

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Механіко-машинобудівний факультет
Кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства

До Замовника

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеня магістра

Здобувача вищої освіти Бурчака Олександра Олександровича
(п.п.б.)







академічної групи 131м-23н-1 ММФ
(шифр)

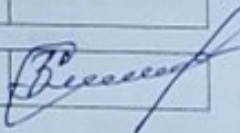
спеціальності 131 Прикладна механіка

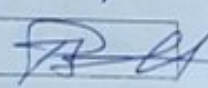
за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

на тему: «Розробка автоматизованого процесу виготовлення та
дослідження міцності деталі «Циліндр» методами комп'ютерного
моделювання»

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Алексєєнко С.В.	75	добре	
розділів:				
Аналітичний	Алексєєнко С.В.	75	добре	
Технологічний	Алексєєнко С.В.	75	добре	
Спеціальний	Алексєєнко С.В.	75	добре	
Науково- дослідницький	Алексєєнко С.В.	75	добре	

Рецензент	<u>Сазанівський З.В.</u>	76	добре	
-----------	--------------------------	----	-------	---

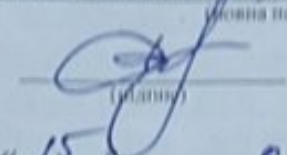
Нормоконтролер	<u>Рубан В.М.</u>	75	добре	
----------------	-------------------	----	-------	---

Встановлено, що матеріали даної кваліфікаційної роботи містять чутливу інформацію щодо реальних об'єктів критичної інфраструктури України, національної безпеки і оборони України, зокрема відомості про їх місце розташування, службове призначення, конструкторську і технологічну документацію, описи конструкторських матеріалів та їх властивості, іншу додаткову літературу та посилання. У зв'язку з чим такі матеріали не підлягають відкритому оприлюдненню та мають зберігатися відповідно до встановленого режиму закладом освіти.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри

технологій машинобудування та матеріалознавства


(повна назва)
В.А. Дербоба
(ініціали та прізвище)
« 15 » 01 2025 року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеня магістра

здобувачу вищої освіти Бурчаку Олександр Олександровичу
(прізвище та ініціали)

академічної групи 131М-23Н-1 ММФ
(шифр)

спеціальності 131 Прикладна механіка

спеціалізації за освітньо-науковою програмою «Наскрізний інжиніринг
машинобудівного виробництва»

1 ПІДСТАВИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

Наказ ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 28.04.25 №317-с

2 МЕТА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОБІТ

Об'єкт досліджень – технологічний процес виготовлення та контролю якості деталі типу «Циліндр» в умовах дрібносерійного машинобудівного виробництва.

Предмет досліджень – методи автоматизації обробки деталі «Циліндр», включаючи проектування технологічного процесу, розробку маршруту обробки на верстатах з ЧПК, створення спеціального оснащення та комп'ютерне моделювання її міцності.

Мета – розробити оптимізований автоматизований технологічний процес виготовлення деталі «Циліндр», який забезпечує високу точність, мінімізацію витрат часу на обробку та надійність деталі шляхом комп'ютерного дослідження її міцності.

Вихідні дані для проведення роботи – 1) робоче креслення деталі «Циліндр»; 2) заготівка – круглий прокат за ДСТУ 19807-91; 4) стандарти Єдиної системи технологічної документації, нормативи режимів різання, матеріальні та трудові нормативи; 5) розрахункові навантаження: внутрішній тиск – 20 МПа.

3 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Новизна – Запропоновано та обґрунтовано новий маршрут обробки із використанням автоматизованих засобів керування та вимірювання, що дозволяє значно знизити час на обробку та підвищити точність виготовлення.

Практична цінність – Результати можуть бути впроваджені на машинобудівних підприємствах для покращення ефективності виготовлення циліндричних деталей, підвищення точності обробки, зниження браку та мінімізації людського фактору у вимірювальному контролі.

4 ВИМОГИ ДО РЕЗУЛЬТАТІВ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Результати виконання роботи мають включати повний автоматизований технологічний процес виготовлення деталі «Циліндр», розроблений на основі комп'ютерного моделювання та з урахуванням вимог дрібносерійного виробництва; проведення аналізу міцності деталі із використанням CAE-систем; підтвердження ефективності розроблених технічних рішень і їх відповідність нормам точності, продуктивності та безпеки.

5 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОБІТ

Найменування етапів робіт	Строки виконання робіт (початок-кінець)
Аналітичний розділ	29.01.2025-25.02.2025
Технологічний розділ	26.02.2025-24.03.2025
Спеціальний розділ	25.03.2025-21.04.2025
Науково-дослідницький розділ	22.04.2025-19.05.2025

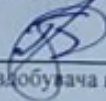
Завдання видано


(підпис керівника)

С.В. Алексеєнко
(ініціали та прізвище)

Дата видачі 15 січня 2025 р.

Дата подання до екзаменаційної комісії 9 травня 2025 р.

Прийнято до виконання 
(підпис здобувача вищої освіти)

О.О. Бурчак
(ініціали та прізвище)

Технічний прогрес здійснюється не тільки на основі застосування нових науково-технічних досягнень. Він базується і на широкому використанні вже визначених напрямків в розвитку техніки і характеризується не тільки безперервною появою принципово нових технологічних процесів, але й безперервною заміною існуючих процесів більш продуктивними і економічними.

У цій роботі розроблений технологічний процес механічної обробки деталі «Циліндр».

Технологічний процес механічної обробки проектується на основі робочого креслення деталі і складального креслення виробу або складальної одиниці, технічних умов на виготовлення виробу.

Вибір оптимального варіанту технологічного процесу, тобто процесу, найбільш вигідного для даних конкретних умов, що забезпечує найбільшу продуктивність при найменшій собівартості обробки, вимагає в ряді випадків розрахунку економічної ефективності і порівняння економічних варіантів обробки. Вибір оптимального варіанту в значній мірі залежить від обсягу випуску, виробничих можливостей підприємства і умов проектування.

Інформаційною основою при розробці технологічних процесів є: технологічний класифікатор об'єкта виробництва, класифікатор технологічних процесів, система позначень технологічних документів, стандарти Єдиної системи технологічної документації, типові технологічні процеси і операції, стандарти і каталоги на засоби технологічного оснащення, нормативи технологічних режимів, матеріальні та трудові нормативи.

Робота пов'язана з науковим напрямом кафедри технологій машинобудування та матеріалознавства та виконана відповідно договору про співпрацю та договором про нерозголошення конфіденційної інформації та комерційної таємниці з ТОВ «ДТМ-ІНЖИНІРИНГ».

ЗМІСТ

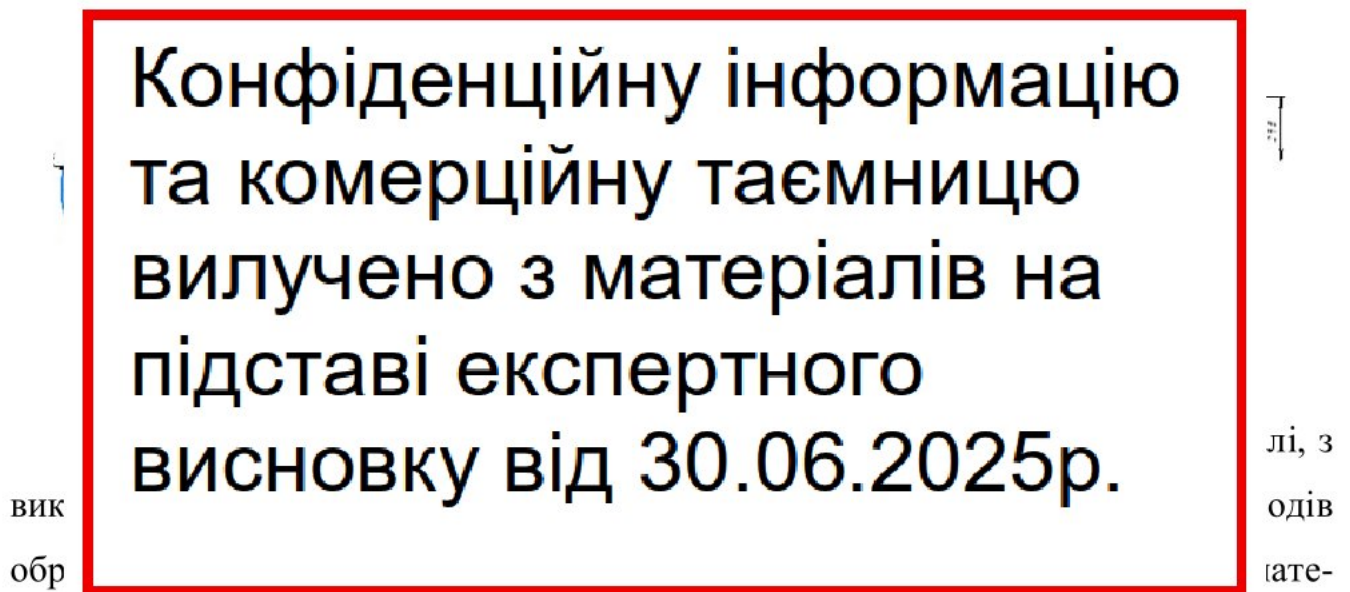
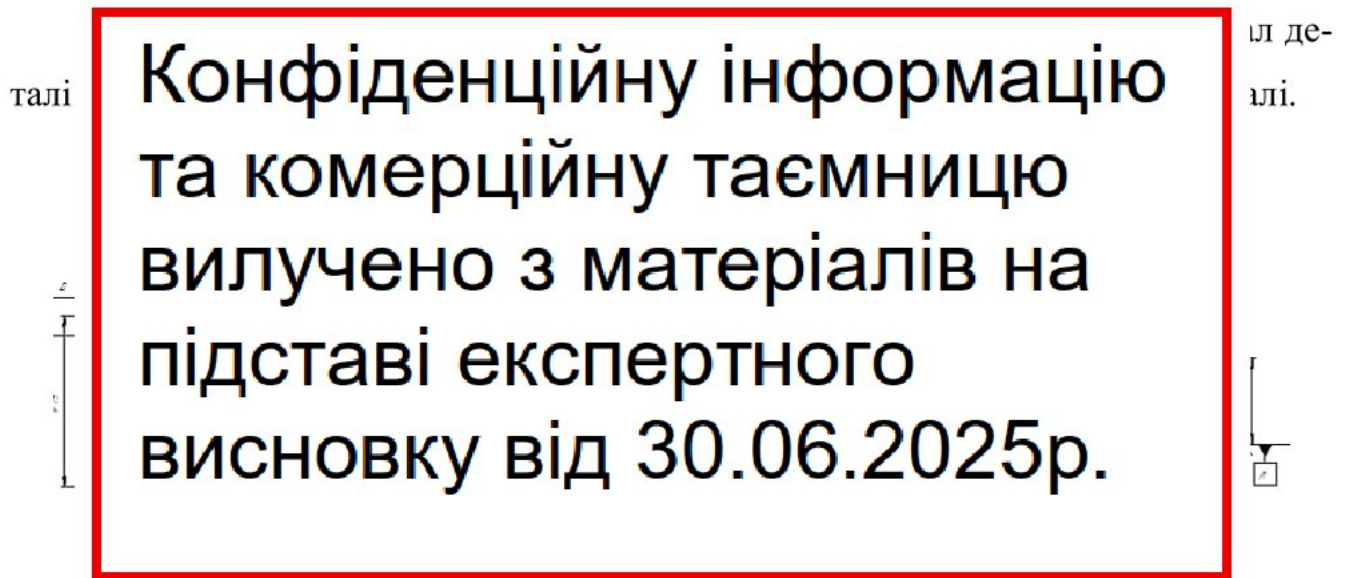
Вступ.....	5
1 Аналітичний розділ	7
1.1 Технологічний контроль робочого креслення деталі і технічних вимог.....	7
1.2 Технічна характеристика об'єкту виробництва деталі «Циліндр».....	8
1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі «Циліндр».....	9
2 Технологічний розділ.....	11
2.1 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки деталі «Циліндр».....	11
2.2 Визначення методів обробки поверхонь деталей «Циліндр».....	12
2.3 Розробка та обґрунтування маршруту виготовлення деталі «Циліндр».....	13
2.4 Детальна розробка маршруту обробки деталі «Циліндр».....	16
2.5 Автоматизація механічної обробки деталі «Циліндр» в середовищі Feature Cam і SOLIDWORKS.....	25
3 Спеціальний розділ.....	30
3.1 Проектування верстатного пристосування.....	30
3.2 Проектування спеціального контрольного пристрою.....	34
4 Науково-дослідницький розділ.....	37
4.1 ANSYS Static Structural.....	37
4.2 Підготовка необхідних даних для симуляції.....	37
4.3 Математична постановка задачі.....	38
4.4 Побудова моделі.....	40
4.5 Розрахунок характеристик на міцність.....	42

Висновки.....	50
Перелік посилань.....	51
Додаток 1. Специфікація верстатного пристосування.....	52
Додаток 2. Специфікація контрольного пристосування.....	54
Додаток А Робочий кресленик.....	55

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технологічний контроль робочого креслення деталі і технічних вимог

Робоче креслення повинно давати повне уявлення про деталь, мати достатню кількість проєкцій, перетинів і видів; розміри всіх поверхонь із допусками на їхнє виконання; технічні вимоги за формою й розташуванням поверхонь; а також за їхніми специфічними властивостями. Креслення за оформленням повинно відповідати стандартам ЕСКД.



ріалу, який використовується і технологічні вимоги до нього з точки зору умов обробки і експлуатації.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

дбувається роз фіксація замка підкоса. Після цього складається підкіс забирається в нішу шасі разом зі стійкою;

Після повного прибирання шасі спрацьовує мікровимикач прибраного положення носової опори шасі і підключений до джерела живлення на електромагнітний клапан випуску, який при цьому переключасться в положення "повного тиску". Зворотний потік рідини з порожнини випуску гідроциліндрів проходить через електромагнітний клапан випуску і повертається в бак. Повний тиск, що діє

в порожнині прибирання поршнів гідроциліндрів, утримує шасі в повністю прибраному положенні.

1.2

ром
поє
заб
ся

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

ет-
на
ка
зь-
іє-
за-
іч-

кат
но-

ний склад сплаву наведено в таблиці

Табл.

78,4

даюг

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

1030

6-8

14-20

200-250

285

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

22: висока
додатковими
температурної, тем
°С. Відп
впливаюч

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

і на ос
перет
ня зна
фазної
ільного

оохолодження з температури відпалу сплав має порівняно рівноважну $\alpha + \beta$ - структуру з приблизно однаковою кількістю α - і β - фаз.

1.3 Аналіз технологічності конструкції деталі «Циліндр»

Склад робіт по забезпеченню технологічності конструкції виробів на всіх стадіях їх створення встановлюється Єдиною системою технологічної підготовки виробництва. Розрізняють виробничу, експлуатаційну та ремонтну технологічність. Єдиним критерієм технологічності конструкції виробу є її економічна доцільність при заданій якості і прийнятих умовах виробництва і експлуатації.

На етапі проектування технологічного процесу механічної обробки коли конструкторські документи вже затверджені і не підлягають радикальній зміні, доцільно проводити якісний аналіз технологічності конструкції деталі з метою узагальнено, на підставі досвіду виконавця, встановити ступінь відповідності між показниками якості і прийнятими умовами виробництва. Кількісну оцінку виконують за деякими показниками, щоб охарактеризувати ступінь задоволення вимог до технологічності конструкції.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

В даному випадку відношення дорівнює 7,05 що менше граничного значення – 12. Отже, вал жорсткий і обмежень по режимам різання для ефективної механічної обробки немає.

Вимоги до основних конструкторських баз деталі і внутрішньої поверхні не є завищеними і відповідають службовому призначенню деталі.

Застосований матеріал забезпечує виконання вимог до механічних влас-

ти

пс

лс

лі

ге

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

и

а-

а-

о-

2.ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Вибір та обґрунтування методу отримання заготовки деталі «Циліндр»

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати призначення і конструкцію деталі, технологічні вимоги, масштаб і серійність випуску, а також економічність виготовлення. Вибрати заготовку – означає встановити спосіб її отримання, призначити припуски на обробку кожної поверхні, розрахувати розміри і вказати вимоги до точності виготовлення

Заводі, в у
Ø95
пильном
товки за
пусками
лі.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

кату. На за-
лий прокат
ний кругло
мання заго-
ченими при-
лення дета-

У зв'язку з тим, що на заводі виготовляються малі партії деталей, такий вид заготовки та метод її отримання себе виправдовує, оскільки обладнання та оснащення для методу штампування без облою є дорогими. Конфігурація заготовки приведена на рисунку.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Розрахункова маса заготовки дорівнює:

$$m = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot L}{4000} \cdot \rho$$

(1.2)

де

D – діаметр (товщина);

L – довжина;

ρ – густина прутка.

$$m = \frac{3,14 \cdot 9,5^2 \cdot 45,5}{4000} \cdot 4,505 \cdot 10^3 = 15,14 \text{ кг}$$

2.2 Вибір загальних припусків та визначення розмірів заготовки з допусками

Загальний припуск – шар металу, видаляється при виконанні всіх технологічних операцій, з метою отримання нових поверхонь з заданими малюнком якістю і точністю.

Розмір поверхні	Шорсткість Ra, мкм	Загальний припуск на сторону, мм	Допуск, мм	Розрахований розмір заготовки з допуском, мм	Прийнятий розмір заготовки з допуском, мм
Ø90h14	3,2	2,6 · 2	$\begin{matrix} +1,6 \\ -0,9 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +1,6 \\ \text{Ø}95,2 - 0,9 \end{matrix}$	$\begin{matrix} +1,6 \\ \text{Ø}95 - 0,9 \end{matrix}$
452	12,5	3,0 – 2,8	±1,4	455,2 ±1,4	455 ±1,4

2.2 Визначення методів обробки поверхонь деталей «Циліндр»

При визначенні маршруту виготовлення деталі орієнтуємося на вид заготовки і її точність. Кількість технологічних операцій, їхня концентрація буде зумовлюватись методами обробки поверхонь, які визначаються з огляду на необхідний квалітет розміру, параметр шорсткості й умови оброблюваності титанових ливарних сплавів. Перелік поверхонь, їх розміри і методи обробки, які забезпечують виконання вимог креслення, наведено в таблиці

Вид поверхні, розмір, мм	Квалітет	Шорсткість Ra, мкм	Метод обробки поверхні
Зовнішня Ø 84 _{-0,3}	11	3,2	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішня	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>		
Внутріш			
Зовнішня			
Зовнішня			
Зовнішня Ø72 _{-0,5}	11	3,2	Точіння чорнове Точіння чистове
Зовнішня Ø94 _{-0,3}	11	3,2	Точіння чорнове
К	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>),3
Внутр			іве ве
Внутр			іве ве
Фаска			
Зовні			е е
Зовнішня Ø81 _{-0,5}	11	3,2	Точіння чистове
Контролювати розміри	<div style="border: 2px solid red; padding: 10px;"> <p>Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.</p> </div>		2×45
Внутрішня Ø 8			іе е

Внутрішня Ø 13	11	3,2	Розточування
Внутрішня Ø 10 ^{+0,015}	6	0.8	Зенкувати

Внутріш

Внутріш

Внутріш
5H6H

Контро

Внутріш

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Внутріш

Внутріш

Внутріш

Фаска 4±

Внутріш

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Фаска 1x30

Внутрішня

Ко

Зовнішня (

Зовнішня (

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Зовнішня

Зовнішня

Зовнішня

Зовнішня
Ø40;48;28;

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Зовнішня

Фаска 1±0,2

Внутрішня

Внутрішня

Внутрішня

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Внутрішня

Зовнішня

Внутрішня

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

2.3 Розробка та обґрунтування маршруту виготовлення деталі «Циліндр»

Відповідно до типового маршруту виготовлення деталей при механічній обробці, на першій операції необхідно підготувати технологічні бази для подальшої обробки. Технологічними базами при обробці деталі «Циліндр» будуть дві торцеві поверхні. Так як деталь має значну довжину доцільно використовувати центр та люнет при її обробці.

Технологічний маршрут обробки деталі «Циліндр» наведено в таблиці

№ оп..	Найменування операції	Стислий зміст операції	Модель верстата
05	Токарна	Зовнішня обробка деталі з правого боку	SUI
010	Токарна	Зовнішня обробка деталі з лівого боку	SUI
015	Токарна	Свердлування внутрішньої поверхні	SUI
020	Токарна	Зовнішня обробка деталі	SUI
025	Токарна з ЧПУ	Внутрішня обробка отвору з правого боку	Weiler E50
030	Токарна з ЧПУ	Внутрішня обробка отвору з лівого боку	Weiler E50
035	Токарна з ЧПУ	Повна обробка отвору з правого боку	Weiler E50
040	Токарна з ЧПУ	Зовнішня обробка деталі	Weiler E50
045	Токарна з ЧПУ	Повна зовнішня обробка вала з лівого боку	Weiler E50
050	Фрезерна з ЧПУ	Фрезерування отворів і поверхонь	Multicut
055	Контрольна	Комплексний контроль деталі	

2.4 Детальна розробка маршруту обробки деталі «Циліндр»

Операція 020 токарна

Операція виконується на токарному верстаті SUI оснащеному восьмипозиційною револьверної головкою, операція виконується за 3 технологічних переходів. Де-

т:

н

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

На першому переході виконується встановлення люнета і чорнове точіння діаметра 45 мм різцем MTQNR2020K16N з пластиною TNMM.

На другому переході знімаємо люнет і встановлюємо центр потім точимо діаметр 72 різцем MTENN2020K16N з пластиною TNMM.

На третьому переході точимо діаметр 94мм і радіус 2 мм. Різцем PCLNR1616H09 з пластиною CNMG.

Розрахунок режимів різання виконуємо за методикою наведеною в [9] з посиланнями на відповідні таблиці.

Коротка характеристика верстата:

1. Найбільший оброблюваний діаметр, мм

над станиною 630

над супортом 350

2. Найбільша довжина обробки, мм

600

3. Головка шпинделя ISO 702 / III

B11

4. Піноль

	Діаметр 110
	Хід 180
5. Ряд чисел оборотів шпинделя в хвилину	безступінчате регулюються-вання.
6. Подача супорта, мм / хв (б / с)	поздовжня 0,01-20,47 поперечна 0,005-10,23
7. Потужність електродвигуна, кВт	1,8

Вихідні дані: максимальна глибина різання 1,3 мм (див. Табл. 3.2 і 4.2), перетин державки різця Ø10 мм, максимальний діаметр обробки 45мм, інструментальний матеріал - ВК8

Рекомендоване значення подачі при чорновому точінні 0,3 мм / об [9. табл. 26]. Дане значення уточнюється за змінним умовами обробки за формулою:

$$S_0 = S_{om} \cdot K_{sn} \cdot K_{su} \cdot K_{s\phi} \cdot K_{s3} \cdot K_{sжс} \cdot K_{sm}$$

де

S_{om} - табличне значення подачі на оборот (0,3);

K_{sn} - коефіцієнт, що враховує стан поверхні (0,8);

K_{su} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту (1,0);

$K_{s\phi}$ - коефіцієнт, що враховує форму оброблюваної поверхні(0,7);

K_{s3} - коефіцієнт, що враховує вплив загартування (1,0);

$K_{sжс}$ - коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи (0,45);

K_{sm} - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу (1,07).

Отже, підставивши значення в формулу (6.1) отримаємо

$$S = 0,3 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 0,45 \cdot 1,07 = 0,051$$

Для даного верстата подача регулюється безступінчато.

По таблиці 36 [9], призначається швидкість різання 290 м / хв. Дане значення уточнюється за змінюваних умов обробки за формулою:

$$V = V_m \cdot K_{vm} \cdot K_{vu} \cdot K_{vy} \cdot K_{vt} \cdot K_{vж} \cdot K_{vn} \cdot K_{vo}$$

де,

V_m - матричний значення швидкості різання (290);

K_{vm} - коефіцієнт, що враховує марку оброблюваного матеріалу (1,1);

K_{vu} - коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту (0,83);

K_{vy} - коефіцієнт, що враховує кут в плані (0,81);

K_{vt} - коефіцієнт, що враховує вид обробки (0,6);

$K_{vж}$ - коефіцієнт, що враховує твердість технологічної системи (0,4);

K_{vn} - коефіцієнт, що враховує стан оброблюваної поверх-ності (0,85);

K_{vo} - коефіцієнт, що враховує вплив МОР (0,8).

Отже

$$V = 290 \cdot 1,1 \cdot 0,83 \cdot 0,81 \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 35 \text{ м/хв.}$$

За розрахункової швидкості різання визначаємо потрібну частоту обертання шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi d} = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 19,8} = 564 \text{ об/хв.}$$

Швидкість на даному верстаті регулюється без поступово.

Визначаємо основний час на виконання переходу:

$$T_0 = \frac{L_{p.x.}}{n \cdot S} \cdot i$$

де $L_{p.x.}$ - довжина робочого ходу інструмента по траєкторії руху (20 мм).

$$L_{p.x.} = L_p + l_v + l_n$$

i - число робочих ходів.

Тоді

$$T_0 = \frac{20}{563 \cdot 0,051} \cdot 1 = 0,7 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків режимів різання для всіх інструментальних переходи наведені в таблиці.

Номер переходу	t, мм	S, мм/об	V, м/хв	Lp. х., мм	n, об/хв	T ₀ , хв	T _в , хв
1	1	0,4	100	5	800	0,03	0,38
2	1	0,19	130	15	500	0,43	0,27
3	1,3	0,19	150	17	560	0,7	0,32

Операція 05- «Токарна»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПУ SUI, виконується токарна обробка торця і свердління внутрішнього отвору.

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	2	0,09	17	250
2	5	0,3	145	350
3	1	0,2	100	250

Операція 010- «Токарна»

Операція виконується на токарному верстаті SUI, виконується зовнішня обробка деталі з лівого боку

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,09	17	900
2	2	0,4	80	180
3	1	0,4	80	180

Операція 015- «Токарна»

Операція виконується на токарному верстаті SUI, виконується свердлування внутрішньої поверхні

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,2	100	210
2	1	0,2	100	210
3	1	0,4	20	130
4	1	0,2	100	210
5	1	0,2	100	210

Операція 025 - «Токарна з ЧПК»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК Weiler E50, виконується внутрішня обробка отвору з правого боку

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,4	20	130
2	1	0,4	20	130
3	1	0,3	100	900
4	1	0,4	210	100
5	1	0,4	80	300

Операція 030 - «Токарна з ЧПК»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК Weiler E50, виконується внутрішня обробка отвору з лівого боку

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,4	60	800

2	1	0,1	20	700
3	1	0,4	60	700
4	1	0,15	50	1500
5	1	0,15	50	1500
6	1	0,2	80	100
7	1	0,4	80	800
8	1	0,4	60	700
9	1	0,4	60	700
10	1	0,15	10,5	205
11	1	0,4	100	210
12	1	0,15	80	200

Операція 035 - «Токарна з ЧПК»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК Weiler E50, виконується повна обробка отвору з правого боку

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,4	100	210
2	1	0,15	50	1500
3	1	0,15	50	1500
4	1	0,15	50	1500
5	1	0,15	50	1500
6	1	0,15	50	1500
7	1	0,2	100	400
8	1	0,4	100	210
9	1	0,2	600	150
10	1	0,2	600	150
11	1	0,2	100	80

12	1	0,2	100	80
13	1	0,4	100	210
14	1	0,4	100	210
15	1	0,2	100	400
16	1	0,2	80	180

Операція 040 - «Токарна з ЧПК»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК Weiler E50, виконується зовнішня обробка деталі

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,4	80	180
2	1	0,4	80	180
3	1	0,4	80	100
4	1	0,4	100	180
5	1	0,4	27	150
6	1	0,4	80	100
7	1	0,4	80	100

Операція 045 - «Токарна з ЧПК»

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПК Weiler E50, виконується повна зовнішня обробка вала з лівого боку

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,4	100	210
2	1	0,4	100	180
3	1	0,4	100	180

4	1	0,4	100	180
5	1	0,4	80	100
6	1	0,4	100	180
7	1	0,3	140	500
8	1	0,15	80	200
9	1	0,4	100	210
10	1	0,2	100	100
11	1	0,4	100	180
12	1	0,4	80	100
13	1	0,4	80	100
14	1	0,2	20	160

Операція 050 - «Фрезерна»

Операція виконується на фрезерному верстаті з ЧПУ Multicut, виконується свердління отворів і фрезерування пазів.

Характеристика переходу				
перехід	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, об/хв
1	1	0,15	50	1500
2	1	0,15	50	1500
3	1	0,15	80	1800
4	1	0,15	80	1800
5	1	0,15	50	1500
6	1	1,5	6	310
7	1	0,8	80	1200
8	1	0,8	80	1200
9	1	0,8	80	1200
10	1	0,15	50	1500

Основні переваги пакету FeatureCam:

- Гнучкі стратегії чорнової і чистової обробки;
- Висока швидкість розрахунку керуючих програм;
- Автоматизована оптимізація подач для скорочення часу про-ництва;
- Інтегровані засоби візуалізації обробки;
- Перевірка і виключення зарізів;
- Імпорт твердо тільних, поверхневих , а також каркасної геометрії в різних форматах: AutoCAD, STL, STEP, IGES, Parasolid;
- Автоматичне розпізнавання типових елементів (отвори, кишені і т.д.) і їх обробка;
- Закриття отворів і пазів для виключення їх обробки;
- Гнучкий механізм кордонів для обмеження зони обробки;
- Генерація карт налагодження для керуючих програм;
- Контроль зіткнень з урахуванням патрона, інструменту, органів верстата і управління.

Створення моделі і симуляція обробки деталі

На початку створюємо тривимірну твердо тільну модель деталі за допомогою CAD програми SOLIDWORKS. Тривимірна модель деталі служить не тільки для кращої візуалізації, але і по ній в кінцевому підсумку проводять порівняння після

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Моделі заготовки необхідно експортувати в перехідній формат Parasolid (*.X_B). Моделі в цьому форматі потім можна імпортувати в FeatureCam.

В основі вибору стратегії обробки варто розрахунок мінімального основного технологічного часу, тому що економічний ефект буде багато в чому визначатися саме часом обробки. Для даної заготовки виберемо верстат, який є в базі програми, тому що це демонстраційна версія. У пакеті Feature CAM існує утиліта для створення моделі верстата, завдяки якій можна створити модель будь-якого токарно-фрезерного верстата в умовах реального виробництва. Також в програмний комплекс входить утиліта для написання і редагування постпроцесорів.

Проводимо токарних операцію. Як ріжучий інструмент застосовуються чистові і чорнові токарні різці зі змінними пластинами і спеціальною геометрією для

01

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

генерація керуючої програми. Частина цієї програми представлена на рис.10 :

```
N15; (TURN TRANSFER ПОД_ВКЛ1)  
N20 G18 G71 G90 G94  
N25 G1  
N30 Home  
N35 TLCH1("1", 0., 0.)  
N40 D1  
N45 MCTURNS1  
N50 G64
```

```
N55 M118 M126
N60 M1=42
N65 G97 S1=2147483648 M1=3 M3=
N70 G0 Z1=
N75 X1=
N80 Home
N85 M01
N90 ; ( MAIN SPINDLE, TURNING )
N95 ; ( ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N100 G18 G90 G95
N105 G1
N110 TLCH1("1", 0., 0.)
N115 D1
N120 MCTURNS1
N125 G64
N130 M118 M126
N135 M1=42
N140 LIMS=2200
N145 G97 S1=567 M1=3 M3=M8
N150 G0 Z1=-254.1
N155 X1=47.7
N160 G96 S1=170
N165 G1 Z1=-353.5 F0.4
N170 X1=48.2
N175 X1=49.614 Z1=-352.914
N180 X1=50.2 Z1=-351.5
N185 X1=50.554 Z1=-351.146
N190 G0 Z1=-254.1
```

Рисунок 10 – Фрагмент управляючої програми для верстата з ЧПК.

Висновок: дані технічні можливості програм і обладнання на сьогоднішній день дозволяють виключити на 90% можливість появи небажаного браку ще на стадії проектування і створення КП для верстатів, що в свою чергу, позитивно відбивається на економічній ефективності.

3. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Проектування верстатного пристосування

Проектований трьохкулачковий патрон може встановлюватися як на універсальні токарні верстати, так і на токарні верстати з числовим програмним управлінням і використовуватися з будь-яким видом приводу.

Конструктивно проєктований патрон складається з наступних основних частин: пневмокамери 1, повітророзподільного крану 2, штока 3, корпусу 4, клина 5, повзуна 6, кулачків 7, гайки 8, конуса 9, стакану 10.

Трьохкулачковий клиновий патрон працює наступним чином. Робочий встановлює деталь на кулачки 7 і включає пневмопривід патрона. При подачі стисненого повітря в штокову порожнину пневмоциліндра, шток 3, переміщається в ліву сторону. В результаті основний кулачок 3 опускається вниз, відбувається затискання деталі. Разжим здійснюється при подачі стисненого повітря в заштокову порожнину пневмоциліндра.

Регулювання ходу кулачків, необхідного для затиску здійснюється за допомогою напольгливої гайки 8.

Розрахунок сили затиску

Визначаємо окружну складову сили різання P_z ;

$$P_z = 10 C_{Pz} t^x S^y V^n K_p;$$

де C_{Pz} - постійна, що характеризує умови різання, $C_{Pz} = 300 \text{ Н}$.

x, y, n - показники ступеня, відповідно рівні 1,0; 0,75; - 0,15.

Поправочний коефіцієнт K_p є добутком ряду коефіцієнтів, що враховують фактичні умови різання:

$$K_p = K_{M_p} \cdot K_{\text{фр}} \cdot K_{\gamma_p} \cdot K_{\lambda_p},$$

$$K_{Mp} = \left(\frac{\delta_B}{750} \right)^n = \left(\frac{1100}{750} \right)^{0.75} = 1,3$$

де n – показник степені який дорівнює 0,75.

$$K_{\varphi p} = 0,89; K_{yp} = 1,0; K_{\lambda p} = 1,0.$$

$$K_p = 1,3 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,16;$$

$$P_z = 300 \cdot 1,5^1 \cdot 0,4^{0.75} \cdot 80^{-0.15} \cdot 1,16 = 136 \text{ Н};$$

Визначаємо осьову складову силу P_x ;

$$P_x \approx 0,4 \cdot P_z = 0,4 \cdot 136 = 54,4 \text{ Н}.$$

Визначаємо радіальну складову сили P_y ;

$$P_y = 0,5 \cdot P_z = 0,5 \cdot 136 = 68 \text{ Н}.$$

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Сумарна сила затиску в три кулачному патроні:

$$W_{\text{сум}} = \frac{K \cdot P_z \cdot D_1}{f \cdot D}$$

де K - коефіцієнт запасу.

P_z - окружна сила різання.

f - коефіцієнт тертя на робочих поверхнях кулачків.

D_1 - діаметр оброблюваної поверхні;

D - діаметр затискної поверхні;

Коефіцієнт запасу визначається за формулою:

$$K = K_0 K_1 K_2 K_3 K_4 K_5$$

де: K_0 - габаритний коефіцієнт запасу. $K_0 = 1,5$

K_1 - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовок для групової обробки. $K_1 = 1,2$

K_2 - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання від затуплення ріжучого інструменту. $K_2 = 1$.

K_3 - коефіцієнт, що враховує умови обробки при переривчастому різанні. Для безперервної поверхні $K_3 = 1$.

K_4 - коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається силовим приводом пристосування. Для пневмопривода $K_4 = 2$.

K_5 - коефіцієнт, що враховується тільки при наявності моментів, що прагнуть повернути оброблювану деталь. $K_5 = 1,5$.

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,7 \text{ тоді } W_{\text{сум}} = \frac{2,7 \cdot 136 \cdot 90}{0,25 \cdot 95} = 1391$$

Визначаємо зусилля затиску в клиновому механізмі.

$$Q = w [\text{tg}(\alpha + \varphi_1) + \text{tg} \varphi_2]$$

де W - необхідне зусилля затиску;

α - кут скоса клина, град;

φ_1 - кут тертя на похилій площині клина, град;

φ_2 - кут тертя на горизонтальній площині клина, град.

$$Q = 1391 [\text{tg}(5^\circ 30' + 7^\circ) + \text{tg} 90^\circ] = 2000 \text{ Н,}$$

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Е
Д
η
Г

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

Розрахунок пристосування на точність

Похибка, допустима для даного пристосування і викликається неточністю його виготовлення:

$$\varepsilon_{\text{пр}} \leq T - K_T \sqrt{(k_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{ус}}^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + (k_{T2} \cdot \omega)^2}$$

де T - допуск виконуваного розміру, $T = 0,16$;

$\varepsilon_6, \varepsilon_3, \varepsilon_{\text{ус}}, \varepsilon_{\text{п}}, \varepsilon_{\text{и}}$ - відповідно похибки: базування, закріплення, установки пристосування на верстаті, положення деталі через зношування настановних елементів і від перекосу (зміщення) інструменту;

ω - економічна точність обробки;

K_T - коефіцієнт, що враховує відхилення розсіювання значень складових величин від закону нормального розподілу, $K_T = 1,1$;

k_{T1} - коефіцієнт, що враховує зменшення граничного значення похибки базування при роботі на настроєних верстатах, $k_{T1} = 0,8$;

k_{T2} - коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки в сумарній похибці, спричиненої факторами, не залежними від, пристосування, $k_{T2} = 0,7$.

$$\varepsilon_6 = 0,5 \cdot T_D,$$

де T_D - допуск на діаметр.

$$\varepsilon_6 = 0,5 \cdot 0,16 = 0,08 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{yc.} = 0,05 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{п} = 0;$$

$$\varepsilon_{и.} = U, \text{ де } U - \text{ знос настановних елементів.}$$

$$U = U_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot N/N_0,$$

де U_0 - середній знос настановних елементів, $U_0 = 0,07 \text{ мм}$;

k_1, k_2, k_3, k_4 - відповідно коефіцієнти, що враховують вплив матеріалу заготовки, обладнання, умов обробки і числа установок заготовки

$$k_1 = 0,97$$

$$k_2 = 1,0$$

$$k_3 = 0,94$$

$$k_4 = 1,8;$$

N_0 - базове число установів, $N_0 = 6000$;

N - число установів, $N = 6000$;

$$U = 0,07 \cdot 0,97 \cdot 1,0 \cdot 0,94 \cdot 6000/6000 = 0,063 \text{ мм};$$

$$\varepsilon_{и} = 0,063 \text{ мм.}$$

$$\varepsilon_{ип} \leq 0.16 - 1.1 \sqrt{(0.8 \cdot 0.08)^2 + 0.05_3^2 + 0.05_{yc}^2 + 0_{п}^2 + 0.063_{и}^2 + (0.75 \cdot 0.1)^2} = 0.01 \text{ мм}$$

Таким чином, умова по точності виконується.

3.2 Проектування спеціального контрольного пристрою

Конструкція і принцип дії

Кс
отворів
пристос
ка щупа
M18M1
шовуют
Н:
контрга

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

іру
не
ш-
S
зта-
ться
пор-

ше
бул
ниї
ди
поє
прс
тра
опц

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

сь
д-
лі-
ся
ає
ь-
г і

1 - пристосування позиціонується за програмою на осі контрольованого отвори

2 - включається обертальний рух шпинделя, під впливом відцентрової сили щупи відводяться від центру обертання і впираються в циліндричну поверхню отвори

3 - включається рух уздовж осі отвору, таким чином щупи проходять по всій поверхні отвору. При русі щупів, поршнями щупів робоча рідина витісняється з робочої камери в капіляр де в свою чергу знаходиться поршень-маяк (повзунок) з якого датчик переміщення знімає показання про зміну розміру отвору і передає сигнал в блок управління і він реєструє величину отвору. після чого передає його значення в пристрій керуванням верстата в якому заздалегідь занесені допустимі граничні значення отвори, при порушенні яких система подасть сигнал про шлюб.

Дане пристосування дозволяє вимірювати отвір по всій довжині, що дає можливість зареєструвати не тільки діаметральної відхилення розміру, але і спотворення профілю отвору (бочкообразність отвори, а так само еліпсоїдний профіль отвору).

Налаштування розміру проводиться за допомогою еталона.

Визначаємо помилку вимірювання пристосуванням за формулою:

$$W_{\text{п}} = W + n + l + \text{пр}$$

де $W = 0$ -відхилення установки

$n = 0,003$ мм - відхилення передавальних пристроїв пристосування

$l = 0,002$ мм - відхилення еталона

$pr = 0,005$ мм - відхилення контрольного пристосування

Отже отримуємо:

$$W_{\Pi} = 0 + 0,002 + 0,003 + 0,005 = 0,008 \text{ мм}$$

Точність пристосування повинна задовольняти умові

$$W_{\Pi} < W_{\text{д}}$$

де $W_{\text{д}}$ - допустиме відхилення контролю визначається згідно квалітету

$$W = (0,2 \dots 0,35) T$$

де T - допуск на контрольований параметр деталі

$$T = 200 \text{ мкм}$$

$$W_{\text{д}} = 0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ мм}$$

тоді

$$W = 0,008 \text{ мм} < W_{\text{д}} = 0,2 \times 0,2 = 0,04 \text{ мм}$$

Як видно з розрахунку, пристрій відповідає умові контролю.

4. НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

4.1 ANSYS Static Structural

ANSYS Static Structural – це програмне забезпечення для проведення статичного структурного аналізу та моделювання поведінки матеріалів у різних умовах навантаження. Воно дозволяє визначати механічні характеристики конструкцій та матеріалів, що використовуються у різних галузях.

4.2 Підготовка необхідних даних для симуляції

Зада
тями (та
При
ANSYS
моделю
В ро
На п
– за

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

ос-
ні
ого
.
ла,

Здійнято відмовдані шкідливі програми;

- при обранні типу скінчених елементів обрано умову створення Automatic – де можливо за геометрією, використовувати форму паралелепіпедів, в інших випадках – форму тетраедрів;
- обрано матеріал деталі та задано його властивості;
- побудовано геометричну твердотільну модель об'єкта (може бути використано один із вбудованих модулів, наприклад Design Modeler або Space Claim, або модель може бути експортована з іншого CAD-пакету);
- геометрична модель поділено на скінченні елементи;
- задано параметри розрахункової сітки.

На другому етапі на модель валу накладено необхідні фізичні умови:

- задано граничні умови – сили, моменти, накладено обмеження на переміщення;
- вибрано тип аналізу – статичний, задано параметри обчислювальних процедур: кількість кроків навантаження – 1, тривалість прикладення навантаження – 1 с, кількість кроків навантаження – 30;
- здійснено вирішення системи рівнянь, отриманої методом МСЕ.

На третьому етапі здійснено аналіз отриманих результаті:

- розраховано шукані фізичні величини: переміщення, деформації, напруження;
- результати наведено із застосуванням вбудованих інструментів ANSYS у вигляді зображень полів розподілу, анімацій, графіків та таблиць.

4.3 Математична постановка задачі

Основні ріс
Диференці

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Гес

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рівня

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Фізичне

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

де

явля

алу,

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Тут X, Y – об'ємні сили;

u, v, w – переміщення у напрямках осей координат;

ϵ, γ – лінійна та кутова деформація.

Вирішення поставленої задачі може бути отримано у переміщеннях та у напругах.

У першому випадку геометричні рівняння (4.2) необхідно підставити у фізичні рівняння (4.5), а потім отриманий вираз підставити в рівняння рівноваги (4.1). Рішення отриманої системи із двох диференціальних рівнянь другого порядку щодо переміщень u та v буде розв'язком задачі.

У другому випадку напруги визначаємо за допомогою розв'язання системи з трьох диференціальних рівнянь: двох рівнянь рівноваги (4.1) і рівняння нерозривності деформацій в напругах (4.2).

4.4 Побудова моделі

У
стики м:
ко
гу
мс
Д
Modeler.
ється т
отримує

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

ракти-

Design
ого буду-
Generate

Далі задаються граничні умови.

До внутрішньої поверхні Циліндру прикладається тиск $P = 20$ МПа, який лінійно зростає до заданого значення протягом 1 секунди.

Параметри розбиття навантаження задаються наступним чином:

Initial substeps – 30,

Minimum substeps – 30,

Maximum substeps – 50.

Ці значення визначають кількість кроків при отриманні результатів.

На перекладі внутрішньої відеобудови з піктограмою, перекладі результату збережено. Fixed

Supr

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

де)

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

4.5 Розрахунок характеристик міцності деталі

Використавши модуль розрахунку Total deformation отримуємо результати деформацій (мм) при максимальному навантаженні (рис. 4.4). Значення мінімальної, максимальної та усередненої деформацій, в залежності від часу навантаження (графічна залежність та табличні дані) показані на рис. 4.4 б по кількості кроків, які були задані раніше.

Використавши модуль розрахунку Equivalent Total Strain отримуємо відносну повну деформацію (м/м) при максимальному навантаженні, зміну деформацій від часу (графічна залежність), кольором показані деформації в моделі по всій її довжині і шкала цифрових значень (рис. 4.5).

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рис
пс
від

цій
м
ід

Використавши модуль розрахунку Normal Stress визначаємо величину нор-

мал
нап

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рис.
нап
Stress

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

НИХ
М
тасу
lent

(von-Mises) stress – напружень за фон Мізесом (Па) при максимальному наванта-
же

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

27 | 0.9 | 3.0031e+002 | 2.1594e+008 | 1.1183e+008 | |

Рис.
поло:

Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

а)

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

б)

Рис. 4.8 – Енергія деформації (Дж): а – розподіл енергії деформації по об'єму деталі, положення точок з мінімальним та максимальним значенням енергії деформації, б – графічна залежність енергії деформації від часу

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

а)

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Рис
детал

Конфіденційну інформацію та комерційну таємницю вилучено з матеріалів на підставі експертного висновку від 30.06.2025р.

Максимальна деформація відносно поверхні закріплення виникає в області правого краю деталі $7,4 \times 10^{-5}$ м (рис. 4.4); максимальна еквівалентна деформація $1,15 \times 10^{-3}$ м/м (рис. 4.5); найбільші нормальні напруження вздовж осі z виникають вздовж бічної поверхні циліндра, які дорівнюють 208 МПа (рис. 4.6); інтенсивні напруження досягають 232 МПа на циліндричній поверхні між дренажними отворами; максимальна повна енергія деформації, яка дорівнює $1,26 \times 10^{-4}$ Дж виникає також на зовнішній циліндричній поверхні (рис. 4.8). На рисунку (4.9) зображено максимальні і мінімальні напруження.

еле
дет.
деф
про
ми
пла

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**

Х
У
,
к
:-
у

ВИСНОВОК

Після викладу розділів дипломного проекту зробимо висновки про виконану роботу в наступному:

- в аналітичному розділі проведено аналіз креслень конструкцій деталі циліндр з метою визначення якісної оцінки технологічності конструкцій та визначення коефіцієнта уніфікації деталей, що представляє собою кількісну оцінку технологічності конструкцій деталей;

- в технологічному розділі, виконаний і економічно обґрунтований спосіб отримання заготовки, розроблений автоматизований маршрут обробки деталі, визначаються та уточнюються режими різання. У розробленому маршруті обробки деталі досягли вищої точності і зниження основного технологічного часу за рахунок раціональної послідовності обробки деталі циліндр на верстаті з ЧПК;

я
д
б
л
«
м
зі

**Конфіденційну інформацію
та комерційну таємницю
вилучено з матеріалів на
підставі експертного
висновку від 30.06.2025р.**