання дорівнюватиме: 39.26 кН;

Визначаємо зусилля, що розвивається пристосуванням:

$$P_z \frac{D}{2} k = Q f \frac{d}{2}$$

Звідки :

$$Q = \frac{P_z \cdot D \cdot k}{f \cdot d}$$

Тоді зусилля, що розвивається пристосуванням: 1456.91 Н;

## 2.Визначення параметрів оправки

Товщина стінки:

$$t = 0,02 \cdot d$$

Товщина стінки:  $t = 1.6$  мм;

Визначаємо допустимі пружні деформації:

$$\Delta D = 0,03 \cdot d_{\text{отв}}$$

Визначаємо: пружні деформації рівні: 2.4 мм;

Визначаємо максимальний момент, що крутить, від сил тертя:

$$M = 500 \cdot \left( \frac{t}{D_e} \right) \left( \frac{t}{D_e} \right)^{0.5} \cdot \delta \cdot D_e^2$$

Визначаємо момент сил різання на колі:

$$M_p = k \cdot P_t \cdot \frac{D}{2}$$

Коефіцієнт запасу (k) дорівнює 2,5;



4.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою «Калібр пробка» для обробки отвору  $\text{Ø}55^{+0,011}$

Розрахунок контрольного інструменту «Калібр- пробка» проводять відштовхуючись від виконавчих розмірів прохідної та непрохідної частини за стандартною методикою [14].

Розрахунок проводять по наступним параметрам:

- зовнішній діаметр;
- середній діаметр;
- внутрішній діаметр.

Після чого на номінальні розміри калібра накладаються допуски на виготовлення й межові відхилення:

- на зовнішній діаметр – тільки межові відхилення;
- на середній діаметр – межові відхилення та межа зносу;
- на внутрішній діаметр – немає.

На рисунку 4.7 наведено схему розташування поля допусків калібру-пробки.

Розрахунок проводять наступним чином: визначають граничні розміри отвору ( $D_{\max}$ ,  $D_{\min}$ ). Для інструменту приймають значення допусків та відхилень відповідно до ДСТУ 2234-93.

У відповідності з вибраною схемою полів допусків для калібрів (рис. 4.7) розраховують номінальні розміри :

$$PP = D_{\min} + Z,$$

$$HE = D_{\max};$$

Розрахунок виконавчих розмірів гладких калібрів для контролю поверхні 55H7  
Визначаємо граничні розміри контрольованого отвору  
55H7+0,015 мм

$$D_{\max} = D_H + ES;$$

де  $D_{\max}$  найбільший граничний розмір, мм;

$D_n$  номінальний розмір, мм;

$ES$  – верхнє граничне відхилення, мм.

$$D_{\max} = 55 + 0.015 = 55.015 \text{ мм}$$

$$D_{\min} = D_n + EI;$$

де  $D_{\min}$  – найменший граничний розмір, мм;

$EI$  – нижнє граничне відхилення, мм;

$$D_{\min} = 55 + 0 = 55 \text{ мм}$$

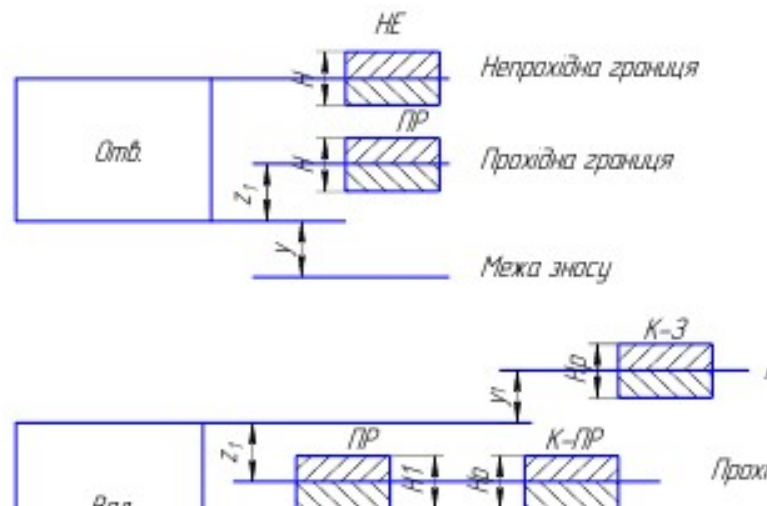


Рисунок 4.7 – Схема розташування полів допусків калібрів для номінального розміру  
55H7

Визначаємо допуски калібру - пробки

Данні на калібр приймаємо з довідників

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

Розмір прохідної сторони калібр-пробки:

$$P_{\max} = 55,325 \quad \text{допуск } -0.0025$$

Розмір непрохідної сторони калібру пробки:

$H_{E_{max}} = 10.01625$  допуск  $-0.0025$

Шорсткість робочої поверхні:  $Ra0.25$

На рисунку 4.8 наведена схема розташування полів допусків калібру.

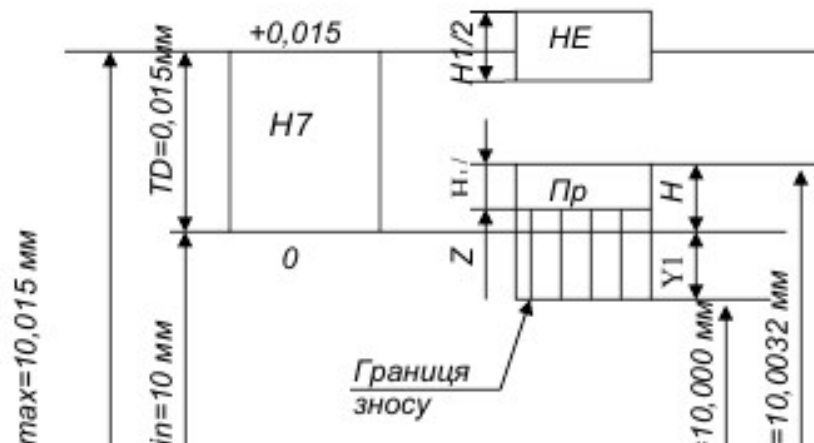


Рисунок 4.8 схема розташування полів допусків калібру

#### 4.10 Розроблення керуючої програми для операції ЧПК

Розроблення керуючої програми здійснюється для обробки поверхонь деталі з використанням прогресивного обладнання з ЧПУ. Процес обробки вимагає високої повторюваності результатів, оскільки виробництво виробів характеризується великосерійним типом виробництва.

Для розроблення керуючої програми розробляються моделі оброблення по переходам, що дає змогу вносити корекцію за певних обставин. На рисунку 4.9 відображення фрагменти автоматизованого програмування, а на рисунку 4.10 частина керуючої програми.



## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі висвітлюються аспекти забезпечення безпечних умов праці під час виготовлення деталі «Циліндр» у виробничих умовах. Основна мета заходів з охорони праці — запобігання травматизму, створення сприятливих умов роботи та зменшення впливу шкідливих факторів. Усі заходи узгоджуються з вимогами чинного законодавства України у сфері охорони праці та техніки безпеки.

### 4.1 Аналіз небезпек та їх попередження на машинобудівному підприємстві

Проведено аналіз факторів, які спричиняють професійні захворювання. Найбільш небезпечними виявилися фізичні чинники, зокрема вібрація і шум, які стають причиною 32% захворювань. Забруднення повітря пилом, газами та випарами становить 22%, вплив біологічних чинників (макро- і мікроорганізмів) — 12%, а інші фактори, такі як порушення ергономічних параметрів обладнання, — 11%.

Щорічні матеріальні збитки від різних нещасних випадків оцінюються в 2,1–2,2 млн грн. Через травматизм за обліковий період втрачається 19–20 тисяч людино-днів робочого часу. Коефіцієнт частоти травматизму, розрахований на 1000 працівників, становить 1,7–2,0. З урахуванням тривалості непрацездатності, коефіцієнт важкості травматизму знаходиться в межах 32–36.

Для запобігання зазначеним ризикам рекомендується впровадити такі заходи: обладнати техніку захисними кожухами, екранами та блокувальними пристроями, які виключають доступ до небезпечних зон, а також забезпечити регулярний контроль стану цих захисних засобів. Крім того, необхідно проводити інструктажі щодо правильного використання обладнання та забезпечувати працівників спеціальним одягом, рукавицями та іншими засобами індивідуального захисту.

Для зменшення рівня шуму та вібрації на машинобудівному підприємстві рекомендується: оснащувати обладнання шумоізолюючими кожухами для зниження

шуму під час роботи; застосовувати демпфуючі матеріали для поглинання вібрацій у конструкціях обладнання та його фундаментах; оновлювати або модернізувати застаріле обладнання, яке спричиняє підвищений рівень шуму та вібрацій; встановлювати глушники на вентиляційні та компресорні системи, а також впроваджувати технології, що знижують силу механічних ударів.

Організаційні заходи включають: розробку графіків роботи обладнання з високим рівнем шуму та вібрації, щоб зменшити тривалий вплив на працівників; створення ізоляційних зон для шумного обладнання (акустичні кабінки чи окремі приміщення); оптимізацію розташування техніки для мінімізації передачі шуму та вібрацій до сусідніх робочих зон; організацію перерв для працівників, які працюють у зонах з підвищеним шумом чи вібраціями, для зниження їх негативного впливу.

Працівникам рекомендується забезпечувати засобами захисту слуху, такими як шумозахисні навушники або беруші з відповідним рівнем шумоізоляції. Для мінімізації впливу вібрацій слід використовувати антивібраційні рукавички, обладнати робочі місця антивібраційними підлоговими покриттями або сидіннями. У виробничих приміщеннях доцільно застосовувати шумопоглинаючі матеріали для облицювання стін, стель і підлог.

Крім того, варто організувати зелені зони або встановити додаткові звукоізоляційні бар'єри між джерелами шуму та робочими місцями. Приміщення слід оснащувати вентиляційними та кондиціонерними системами, які не створюють додаткового шуму.

Необхідно посилити контроль за станом обладнання шляхом:

- Проведення регулярного технічного обслуговування для запобігання підвищенню рівня шуму або вібрацій через знос чи порушення правил експлуатації.
- Балансування обертових частин обладнання для зниження вібрацій.
- Своєчасної заміни амортизаторів, демпферів та інших компонентів, які поглинають вібрації.

- Навчання працівників правилам безпечної експлуатації обладнання з підвищеним рівнем шуму та вібрацій.

- Інформування працівників про ризики тривалого впливу шуму і вібрацій та про важливість використання засобів захисту.

Впровадження цих заходів сприятиме зниженню рівня шуму і вібрацій на підприємстві, створюючи комфортні та безпечні умови праці.

Для запобігання утворенню пилу та аерозолів у робочій зоні рекомендується:

- Встановлення локальних вентиляційних систем із фільтрами.
- Використання промислових пиłosосів для очищення робочих зон.
- Забезпечення працівників респіраторами відповідного класу захисту залежно від типу забруднень.
- Регулярне вологе прибирання приміщень для підтримання чистоти.

Для забезпечення безпечної роботи працівників у зонах підвищених температур рекомендується: встановлення вентиляційних систем та кондиціонування для забезпечення комфортної температури в виробничих приміщеннях;

Застосування теплоізоляційних матеріалів на трубопроводах, печах, обладнанні та інших джерелах тепла; облаштування робочих місць захисними екранами для відокремлення працівників від джерел високої температури; автоматизація технологічних процесів, що дозволяє скоротити час перебування працівників у зонах високими температурами; впровадження дистанційного керування обладнанням для мінімізації необхідності безпосереднього контакту з нагрітими поверхнями.

Для забезпечення належних умов варто облаштувати зони відпочинку з охолоджувальними системами для працівників, організувати перерви для відновлення фізичного стану персоналу, що працює в умовах підвищених температур. Слід запровадити гнучкі графіки роботи, які дозволять мінімізувати тривале перебування працівників у гарячих зонах, а також забезпечити їх питною водою та засобами для регідратації, зокрема спеціальними розчинами з електролітами.

Працівники мають бути забезпечені термостійким спецодягом, що зменшує вплив високих температур на організм. Крім того, необхідно використовувати виключно термостійкі рукавички, взуття та захисні окуляри під час виконання робіт поблизу нагрітих поверхонь чи джерел тепла.

Оснастити працівників теплоізолюючими підкладками або жилетами з охолоджувальними елементами, а також організувати контроль за умовами робочого середовища. Запровадити постійний моніторинг температур у виробничих приміщеннях для виявлення зон із критично високими температурами та регулярно перевіряти стан ізоляції обладнання й комунікацій. Встановити автоматизовані системи сигналізації для попередження про перевищення допустимого температурного режиму.

Проводити інструктажі щодо правил поведінки в умовах підвищених температур, інформувати працівників про симптоми теплового удару та порядок надання першої допомоги. Навчати правильного використання засобів індивідуального захисту та безпечної роботи з гарячими поверхнями чи речовинами.

У разі травмування слід забезпечити робочі місця аптечками, оснащеними засобами для надання першої допомоги при опіках і теплових ударах. Необхідно облаштувати зони доступу до охолоджувальних пристроїв, таких як вентилятори або охолоджувальні ванни для рук, а також гарантувати швидкий доступ до медичного персоналу в разі надзвичайних ситуацій.

Для захисту від статичної та атмосферної електрики рекомендується впровадити відповідні засоби і заходи в виробничий процес, повністю або частково. Потенціали зарядів, що утворюються внаслідок штучної статичної електрики, можуть досягати високих значень: до 40 кВ у ремінних передачах і стрічках конвеєрів, до 30 кВ під час механічної обробки пластмас і дерева, і до 12 кВ при розпилюванні фарб. У разі пробою повітряного прошарку, який відбувається при перевищенні пробивного опору сухого повітря (3000 кВ/м), виникає іскровий розряд. Це може спричинити вибух або пожежу, що є особливо небезпечним у виробничих умовах.

Для зниження ризику, пов'язаного з накопиченням статичної електрики, застосовуються заходи, що спрямовані на зменшення її утворення та ефективно усунення зарядів:

Зменшення генерації зарядів: підбір матеріалів, оптимальний вибір пар тертя або їх змішування, щоб у процесі тертя один матеріал заряджався позитивно, а інший – негативно. Наприклад, використання комбінованих матеріалів, таких як нейлон і дакрон. Дакрон є універсальним матеріалом, що знаходить застосування в промисловості, медицині та побуті.

Зміна технологічних режимів: зменшення швидкості обробки, транспортування, зливу діелектричних рідин та зниження сил тертя.

Усунення накопичених зарядів: заземлення електропровідних частин обладнання з опором заземлення не більше 100 Ом. Для цього використовуються заземлені ділянки трубопроводів збільшеного діаметра на вході, що сприяє стіканню зарядів у землю.

Підвищення вологості приміщень: у зонах з високим ризиком накопичення статичної електрики збільшують вологість повітря. Для покращення провідності матеріалів додають графіт, ацетиленову сажу, алюмінієвий порошок, а до рідин – спеціальні добавки. Використовуються нейтралізатори статичної електрики: пристрої коронного розряду, радіоізотопні, аеродинамічні або комбіновані, які іонізують повітря та нейтралізують заряди.

Засоби індивідуального захисту: антистатичні халати, взуття з електропровідною підошвою, антистатичні браслети тощо.

Для захисту від атмосферної електрики, зокрема блискавок, які становлять велику загрозу для людей, будівель і обладнання, застосовується комплекс заходів:

Громовідводи: одиночні або подвійні стрижньові громовідводи, багатократні стрижньові громовідводи, тросові громовідводи. Регламентація захисту від блискавок: проектування та монтаж захисту виконуються згідно з нормативними документами, такими як «Інструкція по захисту від блискавок будівель і споруд». Контроль стану засобів захисту покладається на службу головного енергетика та електриків

підприємства. Комплексний підхід до захисту від статичної електрики та блискавок дозволяє забезпечити безпеку виробничих процесів, захист персоналу та збереження навколишнього середовища, а також запобігає виникненню пожеж і вибухів. Дотримання цих заходів сприяє покращенню умов праці, зниженню ризиків і забезпеченню здоров'я та безпеки працівників.

Аналіз статистичних даних показав, що основними причинами нещасних випадків стали такі фактори: недоліки в організації робіт і операцій – 15%; порушення виробничої дисципліни – 12%; порушення технологічних процесів – 10%; недостатня якість програм і організації навчання з охорони праці – 9%; неналежне утримання та стан робочих місць – 7%; порушення вимог безпеки при експлуатації транспортних засобів – 7%; несправність або невикористання засобів індивідуального захисту – 7%; поганий технічний стан виробничих будівель, споруд і майданчиків – близько 6% тощо.

Найбільш поширені події, що призводять до травмування: удари об деталі, заготовки під час обертання чи поступального руху, а також падіння – 23%; падіння з висоти – 20%; вплив екстремальних температур – 11%; дорожньо-транспортні пригоди – 15%; контакт із сільськогосподарськими тваринами – 5%; дія небезпечних факторів стихійного лиха – 3%; ураження електричним струмом – 3% тощо.

#### 4.2 Порівняльний аналіз стану виробничого травматизму у галузі машинобудування

Машинобудування є однією з ключових галузей сучасного виробництва, яка забезпечує виготовлення засобів виробництва та предметів праці, створюючи передумови для розвитку інших секторів економіки. Аналізуючи стан охорони праці у цій галузі, важливо врахувати її різноманітні напрями діяльності. Сфера машинобудування охоплює підприємства з виробництва готових металевих виробів, комп'ютерів, електронної продукції, електротехнічного обладнання, машин і

механізмів, включаючи автотранспорт, причепи та їх модифікації. Також галузь включає монтаж і ремонт машин та виготовлення іншої продукції. Станом на сьогодні машинобудування залишається серед галузей із високим рівнем виробничого травматизму, зокрема із летальними випадками. У цій сфері зафіксовано 364 постраждалих. За цим показником машинобудування посідає четверте місце після таких галузей:

Соціально-культурна сфера та торгівля – 958 постраждалих.

Вугільна промисловість – 752 постраждалих.

Агропромисловий комплекс – 458 постраждалих.

Ці дані свідчать про необхідність посилення заходів з охорони праці та зменшення ризиків травмування у машинобудівній галузі.

Машинобудівна промисловість у будь-якому суспільстві виступає основою економічного зростання та загального розвитку господарства. Від ефективності роботи підприємств цього сектору залежить соціальний і економічний прогрес країни.

Аналіз травмонебезпечних і шкідливих факторів на виробництві свідчить про значну кількість небезпечних зон, об'єктів, ситуацій і обставин у машинобудуванні. Найбільше травмування відбувається під час виконання технологічних операцій з обробки металу, а також допоміжних і додаткових робіт.

Основними причинами нещасних випадків у галузі є:

- Організаційні чинники – від 57% до 68% випадків. Це включає недоліки у сфері організації праці та відпочинку, недостатнє навчання та інструктаж, відсутність або неправильне використання засобів індивідуального захисту, порушення вимог безпеки при експлуатації обладнання, проблеми з виробничою дисципліною тощо.

- Технічні причини – від 11% до 22%. Сюди належать конструктивні недоліки, низька надійність технічних засобів, їх невідповідність вимогам безпеки, а також незадовільний технічний стан обладнання.

- Психофізіологічні чинники\*\* – від 16% до 27%. Це перевантаження (фізичне або нерве), недоліки органів чуття, недостатній досвід працівників, погіршений психофізіологічний стан, випадки сп'яніння тощо.

Хоча загальний рівень виробничого травматизму в Україні демонструє тенденцію до зниження порівняно з попередніми роками, рівень травматизму у машинобудівній галузі залишається стабільно високим.



Рисунок 4.1 – Аналітична блок-схема, що відображає процеси формування небезпечних, аварійних та катастрофічних ситуацій у машинобудівній галузі

Є багато чинників які впливають на стан виробничого травматизму саме у машинобудівній галузі, але основним є людський. Контроль безпеки праці і підтримка з боку держави та діяльність органів нагляду за станом охорони праці зменшує кількість випадків травматизму. Завдяки злагодженій дії усіх зацікавлених (стейкхолдерів) у належних умовах праці можна забезпечити значне зниження показників травмування працівників. Саме розробка нових підходів, на основі міжнародного досвіду, прийняття законів органами законодавчої влади, розроблення

сучасних інструкцій з охорони праці, запровадження систем запобігання травматизму дасть змогу виявити організаційні і конструктивні недоліки, запобігати їх розвитку і нейтралізувати їх негативний вплив для контролю безпечності виробництва, безпечної роботи працівників галузі машинобудування. Тобто йдеться про необхідність системного підходу і вирішення проблем виробничого травматизму на основі комплексного застосування різних методів і розробки конкретних науково-обґрунтованих рекомендацій для профілактики нещасних випадків і професійних захворювань.

#### 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**

### **Список джерел посилання**

1. Василь Попович. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Навч. посібник для ВНЗ: у 2-х кн. Книга 1. (Частина I, II, III). – Львів: Вид-во Папуга, 2003. – 264 с.

2. Статистичні дані виробничого травматизму за галузями у 2016-2018 рр. URL: <http://dsp.gov.ua/статистичні-дані-виробничого-травма-2> / (дата звернення: 20.11.2019).
3. Панченко І. В. Соціально-економічне управління умовами та охороною праці на промисловому підприємстві: Дис... канд. наук: 08.09.01 2007. 193 с
4. 3. Проектування технологічних процесів складання вузла і виготовлення деталі. Методичні вказівки з курсового проектування по технології машинобудування. ТУП. Хмельницький, 2001, - 109с.
5. Гордеев А.І., Урбанюк Е.А., Курсове та дипломне проектування з технології машинобудування та металорізальних верстатів. ХНУ. Хмельницький, 2005, - 294 с
6. Штефан Є.В, Литвиненко О.А. Технологічні основи машинобудування: Конспект лекцій для студ. за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», 6.050503 «Машинобудування» денної та заочної форм навч. – К.: НУХТ, 2013. – 176 с
7. Основи технології машинобудування. Частина 1: навчальний посібник / О. В. Дерібо — Вінниця : ВНТУ, 2013. — 125 с.