

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
15 червня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:

**Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня з
використанням промислових роботів**

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Гліб ІБАКАЄВ

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Максим ГОДУНКО

Рецензент:
канд. техн. наук, доцент
_____ Олег БЕВЗ

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет

Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти
Галузь знань: 13 Механічна інженерія
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри машинобудування,
мехатроніки і робототехніки
канд. техн. наук, доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти Ібакаєву Глібу Віталійовичу

Тема роботи:

Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня з використанням промислових роботів

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Максим ГОДУНКО
Затверджено наказом ЦНТУ від 20 січня 2025 року № 13-13.

Строк подання роботи до захисту:

15 червня 2024 р.

Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Мета: розробка процесу виготовлення деталі шестерня-ведена НШ16Д-4-00-04

Завдання: аналіз типів промислових роботів та вибір найбільш придатного для виготовлення шестерні веденої. Вибір та розробка захватного пристрою, аналіз точності та технологічності для заданої деталі. Підбір заготовки та способу її виготовлення. Розробка технологічного процесу. Виконання розрахунків, пов'язаних з реалізацією обробки деталі.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	20.03.2025 р.	
2	Виконання загальної частини	02.04.2025 р.	
3	Виконання конструкторської частини	03.05.2025 р.	
4	Розробка креслеників	30.05.2025 р.	
5	Перевірка роботи на академічний плагіат	04.06.2025 р.	
6	Рецензування роботи	05.06.2025 р.	

Дата видачі завдання
03 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____

Гліб ІБАКАЄВ

Керівник роботи _____

Максим ГОДУНКО

АНОТАЦІЯ

Ібакаєв Г. В. Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня з використанням промислових роботів: кваліфікаційна бакалаврська робота : спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. М.О.Годунко. Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 57 с.

Креслеників – разом 3 аркуші формату А1.

Мета роботи: розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня з використанням промислових роботів.

Актуальність роботи. Машинобудування швидко змінюється, а разом з ним і верстати, які безпосередньо використовуються у технологічних процесах. Для роботи було прийнято рішення розробити більш сучасну технологію виготовлення деталі вал-шестерня з використанням промислових роботів. В роботі було підібрано заготовку, спосіб обробки, припуски та тех. бази для створення змісту та структури тех. процесу.

Для конструкторської частини було розроблено та проаналізовано затискний пристрій: його основні елементи, їх призначення та механізм роботи. Також було проведено розрахунок з наведенням відповідних графіків для того, щоб дослідити від чого залежать характеристики розробленого пристрою.

Ключові слова: технологія виготовлення, вал-шестерня, технологічний процес, конструкторська частина, затискний пристрій, розрахунок, характеристики пристрою.

ANNOTATION

Ibakaiev H.V. Development of technology for the manufacture of a shaft-pinion part using industrial robots: qualification bachelor's thesis : specialty 131 Applied Mechanics / scientific adviser M.O. Godunko. Central Ukrainian National Technical University: CNTU, 2025. 57 p.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format.

Purpose: to develop a technology for the manufacture of a shaft-gear part using industrial robots.

Relevance of the work. Mechanical engineering is changing rapidly, and with it the machines that are directly used in technological processes. For this work, it was decided to develop a more modern technology for the manufacture of a shaft-pinion part using industrial robots. In the work, the workpiece, processing method, allowances and technical bases were selected to create the content and structure of the technical process.

For the design part, a clamping device was developed and analyzed: its main elements, their purpose, and mechanism of operation. Also, a calculation was made with the corresponding graphs in order to investigate what the characteristics of the developed device depend on.

Keywords: manufacturing technology, shaft-gear, technological process, design part, clamping device, calculation, device characteristics.

Центральноукраїнський національний технічний університет
Механіко-технологічний факультет
Кафедра машинобудування, мехатроніки і робототехніки

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

**Розробка технології виготовлення деталі вал-шестерня з
використанням промислових роботів**

КРБ.ПМ.25.26.23.00.00

Виконав здобувач вищої освіти
4 курсу групи ПМ(ТМ)-21
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Гліб ІБАКАЄВ

Керівник роботи:
канд. техн. наук, доцент
_____ Максим ГОДУНКО

Кропивницький 2025

ЗМІСТ

Вступ	7
1. Загальна частина	8
1.1 Види робіт. Підбір робота для виготовлення вал-шестерні.	8
1.2 Вибір захватного пристрою.	10
1.3 Опис устрою та роботи вузла та деталей.	11
2. Технологічна частина	14
2.1 Аналіз точності та технологічності заданих деталей	14
2.2 Підбір заготовок та способу їх виготовлення	15
2.3 Базовий технологічний процес і його критичний аналіз	17
2.4 Вибір способу обробки поверхонь деталі вал-шестерня	19
2.5 Вибір верстатів для технологічних операцій	23
2.6 Розрахунок режимів різання	23
2.7 Розрахунок припусків та розмірів поверхонь деталі вал-шестерня	27
2.8 Створення техпроцесу виготовлення деталі	33
2.9 Визначення технологічних баз	34
2.10 Розробка структури технологічного процесу	35
3. Конструкторська частина	50
3.1 Опис устрою та роботи затискного пристрою	50
3.2 Розрахунок сил затиску захватного пристрою	52
Висновки	55
Список використаних джерел	56

ВСТУП

В даній кваліфікаційній роботі досліджується шестерня ведена НШ16Д-4-00-04, яка використовується в шестеренному насосі. Такі насоси застосовуються у гідравлічних системах для нагнітання рідини, що дозволяє передавати механічну енергію. Завдяки своїй конструкції, шестеренні насоси є простими, надійними та ефективними, тому їх широко використовують у різноманітній техніці.

Метою роботи є аналіз деталі, розробка захватного пристрою та створення технологічного процесу для шестерні веденої.

Дана деталь належить до тіл обертання. Надійність закріплення безпосередньо впливатиме на точність виготовлення зубчатого профілю.

При проектуванні пристрою враховують ключові вимоги: жорсткість конструкції, використання уніфікованих елементів, які забезпечують правильне розташування деталі, застосування пневматичного механізму для затиску.

Крім того, особлива увага приділяється надійності її закріплення, мінімізації витрат металу та енергії, а також оптимізації відведення стружки із зони обробки. Важливо, щоб конструкція була продуктивною у використанні.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Види роботів. Підбір робота для виготовлення деталі вал-шестерні

Роботи мають декілька категорій: маніпулятори, мобільні роботи та автономні системи. У машинобудуванні найчастіше використовуються роботи маніпулятори, які виконують захват, переміщення, обробку та складання деталей.

Промисловий робот – це автоматизована машина, що працює за запрограмованими командами і виконує різні виробничі процеси. Він може повторювати дії людини, наприклад, переміщувати предмети, обробляти матеріали або навіть виконувати складні технологічні операції. Основна ціль таких роботів – спрощення та прискорення виробничих процесів, зменшення фізичного навантаження на працівників та підвищення якості продукції.

Часто промислові роботи застосовуються у таких сферах, як: зварювання, складання деталей, пакування продукції, контроль якості та тестування готових виробів. Вони працюють швидко, точно та безперервно, що дозволяє підприємствам економити ресурси та отримувати якісну продукцію.

Для виготовлення деталі вал-шестерня НШ16Д-4-00-04 візьмемо промислового робота фірми Fanuc серії M-2000iA/2300 (рисунок 1).

Будова робота та його технічні характеристики приведено нижче.



Рисунок 1.1 – Складові промислового робота

Промисловий робот складається з:

1. Основа;
2. Механізм повороту руки робота;
3. Перша ланка руки робота;
4. Друга ланка руки робота;
5. Захватний пристрій;
6. Система керування роботом;
7. Блок управління;

Розглянемо технічні характеристики промислового робота:

1. Корисне навантаження – 3kg
2. Стабільність повторюваності позиціонування - $\pm 0.08\text{mm}$
3. Вага – 120kg
4. Радіус – 1500mm
5. Структура – Шарнірний
6. Кількість керованих осей – 6
7. Монтаж – Підлога, Перевернений, Під кутом.

1.2. Вибір захватного пристрою

Для захвату деталі вал-шестерня будемо використовувати призматичний захватний пристрій, оскільки він добре підходить для захвату циліндричних поверхонь. Особливістю призматичного захвату є те, що деталь автоматично базується в затискних елементах. Кут призм в таких захватах зазвичай мають значення 120° . Але при різних умовах затиску кут призм може змінюватися в межах від 100° до 150° . Затискні елементи можуть бути змінними для покращення умов затиску.

При захопленні деталей призматичним захватним пристроєм виникають три узагальнені варіанти: коли вісь обертання деталі збігається з вершинами затискних призм – це номінальний варіант затиску (рисунок 1.2 а); коли вісь деталі (її центр) зміщена відносно захватного пристрою зміщена від захватного пристрою (рисунок 1.2 б); коли вісь деталі зміщена до захватного пристрою (рисунок 1.2 в).

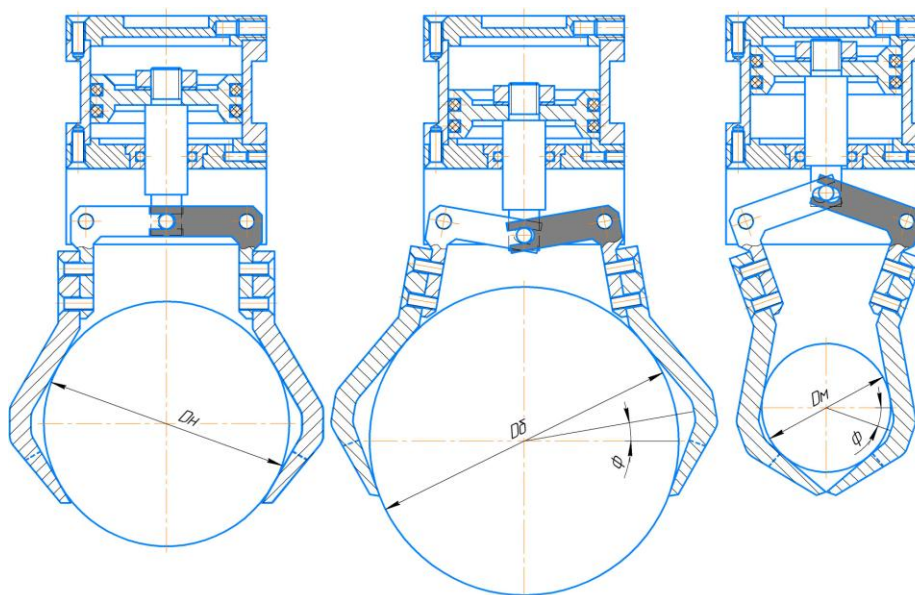


Рисунок 1.2 - Типові умови затиску циліндричної деталі:

де, а – номінальний діаметр деталі; б – діаметр деталі більший за номінальний; в – діаметр деталі менший за номінальний;

Дані особливості впливають на параметри захватного пристрою: розміри захватного пристрою; з якою силою тиску деталь має триматися. Тобто, виникає похибка при зміщенні деталі, яку потрібно компенсувати.

Але зміщення деталі не є єдиним чинником, що може впливати на процес захвату. Також можуть впливати сила інерції, сили тертя, сила ваги та інші. Всі ці складові мають значний вплив на силу затиску деталі, яку потрібно утримати при переміщенні і не пошкодити, не zdeформувати її поверхню.

Тому при проектуванні важливо зробити розрахунок параметрів захватного пристрою для виготовлення вал-шестерні.

1.3. Опис устрою та роботи вузла та деталей

До проектування технологічного процесу було обрано деталь шестерня ведена НШ16Д-4-00-04 для шестеренного насосу.

Шестеренні насоси використовуються для нагнітання води, завдяки чому відбувається передача механічної енергії за допомогою рідини під тиском. Завдяки цій дії утворюється потенціальна енергія тиску, яка використовується у підйому вантажів або, як в нашому випадку, для руху поршнів.

1. Робочий об'єм: $1,0 \text{ см}^3/\text{об}$
2. Подача при 1500 об/хв: $1,4 \text{ л/хв}$
3. Розмір А: $37,70 \text{ мм}$
4. Розмір В: $18,85 \text{ мм}$
5. Максимальний тривалий тиск: 250 бар
6. Максимальний короткочасний тиск: 270 бар
7. Піковий тиск: 290 бар
8. Максимальна частота обертання: 4000 хв^{-1}
9. Мінімальна частота обертання при $P_1 \leq 100 \text{ бар}$: 750 хв^{-1}

10. Маса: 0,83 кг

Шестеренні насоси серії “К” виготовляються з наскрізним корпусом з міцного алюмінієвого прокату та кришками з алюмінієвого сплаву та чавуну.

Завдяки використанню суцільнолитих втулок із високоміцного алюмінієвого антифрикційного сплаву насоси серії “К” мають високі експлуатаційні характеристики.

Процес нагнітання робочої рідини в насосі відбувається за рахунок роботи шестерень в насосі (рисунок 1.3).

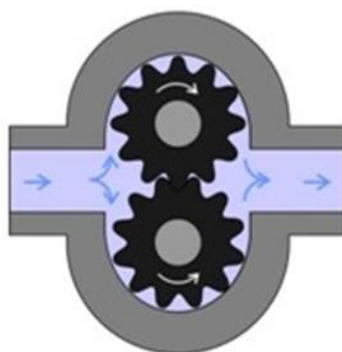


Рисунок 1.3 - Схема роботи шестеренного насосу

Шестеренні насоси серії “К” можна назвати простими, ефективними та надійними. Такі насоси широко використовуються у сільськогосподарській техніці, суднових і промислових системах, де потрібне перекачування рідини безперервно за заданими параметрами тиску.

Схема основних елементів шестеренного насосу серії “К” зображено на рисунку 1.4. Деталі збірки рознесені у порядку їх збирання, а деталь що розглядається позначена позицією – 2.

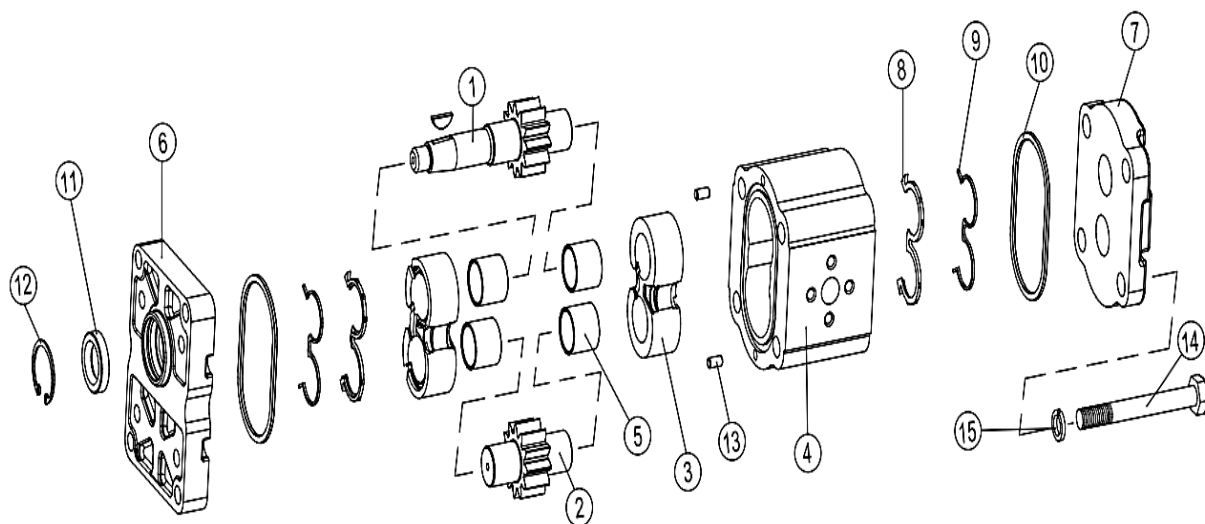


Рисунок 1.4 - Шестеренний насос серії “К”

1. Шестерня ведуча
2. Шестерня ведена
3. Корпус підшипника
4. Корпус
5. Металофторопластовий підшипник
6. Монтажний фланець
7. Кришка задня
8. Манжета торцевого ущільнення
9. Пластина захисна
10. Кольце ущільнювальне
11. Манжета ущільнення вала
12. Кільце стопорне
13. Штифт
14. Болт
15. Шайба

Для виготовлення веденої шестерні НШ16Д-4-00-04 застосовують сталь 18ХГТ, що забезпечує твердість поверхневого шару HRC57...63 після проведення термообробки.

Ведена та ведуча шестерні виконують основну роль у створенні тиску рідини в насосі та її подачі в робочі органи машинних механізмів.

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Аналіз точності та технологічності заданої деталі.

Шестерня ведена має низку параметрів, які впливають на герметичність та рівномірність подачі рідини. Шийки шестерні $\varnothing 25f6$ мають параметр шорсткості $Ra\ 0,16$ та допуск торцевого биття $0,01$. Зубчатий вінець $\varnothing 46,9f6$ має параметр шорсткості $Ra\ 1,25$. Поверхня зубців по евольвентному профілю $\varnothing 32,5h8$ має шорсткість $Ra\ 2,5$. Торці зубчатого вінця $17,8h8$ мають параметр шорсткості $Ra\ 0,16$. Ці поверхні вимагають використання шліфувальних та суперфінішних верстатів. Всі інші поверхні оброблюються за 9-12 квалітетами і мають параметри шорсткості $Ra\ 3,2-6,3$ що можна досягти звичайною обробкою.

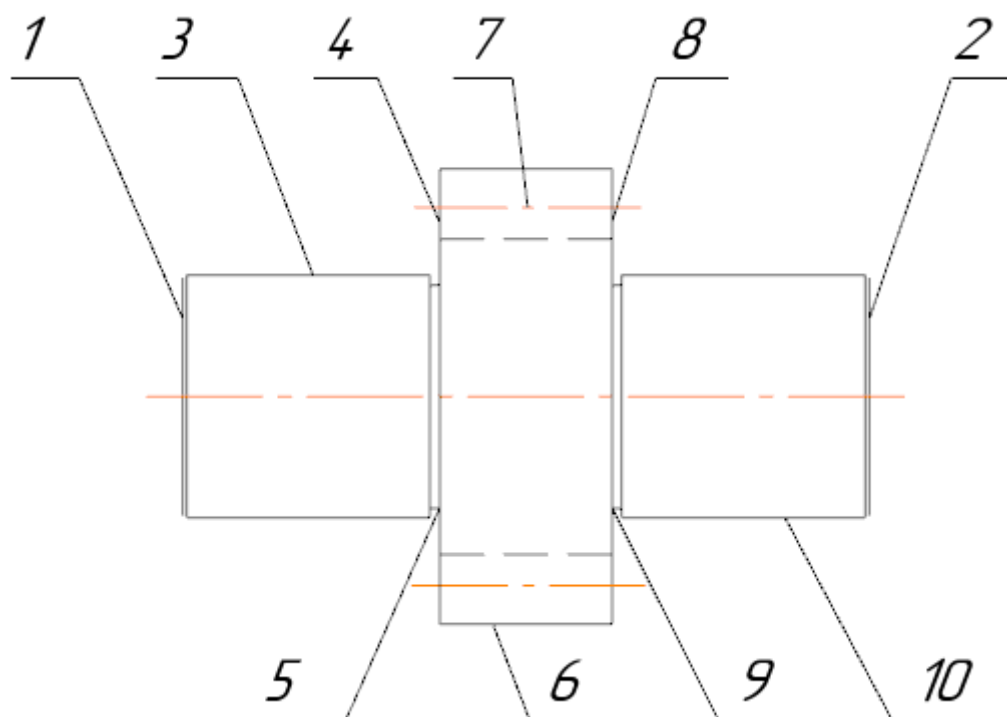



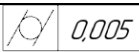

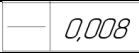

Рисунок 2.1 – Оброблювані поверхні в шестерні НШ16Д-4-00-04

Деталь має не складну форму, але вимагає високу точність та шорсткість, через що заготовка деталі має велику кількість технологічних переходів. Спочатку вона піддається термообробці — відпалу, під час якого

нагрівається до 800–900°C і повільно охолоджується для зняття внутрішніх напружень та покращення оброблюваності. Кінцева термообробка — цементація, що передбачає насичення поверхневого шару вуглецем при 900–950°C, після чого виконується гартування для підвищення твердості та зносостійкості. Шліфування торців шестерень виконується з піднутрінням. Метод простановки розмірів є комбінованим.

Результати аналізу точності наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 – Розмірні характеристики деталі шестерня ведена НШ16Д-4-00-04

№	Назва поверхні	Розміри	Квалітет	Точність відносних поверхонь	Точність форми	Ra
1, 2	Торці	70,8	H12	-	-	6,3
3, 10	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 25_{-0,075}^{-0,060}$	f6			0,16
4, 8	Торці	$17,8_{-0,04}$	h8			0,16
5	Канавка	$\varnothing 24,85_{-0,52}$	h9	-	-	3,2
6	Зовнішня циліндрична	$\varnothing 46,9_{-0,041}^{-0,025}$	f6		-	1,25
7	Зубці	$\varnothing 39_{-0,04}$	h8	-	-	2,5
9	Канавка	$\varnothing 24,85_{-0,52}$	h9	-	-	3,2

Проаналізувавши дані, наведені в таблиці 2.1, можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

2.2 Підбір заготовок та способу їх виготовлення

Шестерня ведена представляє собою вал для нагнітання речовини. Для його виготовлення використовують сталі 18ХГТ. Клас заготовки – поковка. Клас точності виготовлення поковки – Т5. Група сталі поковки – М2. Ступінь складності поковки – С2.

Таблиця 2.2 – Механічні властивості матеріалу.

Марка матеріалу	σ _t , Мпа	σ _b , Мпа	Твердість
	Не менше		Не більше
Сталь 18ХГТ	90кгс/мм	100кгс/мм ²	217

Таблиця 2.3 – Хімічний склад матеріалу

Марка матеріалу	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti
Сталь 18ХГТ	0,17-0,23	0,17-0,37	0,8-1,10	1-1,3	0,30	0,03-0,09

Деталь є придатною для термічної обробки. Дана деталь виготовляється методом поковки і прутка. У базовому технологічному процесі передбачається використання методу об'ємного штампування для виготовлення заготовки. З цим способом ми маємо перевагу над способом ковки та іншими. Об'ємне штампування дозволяє отримувати заготовки складної форми з високою якістю поверхні та з мінімальними припусками. Метод виділяється високою продуктивністю. Після отримання заготовки її піддають термічній обробці, а саме відпалу. Метою цієї операції є усунення дефектів, що виникають внаслідок нагріву та деформації під тиском, ліквідація залишкових напружень, покращення оброблюваності різанням та підготовка структури матеріалу до остаточної термічної обробки. Поковки очищуються від окалини за допомогою дробоструминної обробки для підвищення терміну використання ріжучого інструменту. Після різальної обробки деталь піддається фінальній термічній обробці – дифузійному насиченню неметалами. Для цього деталь необхідно цементувати на глибину $h=1,1...1,35$ мм; твердість поверхні 57...63 HRC, серцевина 25...45 HRC. Обраний матеріал є оптимальним для заданих деталей з урахуванням умов серійного виробництва та конструкторських особливостей. Зробимо розрахунок для перевірки на доцільність з економічної точки зору. Вартість заготовок можна визначити за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від}}}{1000} \quad (2.1)$$

де: С являє собою базову вартість 1 т заготовок, грн.;

k_m , k_c , k_v , k_M , k_n – це коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, ваги, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

q – вага деталі, кг;

Q – вага заготовки, кг;

$S_{\text{від}}$ – вартість 1 т відходів, грн.

Знаходимо вартість заготовки, отриманої методом литва в кокіль, грн.:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{6020}{1000} \cdot 0,312 \cdot 1 \cdot 0,925 \cdot 0,86 \cdot 2,44 \cdot 1 \right) - (0,312 - 0,1248) \cdot \frac{2500}{1000}$$

$$S_{\text{від}} = 3,187 \text{ грн}$$

2.3 Базовий технологічний процес і його критичний аналіз

Перший етап базового технологічного процесу – фрезерно-центрувальна обробка. На цьому етапі виконується фрезерування торців вала та свердління центрових отворів з обох боків. Це необхідно для забезпечення точного базування в подальших операціях.

В якості технологічної бази використовуються зовнішні поверхні двох шийок заготовки та торець ступені зубчастого вінця. Для цієї операції застосовується фрезерно-центрувальний верстат. Другим етапом є точіння поверхонь шийок вала з одного боку, а також підрізання торцевих поверхонь, що дозволяє надати заготовці необхідні геометричні параметри. В якості бази використовуються центрові отвори, а для обробки застосовують токарний багаторіздцевий або багато-шпиндельний верстат.

Далі така ж операція виконується з іншого боку вала із використанням центрових отворів. Потім йде підготовка до шліфування. На цьому етапі проводиться фінальне точіння шийок вала під шліфування та остаточне підрізання торців. Після цього проводиться проміжний контроль, щоб перевірити точність виконаної обробки. Далі починається фрезерування

зубців. Спочатку виконується зубофрезерна обробка, яка робиться на зубофрезерному верстаті. Вона задає основну форму зубців. Потім відбувається чистове фрезерування, яке покращує точність та якість поверхні зубців.

Наступним кроком є зубозакруглення, яке проводиться спочатку з одного боку вінця, а потім з іншого боку. Це потрібно для підвищення міцності та зносостійкості зубчастої передачі. Остання операція – це шевінгування та шліфування зубців. Вона дозволяє досягти найвищої точності робочих поверхонь. Виконується на шевінгувальному або зубошліфувальному верстаті. В кінці виконується контрольна перевірка, яка підтверджує якість усіх виконаних до цього операцій.

Для покращення технологічного процесу пропонується використати сучасний токарний верстат з ЧПК HAAS – SL20, за допомогою якого, ми зможемо об'єднати декілька операцій з базового технологічного процесу в одну, з перевстановленням деталі. Тобто виконати фрезерно-центрувальну та токарно-копіювальну операції на запропонованому верстаті, за допомогою сучасного ріжучого інструменту для токарної обробки.

Для порівняння запропонованих змін, зведемо в таблицю 2.4 перелік основних технологічних операцій виготовлення вал-шестерні, які використовуються в базовому технологічному процесі.

Таблиця 2.4 – Маршрути базової механічної базової обробки заданої деталі

Номер операції	Найменування операції	Обладнання	Тшт, хв
005	Фрезерно-центрувальна	MP-76	0,58
010	Токарно-копіювальна	CA 022Л	1,88
015	Токарно-копіювальна	CA 023	0,96
020	Токарно-копіювальна	CA 023	0,79
025	Токарно-копіювальна	CA 023	0,83

Продовження таблиці 2.4

030	Зубофрезерна	5B312	2,57
035	Зубодовбальна	5122 KH24	2,97
040	Круглошліфувальна	3A151	0,59
045	Зубошевингувальна	5702B	2,76
050	Круглошліфувальна	3A151	0,70
055	Круглошліфувальна	3M151	0,99
060	Шліфувальна	АД15-700 EP45	2,41
065	Шліфувальна	АД15-700 EP45	2,41
070	Суперфінішна	3879	0,50
075	Доводочна	020-011	0,36

2.4 Вибір способу обробки поверхонь деталі вал-шестерня

Зробимо розрахунок для циліндричної поверхні “3” Ø26f6 шестерні веденої НШ16Д-4-00-04. Обираємо маршрути обробки даної поверхні.

Знаходимо загальне уточнення:

$$\varepsilon_3 = \frac{\delta_3}{\delta_d} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{2,2}{0,015} = 146,67$$

Де: δ_3 – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на розмір деталі;

Є два варіанта обробки даної циліндричної поверхні з квалітетом точності h6 (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5 – Варіанти обробки циліндричної поверхні

Обробка з 4 переходами	Обробка з 5 переходами
1. Чорнове точіння	1. Чорнове точіння
2. Чистове точіння	2. Чистове точіння
3. Шліфування	3. Чорнове шліфування
4. Суперфініш	4. Чистове шліфування
	5. Тонке шліфування

Порівняємо по всім проміжним методам обробки із таблиць економічної точності розрахуючі частинні уточнення:

- Точіння чорнове:

$$\varepsilon_1 = \frac{2,2}{0,21} = 10,48$$

- Точіння чистове:

$$\varepsilon_2 = \frac{0,21}{0,084} = 2,5$$

- Шліфування чорнове:

$$\varepsilon_3 = \frac{0,084}{0,033} = 2,55$$

- Шліфування чистове:

$$\varepsilon_4 = \frac{0,033}{0,021} = 1,571$$

- Шліфування тонке:

$$\varepsilon_5 = \frac{0,021}{0,015} = 1.4$$

Частинне уточнення для другого маршруту обробки:

- Точіння чорнове:

$$\varepsilon_1 = \frac{2.2}{0,21} = 10.48 ;$$

- Точіння чистове:

$$\varepsilon_2 = \frac{0,21}{0,084} = 2.5 ;$$

- Шліфування:

$$\varepsilon_3 = \frac{0,084}{0,033} = 2.55 ;$$

- Суперфініш:

$$\varepsilon_4 = \frac{0,033}{0,015} = 2.2$$

Перевіряємо економічну доцільність вибору маршруту обробки за умовою фактичного уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} \leq \varepsilon_{\text{ф}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 ; \quad (2.4)$$

1 маршрут :

$$\varepsilon_{\text{ф}} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 = 10.48 \cdot 2.5 \cdot 2.55 \cdot 1.571 \cdot 1.4 = 146.94$$

$$146,94 > \varepsilon_{\text{заг}} = 146,67;$$

Умова виконується.

2 маршрут:

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 10,48 \cdot 2,5 \cdot 2,55 \cdot 2,2 = 146,94$$

$$146,94 > \varepsilon_{\text{заг}} = 146,67;$$

Умова виконується.

Обираємо маршрут з меншою кількістю переходів.

Інші маршрути обробки поверхонь вказані в таблиці 2.6. Назви та номери поверхонь вказані на рис. 2.1, таблиця 2.1.

Таблиця 2.6 – Технологічні маршрути деталі шестерня ведена

Позначення поверхні	Допуск на поверхню деталі δ_d , мм	Шорсткість поверхні R_a	Допуск на заготовку δ_z , мм	Загальне уточнення ε_z	Можливі технологічні маршрути обробки		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
					№	Зміст маршруту		
Шестерня ведена НШ16Д-4-00-04								
1, 2	0,3	12,5	3,2	12	1	Фрезерування	0,25	12,8
3, 10	0,015	0,16	2,2	146,94	1	Точіння чорнове	0,21	10,48
						Точіння чистове	0,084	2,5
						Шліфування	0,033	2,55
						Суперфініш	0,015	2,2
					2	Точіння чорнове	0,21	10,48
						Точіння чистове	0,084	2,5
						Шліфування чорнове	0,033	2,55
4, 8	0,04	0,16	2,4	60	1	Точіння чорнове	0,25	3,2
						Точіння чистове	0,1	2,5
						Шліфування	0,039	2,56
						Доводка	0,011	3,54
6	0,07	1,25	2,4	34,3	1	Точіння чорнове	0,3	8
						Точіння чистове	0,12	2,5
						Шліфування	0,03	4
7	0,062	2,5	0,62	10	1	Фрезерування	0,25	2,48
						Довбання	0,1	2,5
						Шевингування	0,046	2,1

2.5 Вибір верстатів для технологічних операцій

В цілях створення більш новітнього технологічного процесу підберемо новітній верстат для токарної обробки. Результат занесемо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Вибір верстату для обробки заданої деталі

№ операції	Модел ь верста ту	Ряд частот обертання шпинделя хв^{-1}	Ряд пода ч, мм/о б	Габаритні розміри верстату, мм	Потужність електродвиг уна, кВт	Максимал ьні розміри робочого столу чи тах діаметр обробки
Шестерня ведена НШ16Д-4-00-04						
005	HAAS -SL20	50-4000	508	3149x1574,8x18 28,8	14,9	584x241

2.6 Розрахунок режимів різання

Для розрахунку оберемо різальні пластини з державками:

Для чорнової обробки деталі вал шестерня було прийнято рішення використати негативну 80° пластину WNMG 080408-NR.

Для чистової обробки була обрана негативна 80° пластина QNMG 090408-NF з твердого сплаву IC9025

У фрезерно-центрувальній операції використаємо фрезерно-центрувальний MP-76AM з твердого сплаву.

Та GDMF 808 для канавок з твердого сплаву IC908.

Вхідні дані: межа діаметр поверхні $d = 25,44$, матеріал заготовки – сталь 18ХГТ, міцності деталі $\sigma_B = 980$ Мпа; матеріал ріжучої частини різця для чорнової обробки IC9025, ЗОР – емульсія, заготовка – поковка.

Розрахуємо режими різання для чорнового точіння зовнішньої циліндричної поверхні $\emptyset 25$:

Визначаємо глибину різання:

$$t = \frac{D-d}{2} \quad (2.5)$$

де D – це діаметр в стані заготовки;

d – діаметр після точіння;

$$t = \frac{27,544-25,44}{2} = 1,052 \text{ мм}$$

Визначаємо подачу:

$$S = 0,4 \text{ мм/об}$$

Стійкість інструменту $T = 30$ хв. Знаходимо швидкість різання по формулі:

$$V = \frac{C_v}{T^{m \cdot t^x \cdot S^y}} \cdot K_v \quad (2.6)$$

Де $C_v = 310$; $x = 0,15$; $y = 0,2$; $m = 0,2$ – коефіцієнти та показники у формулі швидкості різання.

K_v – є поправочним коефіцієнтом на швидкість різання, котрий враховує фактичні умови різання, визначається за формулою:

$$K_v = K_M \cdot K_t \cdot K_n \quad (2.7)$$

де $K_M = 1$; - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал;

$K_t = 1,0$; - поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал;

$K_n = 1$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий вплив стану поверхні заготовки на швидкість різання.

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$V = \frac{310}{30^{0,2} \cdot 1,052^{0,15} \cdot 0,4^{0,2}} \cdot 1 = 187,16 \text{ м/хв.}$$

Знаходимо частоту обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.8)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 187,16}{3,14 \cdot 25,44} = 2342,96 \text{ об/хв.}$$

Скорегуємо частоту обертання відповідно до паспорту верстата $n = 2340$ об/хв.

Визначаємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \quad (2.9)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 25,44 \cdot 2340}{1000} = 186,9 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо силу різання за формулою:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.10)$$

де $C_p = 300$, $x = 1$, $y = 0,75$, $n = -0,15$ – коефіцієнти та показники в формулі;

$K_p = 1$ – поправочний коефіцієнт, який враховує умови різання.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 1,052^1 \cdot 0,4^{0,75} \cdot 186,9^{-0,15} = 724,86 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність, необхідну для обробки за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.11)$$

$$N = \frac{724,86 \cdot 186,9}{1020 \cdot 60} = 2,21 \text{ кВт}$$

HAAS SL-20 за паспортними даними має потужність $N_{\text{ел}} = 14,9$ кВт; ККД верстата $\eta = 0,85$. Потужність шпинделя верстата визначається за формулою:

$$N_{\text{шп}} = N_{\text{ел}} \cdot \eta \quad (2.12)$$

$$N_{\text{шп}} = 14,9 \cdot 0,85 = 12,665 \text{ кВт}$$

Отримане значення потужності не перевищує допустимого (0,85 кВт < 14,9), тому можна зробити висновок, що обробка на верстаті HAAS SL-20 буде.

Визначаємо основний час за формулою:

$$T_o = \frac{L_p + l_1^* + l_1^{**}}{S \cdot n} \quad (2.13)$$

де $l_1^* = ctg\varphi \cdot t = ctg60^\circ \cdot 1,052 = 0,6$ мм – величина врізання різця;

$l_1^{**} = 2$ мм – виліт перебігу.

$L_p = 13,4$ – довжина робочого ходу різця.

$$T_o = \frac{13,4 + 0,6 + 2}{0,4 \cdot 2340} = 0,017 \text{ хв.}$$

Перейдемо до обробки інших поверхонь. Вибір режимів різання виконаємо за довідниковими таблицями.

Обрані режими заносимо в таблицю 2.8

Таблиця 2.8 – Режими різання технологічних переходів для токарної операції з ЧПК.

Номер		t, мм	S, мм/об	V, м/хв	n, хв ⁻¹	t _o , хв
Операції	Переходу					
1	2	3	4	5	6	7
Шестерня ведення НШ16Д-4-00-04						
005	2	13,7	0,1	120	1400	0,23
	3	0,4	0,1	215	2700	0,011
	5	11,2	0,14	80	2000	0,21
	7	1,052	0,4	186,9	2340	0,017
	8	0,02	0,05	300	3750	0,536
	9	6,2	0,3	142,3	600	0,092
	10	0,1	0,08	297	1500	0,104
	11	1,25	0,05	59	750	0,053

2.7 Розрахунок припусків та розмірів поверхонь деталі вал-шестерня

Розрахунок припусків будемо виконувати за методом професора Кована на зовнішній циліндричній поверхні (таблиця 1 – 3,10) вал-шестерні.

Дані заготовки: поковка, допуск $d_z=2,2$ (верхнє відхилення $+1,4$, нижнє $-0,8$)

Маршрут обробки заданої поверхні:

1. Точіння чорнове.
2. Точіння чистове.
3. Шліфування.
4. Суперфініш.

Значення елементів припуску заготовки вибираємо з табл. 4.3 [4], для механічної обробки – з табл. 4.5 [4].

Базою для всіх переходів є вісь зовнішньої циліндричної поверхні і торець деталі, деталь встановлюється в центрах. Значення похибки встановлення в радіальному напрямку рівна 0.

Знаходимо сумарне значення просторових відхилень ρ при встановленні в центрі з притисканням до торцевої поверхні за формулою:

$$\rho_{кор} = \Delta_k \cdot l = 5 \cdot 31 = 155 \text{ мкм} \quad (2.14)$$

Де дельта $k=5$ мкм/мм – це питома кривизна заготовки.

Визначаємо залишкові просторові відхилення по переходах за формулою:

$$\rho_{зал} = k_y \cdot \rho_{кор} \quad (2.15)$$

1-й перехід – точіння одноразове:

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 155 = 9,3 \text{ мкм}$$

2-й перехід – точіння чистове:

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 155 = 6,2 \text{ мкм}$$

3-й перехід – шліфування:

$$\rho_3 = 0,02 \cdot 155 = 3,1 \text{ мкм}$$

4-й перехід – суперфініш:

$$\rho_4 = 0,01 \cdot 155 = 1,55 \text{ мкм}$$

Результат розрахунку граничних розмірів та припуску наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Граничні розміри та припуски розраховуються за технологічними переходами на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 25$ (таблиця 2.1)

Технологічні переходи обробки отвору	Rz	T	ρ	Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мкм	d _{min}	d _{max}	2Z _{min}	2Z _{max}
Заготовка	150	200	155	-	26,446	2200	26,446	28,644	—	—
Точіння чорнове	50	50	9,3	2×555	25,334	210	25,334	25,544	1110	3100
Точіння чистове	30	30	6,2	2×109	25,116	84	25,116	25,200	218	344
Шліфування	10	20	3,1	2×66	24,991	33	24,991	25,024	125	176
Суперфініш	5	15	1,55	2×33	24,925	15	24,925	24,940	66	84
Разом									1519	3704

Знаходимо мінімальні значення припусків по переходах за формулою:

$$2z_{\min} = 2(R_{z-c-1} + T_{i-1} + \rho_{кор}) \quad (2.16)$$

- Точіння чорнове:

$$2z_{\min 1} = 2(150 + 250 + 155) = 2 \cdot 555 \text{ мкм}$$

- Точіння чистове:

$$2z_{\min 2} = 2(50 + 50 + 9.3) = 2 \cdot 109 \text{ мкм}$$

- Шліфування:

$$2z_{\min 3} = 2(30 + 30 + 6.2) = 2 \cdot 66 \text{ мкм}$$

- Суперфініш:

$$2z_{\min 4} = 2(10 + 20 + 3.1) = 2 \cdot 33 \text{ мкм}$$

Рохраункові розміри визначаємо, починаючи з кінцевого, шляхом поступового додавання мінімальних припусків кожного технологічного переходу:

$$\begin{aligned}d_{\min 4} &= 25 - 0,075 = 24,925 \text{ мм} \\d_{\min 3} &= 24,925 + 0,066 = 24,991 \text{ мм}; \\d_{\min 2} &= 24,991 + 0,122 = 25,116 \text{ мм}; \\d_{\min 1} &= 25,116 + 0,218 = 25,334 \text{ мм}; \\d_{\min \text{заг}} &= 25,334 + 1,11 = 26,444 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Обчислення граничних розмірів виконується, починаючи з кінцевого розміра:

$$\begin{aligned}d_{\max 4} &= d_{\min 4} + \delta_4 = 24,925 + 0,015 = 24,940 \text{ мм}; \\d_{\max 3} &= d_{\min 3} + \delta_3 = 24,991 + 0,033 = 25,024 \text{ мм}; \\d_{\max 2} &= d_{\min 2} + \delta_2 = 25,116 + 0,084 = 25,200 \text{ мм}; \\d_{\max 1} &= d_{\min 1} + \delta_1 = 25,334 + 0,21 = 25,544 \text{ мм}; \\d_{\max \text{заг}} &= d_{\min \text{заг}} + \delta_{\text{заг}} = 26,444 + 2,2 = 28,644 \text{ мм}.\end{aligned}$$

Визначаємо граничні значення припусків як різницю найбільших та найменших граничних значень за формулами:

$$Z_{\min \text{пр}} = d_{\max i} - d_{\max i-1} \quad (2.17)$$

$$Z_{\max \text{пр}} = d_{\min i} - d_{\min i-1} \quad (2.18)$$

$$\begin{aligned}2Z_{\min 4\text{пр}} &= 24,991 - 24,925 = 0,066\text{мм}; \\2Z_{\max 4\text{пр}} &= 25,024 - 24,940 = 0,084\text{мм}; \\2Z_{\min \text{пр}3} &= 25,116 - 24,991 = 0,125\text{мм}; \\2Z_{\max 3\text{пр}} &= 25,200 - 25,024 = 0,176\text{мм}; \\2Z_{\min 2\text{пр}} &= 25,334 - 25,116 = 0,218\text{мм}; \\2Z_{\max 2\text{пр}} &= 25,544 - 25,200 = 0,344\text{мм}; \\2Z_{\min 1\text{пр}} &= 26,444 - 25,334 = 1,11\text{мм}; \\2Z_{\max 1\text{пр}} &= 28,644 - 25,544 = 3,100\text{мм}.\end{aligned}$$

Перевірка

$$Z_{\max 4\text{пр}} - Z_{\min 4\text{пр}} = 84 - 66 = 18\text{мкм};$$

$$\delta_4 - \delta_3 = 33 - 15 = 18\text{мкм};$$

$$Z_{\max 3}^{\text{pp}} - Z_{\min 3}^{\text{pp}} = 176 - 125 = 51 \text{ мкм}; \quad \delta_3 - \delta_2 = 84 - 33 = 51 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max 2}^{\text{pp}} - Z_{\min 2}^{\text{pp}} = 344 - 218 = 126 \text{ мкм}; \quad \delta_2 - \delta_1 = 210 - 84 = 126 \text{ мкм};$$

$$Z_{\max 1}^{\text{pp}} - Z_{\min 1}^{\text{pp}} = 3100 - 1110 = 1990 \text{ мкм}; \quad \delta_3 - \delta_1 = 2200 - 210 = 1990 \text{ мкм}.$$

Умова виконана.

Для інших поверхонь припуски визначаємо по нормативним даним і заносимо їх до таблиці 2.10

Таблиця 2.10 – Припуски на механічну обробку

Поверхня	Номинальний розмір	Розмір заготовки	Вид обробки	Верхній допуск мм	Нижній допуск мм	Допуск мм
6	$\varnothing 46,9_{-0,041}^{-0,025}$		Точіння чорнове	47,475	47,265	0,21
			Точіння чистове	47,131	47,047	0,084
			Шліфування	46,958	46,925	0,033
			Суперфініш	46,874	46,859	0,015
8	$44,3_{-0,02}$	75,5	Точіння чорнове	44,896	44,686	0,21
			Точіння чистове	44,552	44,468	0,084
			Шліфування	44,379	44,346	0,033
			Суперфініш	44,295	44,28	0,015
4	$44,3_{-0,02}$	57,4	Точіння чорнове	44,896	44,686	0,21
			Точіння чистове	44,552	44,468	0,084
			Шліфування	44,379	44,346	0,033
			Суперфініш	44,295	44,28	0,015

Складемо графічну схему розміщення припусків і допусків на обробку поверхонь 3,10 (див. таблиця 2.1)

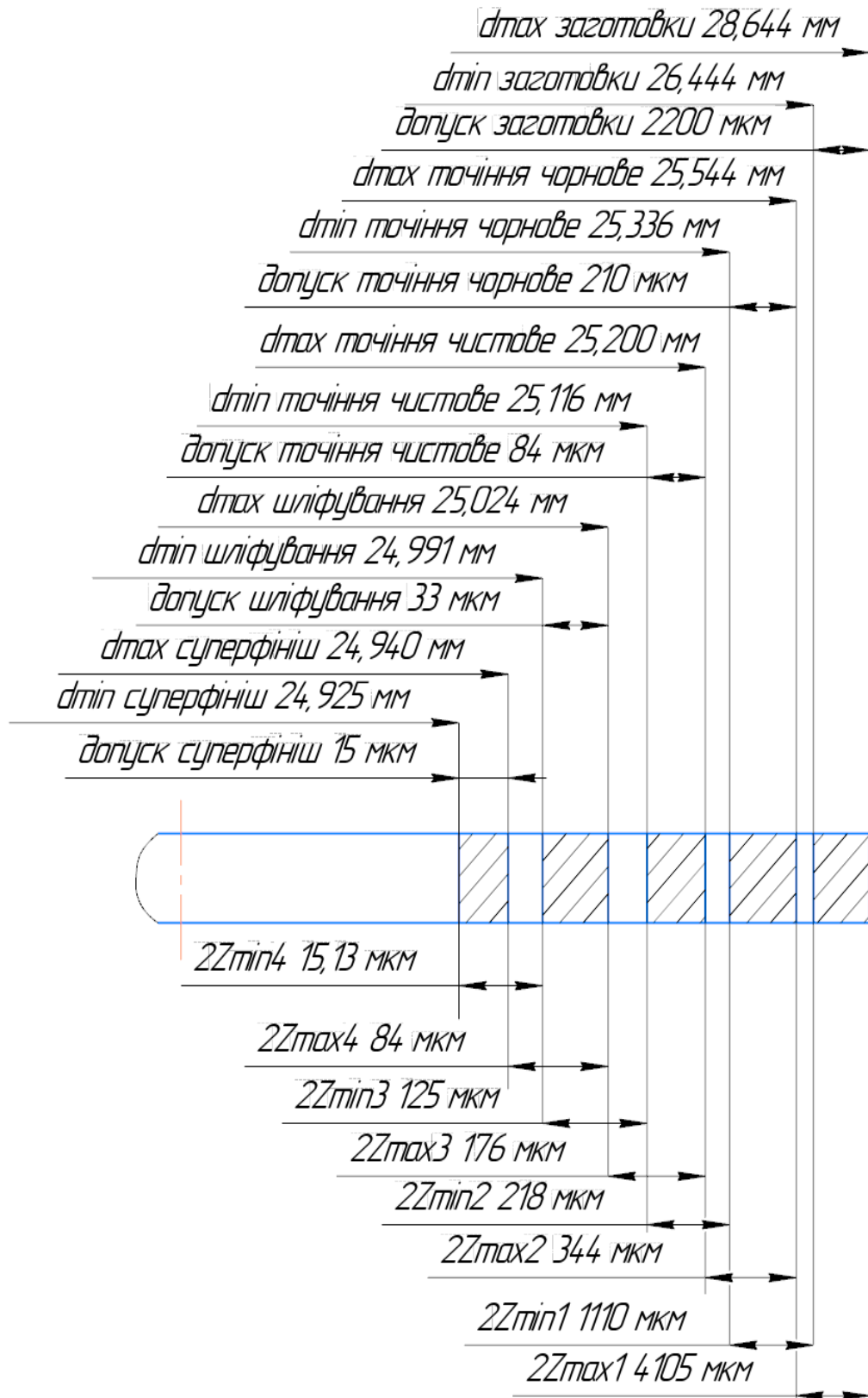


Рисунок 2.2 - Графічна схема розміщення припусків і допусків для зовнішньої циліндричної поверхні $\text{Ø}25^{+1,4}_{-0,8}$ (таблиця 2.1 – 3,10)

2.8 Створення техпроцесу виготовлення деталі

Маршрути обробки будуть створюватися згідно технічних вимог, технологічних властивостей верстатів та розмірних зв'язків на кресленні деталі.

Зведемо в таблицю 2.11 перелік технологічних операцій виготовлення вал-шестерні, які використовуються в технологічному процесі.

Таблиця 2.11 - Маршрути обробки деталі шестерня ведена

№ операції	Найменування операції	Зміст операції	Технологічне обладнання
001	Транспортна	Транспортувати деталі в цех.	Автопозрущик АВ-2
005	Токарна з ЧПК	Точити торці та шийки начорно та начисто, врізати канавки з перестановленням.	Токарний з ЧПК НААС-S
010	Зубофрезерна	Фрезерувати зубці.	Зубофрезерний напівавтомат 53А80Н
015	Зубодовбальна	Довбати зубці.	Зубодовбальний напівавтомат 5122КН24
020	Зубошевінгувальна	Шевінгувати зубці.	Зубошевінгувальний напівавтомат АВС-02В
025	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ752
030	Слюсарна	Затупити гострі кромки по всім поверхням.	Стіл ГМ 1765
035	Контрольна	Перевірити розміри.	Стіл ГМ 3112
040	Транспортна	Транспортувати деталь на дільницю термічної обробки.	Автопогружник АВ-2
045	Термічна	Цементувати деталь.	Виконується по тех.. процесу
050	Транспортна	Транспортувати деталь на дільницю абразивної обробки.	Автопогрущик АВ-2
055	Зачистка	Зачистити цетрові отвори.	Стіл ГМ 1765
060	Круглошліфувальна з ЧПК	Шліфувати поверхні обертання.	Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2
065	Торцекруглошліфувальний	Шліфувати цапфу та торець одночасно з перестановленням.	Круглошліфувальний з ЧПК 3М152МФ2
070	Очистка електрохімічна	Притупити гострі кромки по профілю евольвенти та западини зубців шестерні з двох сторін.	Виконується по тех. процесу
075	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ 752
080	Суперфінішна	Суперфінішувати цапфи з перестановленням.	Безцентровосуперфінішний напівавтомат 3Д879БН27

Продовження таблиці 2.11

085	Доводочна	Довести торці одночасно.	Верстат для алмазної доводки шестерен 020-011
090	Заточна	Зачистити торець цапфи шестерні під клеймування, зачистити заусенці в шліцах.	Стіл ГМ 1765
095	Промивка	Промити деталь.	Миюча машина ГМ 752
100	Протирка	Протерти всі поверхні деталі	-
105	Комплектування	Перевірити розміри, розбити деталь групах селективності.	-
110	Комплектування	Комплектувати шестерню ведену по групам селективності.	-

2.9 Визначення технологічних баз

Обрання технологічних баз є ключовим етапом у розробці технологічного процесу. Для технологічних вимог деталі необхідно обрати схему базування під час її механічної обробки.

Процес вибору технологічних баз слід розпочинати з визначення чорнової бази для першої операції, на якій формуються бази для наступних етапів обробки. При цьому важливо дотримуватись принципів незмінності баз. Крім того, варто забезпечити суміщення технологічних баз із конструкторськими, що дозволяє досягати високої точності оброблюваних поверхонь.

Аналіз технологічних баз для шестерні веденої НШ16Д-4-00-04. Зубчатий торець та зовнішня циліндрична поверхня заготовки приймемо за чорнову базу. Під час першої операції виконується обробка та центрування торців деталі і обробка зовнішніх циліндричних поверхонь. При виконанні токарних робіт, а також обробці зубців, деталь базується у призмах. Суперфінішна обробка проводиться з базуванням у центрах.

2.10 Розробка структури технологічного процесу

Технологічний процес, який спроектовано для деталі вал-шестерня є покращеною версією базового технологічного процесу (таблиця 2.4). В ньому ми будемо використовувати більш новітні верстати та, відповідно, операції.

Зміст та структура покращеного технологічного процесу будуть приведені в таблиці 2.1

Отже, операція 005 відображена в таблиці 2.12 де видно перші етапи технологічного процесу: підрізання торців, фрезерно-центрувальна обробка, точіння поверхонь деталі та врізання канавок. Базуватися деталь буде по черзі на поверхнях шийок вала.

Спочатку обробимо праву частину веденої шестерні.

Підріжемо торець та виконаємо фрезерно-центрувальну обробку для подальшого базування заготовки.

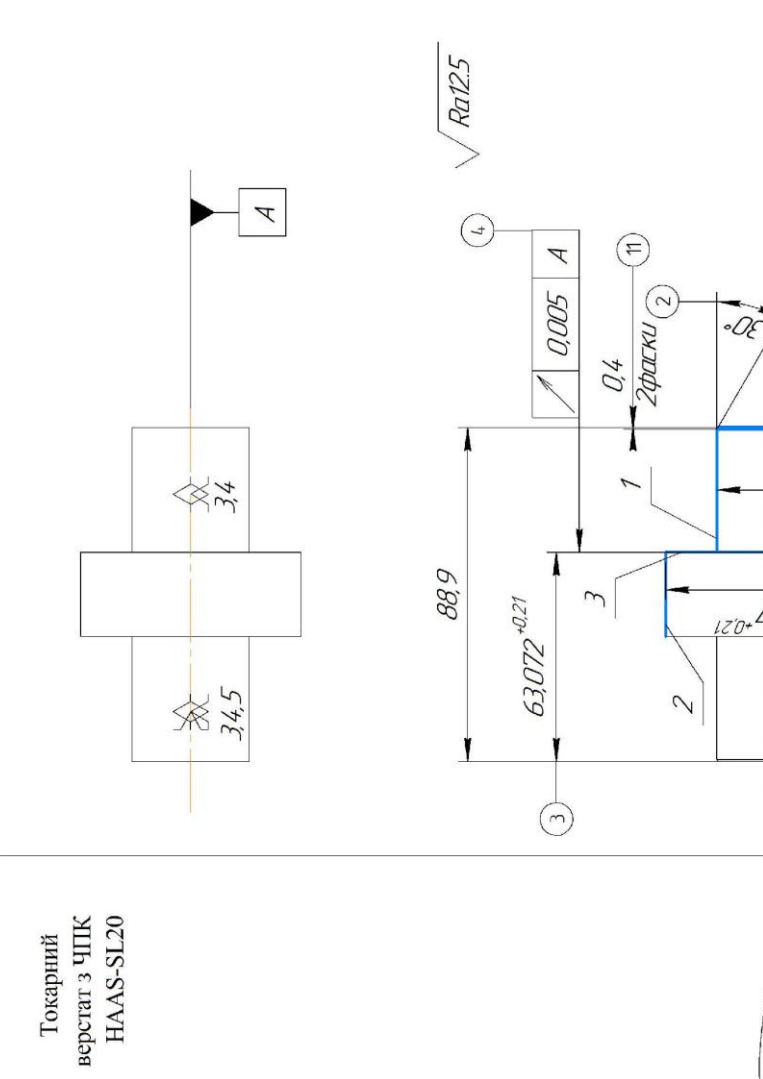
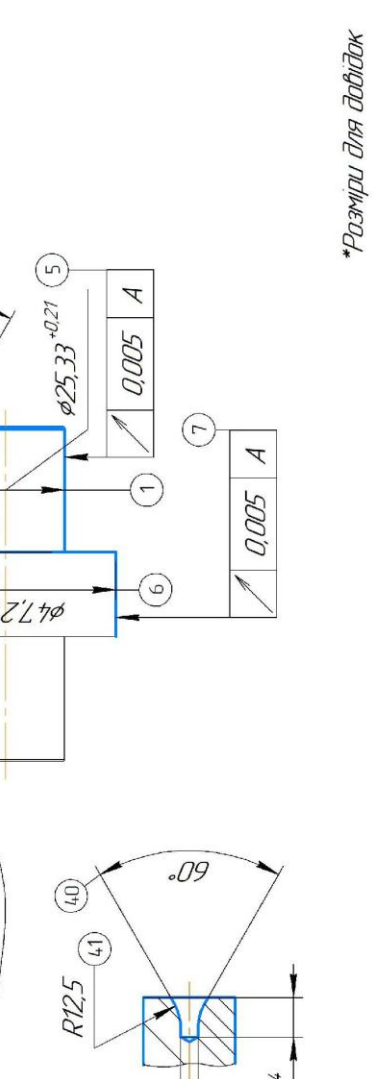
Далі виконується точіння чорнове та чистове циліндричних поверхонь деталі.

Після чого підрізаємо правий зубчатий торець та за ним канавку.

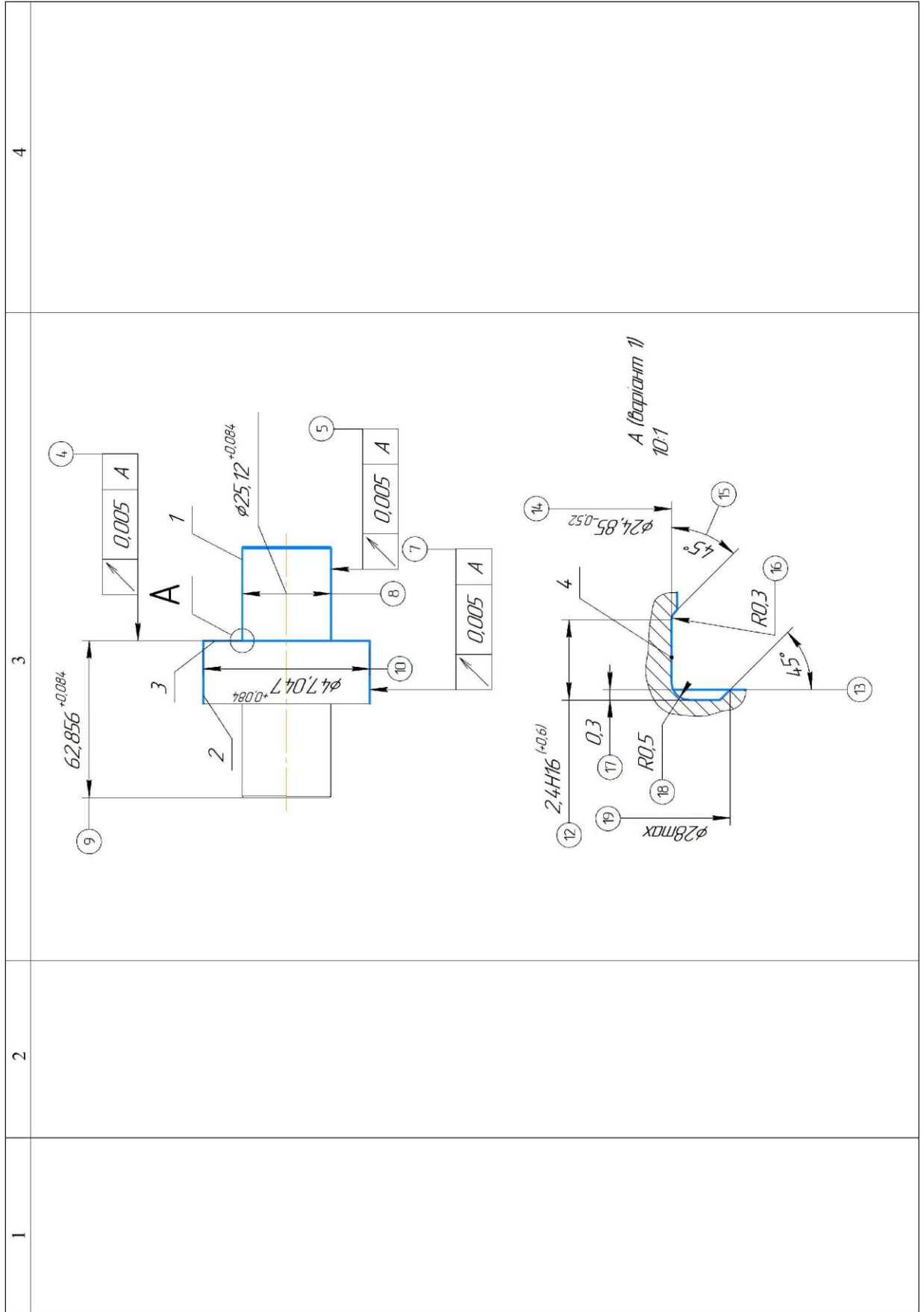
Відкріплюємо та перестановлюємо деталь для обробки поверхонь лівої частини виконуючі всі тіж операції окрім точіння зовнішньої циліндричної поверхні зубчатого вінця.

Для цих операцій було прийнято рішення використати верстат HAAS-SL20

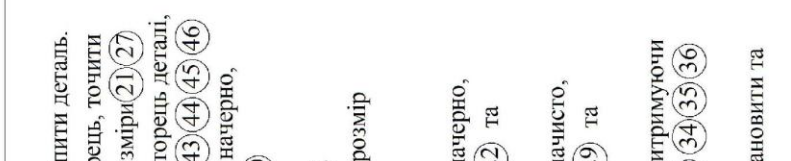
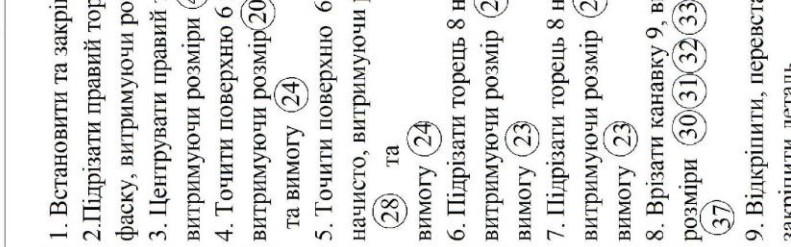
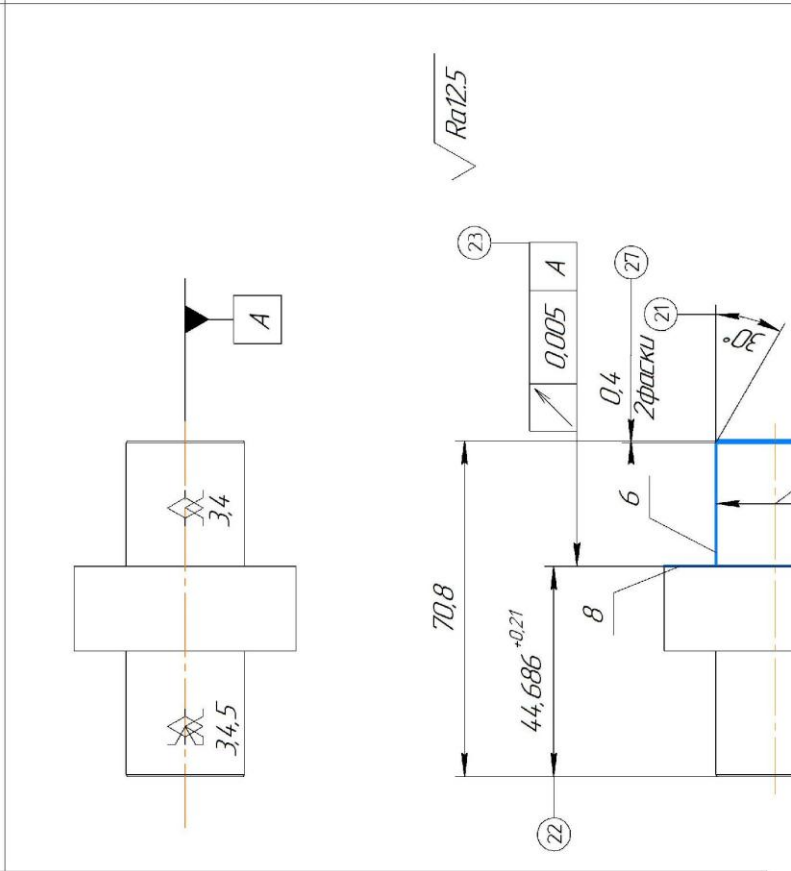
Таблиця 2.12 – Структура технологічного процесу (операція 005)

1	005 Токарна з ЧПК	2 Токарний верстат з ЧПК HAAS-SL20	3	4
<p>1. Токарна з ЧПК</p> 		<p>1. Встановити та закріпити деталь. 2. Підрізати правий торець, точити фаску, витримуючи розміри (2) (11) (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19). 3. Центрувати правий торець деталі, витримуючи розміри (39) (40) (41) (42). 4. Точити поверхні 1, 2 начерно, витримуючи розміри (1) (3) (6) та вимоги (5) (7) та вимоги (5) (7). 5. Точити поверхні 1, 2 начисто, витримуючи розміри (8) (9) (10) та вимоги (5) (7). 6. Підрізати торець 3 начерно, витримуючи розмір (3) та вимогу (4). 7. Підрізати торець 3 начисто, витримуючи розмір (9) та вимогу (4). 8. Врізати канавку 4, витримуючи розміри (12) (13) (14) (15) (16) (17) (18) (19). 9. Відкріпити, перевстановити та закріпити деталь.</p>		
 <p style="text-align: right;">*Розміри для довідок</p>				

Продовження таблиці 2.12

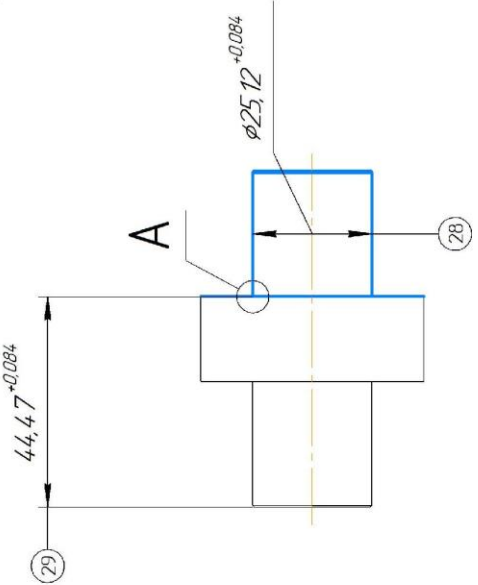
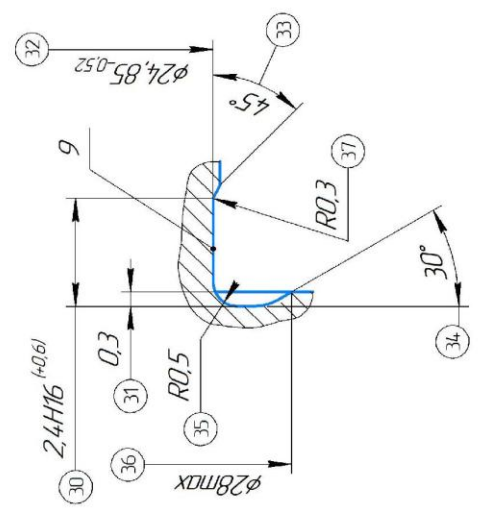


Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4
			<p>1. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>2. Підрізати правий торець, точити фаску, витримуючи розміри (21)(27)</p> <p>3. Центрувати правий торець деталі, витримуючи розміри (43)(44)(45)(46)</p> <p>4. Точити поверхню 6 начерно, витримуючи розмір (20) та вимогу (24)</p> <p>5. Точити поверхню 6 начисто, витримуючи розмір (28) та вимогу (24)</p> <p>6. Підрізати торець 8 начерно, витримуючи розмір (22) та вимогу (23)</p> <p>7. Підрізати торець 8 начисто, витримуючи розмір (29) та вимогу (23)</p> <p>8. Врізати канавку 9, витримуючи розміри (30)(31)(32)(33)(34)(35)(36)(37)</p> <p>9. Відкріпити, перевстановити та закріпити деталь.</p>

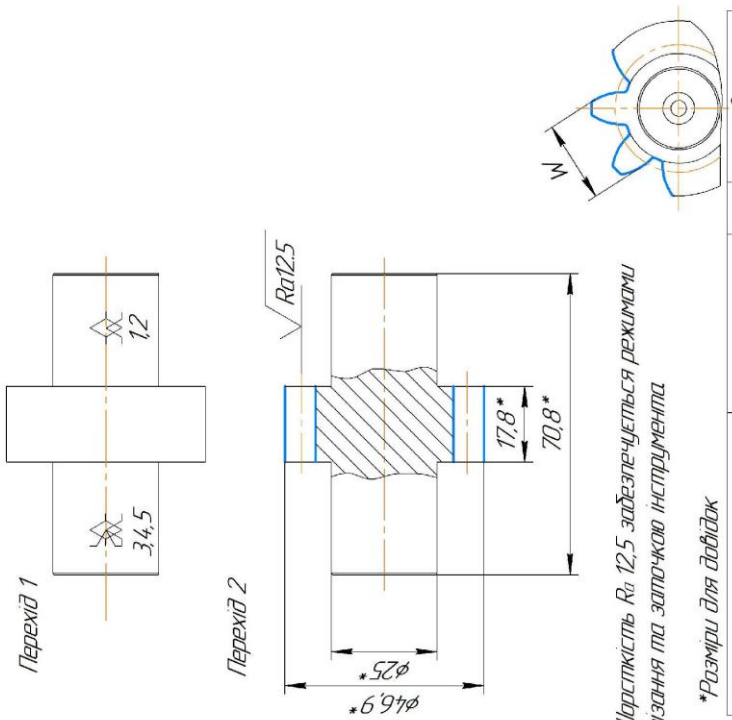
*Розміри для довідок

Продовження таблиці 2.12

1	2	3	4
		<p style="text-align: center;">$\sqrt{Ra3.2}$</p>  <p style="text-align: center;">(29) $44,47^{+0,084}$</p> <p style="text-align: center;">(28) $\phi 25,12^{+0,084}$</p> <p style="text-align: center;">A</p>	
			<p style="text-align: center;">A (варіант 2) 10:1</p>  <p style="text-align: center;">(30) $2,4116^{+0,061}$</p> <p style="text-align: center;">(31) 0,3</p> <p style="text-align: center;">(32) $\phi 24,85_{-0,52}$</p> <p style="text-align: center;">(33) 9</p> <p style="text-align: center;">(34) 45°</p> <p style="text-align: center;">(35) R0,5</p> <p style="text-align: center;">(36) R0,3</p> <p style="text-align: center;">(37) R0,3</p> <p style="text-align: center;">(38) $\phi 28\text{mm}$</p>

010 Далі виконується фрезерування зубців шестерні на зубофрезерному верстаті 53А80Н (таблиця 2.13). Фрезерування придасть зубцям їх основну форму, після чого виконаємо чистове фрезерування для покращення параметрів поверхні зубців.

Таблиця 2.13 – Структура фрезерної операції 010

1	2	3	4																											
<p>010 Зубофрезерна</p>	<p>Зубофрезернийнапів-автомат 53А80Н</p>	 <p><i>Шорсткість Ra 12,5 забезпечується режимами різання та заточкою інструмента.</i></p> <p><i>*Разміри для довідок</i></p> <table border="1" data-bbox="1077 884 1396 1590"> <tr> <td>Модуль</td> <td>m</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Число зубців</td> <td>z</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Вихідний контур</td> <td></td> <td>ГОСТ 13755-81</td> </tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td> <td>x</td> <td>+0,1815</td> </tr> <tr> <td>Точність по ГОСТ 1643-81</td> <td></td> <td>9-10-9-Аh</td> </tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td> <td>W</td> <td>14,203</td> </tr> <tr> <td>Діаметр ділячної окружності</td> <td>d</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>Діаметр загальної окружності</td> <td>db</td> <td>36,648</td> </tr> <tr> <td>Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці</td> <td>ρ</td> <td>1,3955</td> </tr> </table>	Модуль	m	3	Число зубців	z	13	Вихідний контур		ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,1815	Точність по ГОСТ 1643-81		9-10-9-Аh	Довжина загальної нормалі	W	14,203	Діаметр ділячної окружності	d	39	Діаметр загальної окружності	db	36,648	Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Зачистити заусенні від виходу фрези (для контролюємих деталей). 5. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 6. Покласти деталь в тару.
Модуль	m	3																												
Число зубців	z	13																												
Вихідний контур		ГОСТ 13755-81																												
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,1815																												
Точність по ГОСТ 1643-81		9-10-9-Аh																												
Довжина загальної нормалі	W	14,203																												
Діаметр ділячної окружності	d	39																												
Діаметр загальної окружності	db	36,648																												
Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955																												

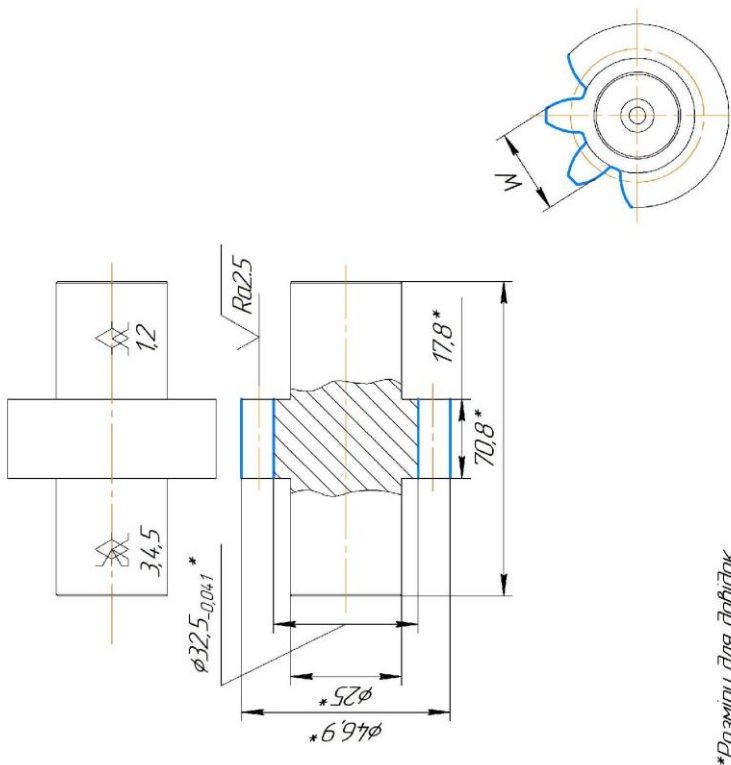
015 Далі виконується зубодовбальна операція на зубодовбальному верстаті “Зубодовбальний напівавтомат 5122КН24” для відтворення профілю зуба з високою точністю (таблиця 2.14).

Таблиця 2.14 – Структура зубодовбальної операції 015

1	2	3	4																											
015 Зубодовбальна	Зубодовбальний напівавтомат 5122КН24	<p>Шорсткість $Ra\ 3.2$ забезпечується режимом різання та заточкою інструмента.</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Довбати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Зачистити заусенці від виходу довбняка. 5. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 6. Покласти деталь в тару. 																											
<i>*Розміри для довідок</i>			<table border="1"> <thead> <tr> <th>Модуль</th> <th>m</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Число зубців</td> <td>z</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Вихідний контур</td> <td></td> <td>ГОСТ 13755-81</td> </tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td> <td>x</td> <td>+0,1815</td> </tr> <tr> <td>Точність по ГОСТ 1643-81</td> <td></td> <td>9-10-9-Аh</td> </tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td> <td>W</td> <td>14,203</td> </tr> <tr> <td>Діаметр ділальної окружності</td> <td>d</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>Діаметр загальної окружності</td> <td>d_h</td> <td>36,648</td> </tr> <tr> <td>Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці</td> <td>ρ</td> <td>1,3955</td> </tr> </tbody> </table>	Модуль	m	3	Число зубців	z	13	Вихідний контур		ГОСТ 13755-81	Коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,1815	Точність по ГОСТ 1643-81		9-10-9-Аh	Довжина загальної нормалі	W	14,203	Діаметр ділальної окружності	d	39	Діаметр загальної окружності	d _h	36,648	Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955
Модуль	m	3																												
Число зубців	z	13																												
Вихідний контур		ГОСТ 13755-81																												
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	x	+0,1815																												
Точність по ГОСТ 1643-81		9-10-9-Аh																												
Довжина загальної нормалі	W	14,203																												
Діаметр ділальної окружності	d	39																												
Діаметр загальної окружності	d _h	36,648																												
Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955																												

020 Останнім кроком обробки зубців є зубошевінгування. Цією операцією ми зможемо досягти найвищу точність поверхні. Виконуватися це буде на зубошевінгувальному напівавтоматі АВС-02В (таблиця 2.15).

Таблиця 2.15 – Структура зубошевінгувальної операції 020

1	2	3	4																																	
020 Зубошевінгувальна	Зубошевінгувальний напівавтомат АВС-02В	 <table border="1" data-bbox="1077 929 1412 1579"> <thead> <tr> <th></th> <th>m</th> <th>z</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Модуль</td> <td>3</td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Число зубців</td> <td></td> <td>ГОСТ 13755-81</td> </tr> <tr> <td>Вихідний контур</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення</td> <td>x</td> <td>+0,1815</td> </tr> <tr> <td>Контур вихідного контура</td> <td></td> <td>9-10-9-4h</td> </tr> <tr> <td>Точність по ГОСТ 1643-81</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Довжина загальної нормалі</td> <td>W</td> <td>14,203</td> </tr> <tr> <td>Діаметр ділільної окружності</td> <td>d</td> <td>39</td> </tr> <tr> <td>Діаметр загальної окружності</td> <td>da</td> <td>36,648</td> </tr> <tr> <td>Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці</td> <td>ρ</td> <td>1,3955</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>*Разміри для довідок</i></p>		m	z	Модуль	3	13	Число зубців		ГОСТ 13755-81	Вихідний контур			Коефіцієнт зміщення	x	+0,1815	Контур вихідного контура		9-10-9-4h	Точність по ГОСТ 1643-81			Довжина загальної нормалі	W	14,203	Діаметр ділільної окружності	d	39	Діаметр загальної окружності	da	36,648	Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шевінгувати зубці деталі, витримуючи розміри згідно таблиці. 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри деталі згідно таблиці. 5. Покласти деталь в тару.
	m	z																																		
Модуль	3	13																																		
Число зубців		ГОСТ 13755-81																																		
Вихідний контур																																				
Коефіцієнт зміщення	x	+0,1815																																		
Контур вихідного контура		9-10-9-4h																																		
Точність по ГОСТ 1643-81																																				
Довжина загальної нормалі	W	14,203																																		
Діаметр ділільної окружності	d	39																																		
Діаметр загальної окружності	da	36,648																																		
Радіус кривизни активного профіля зуба в нижній точці	ρ	1,3955																																		

Далі виконуються підготовчі (перевірочні) операції:

025 Промивка – деталь промивається для видалення забруднень. Виконується на миючій машині ГМ 752.

030 Слюсарна операція – виконується затушення гострих кромки по всіх поверхнях деталі. Виконується на столі ГМ 3112.

035 Контрольна операція – перевіряємо розміри деталі після попередніх операцій. Виконується на столі ГМ 3112.

040 Транспортна операція – деталь транспортується на дільницю термічної обробки. Виконується автопогрузчиком АВ-2.

045 Термічна обробка – деталь проходить цементування для зміцнення поверхневого шару. Виконується згідно технологічного процесу.

050 Транспортна операція – деталь транспортується на дільницю абразивної обробки. Виконується автопогрузчиком АВ-2.

055 Зачистка – центрові отвори зачищаються для подальших установок. Виконується на столі ГМ 1765.

Повертаємось до механічних обробок деталі.

060 Круглошліфувальна операція – процесу шліфування поверхні обертання.

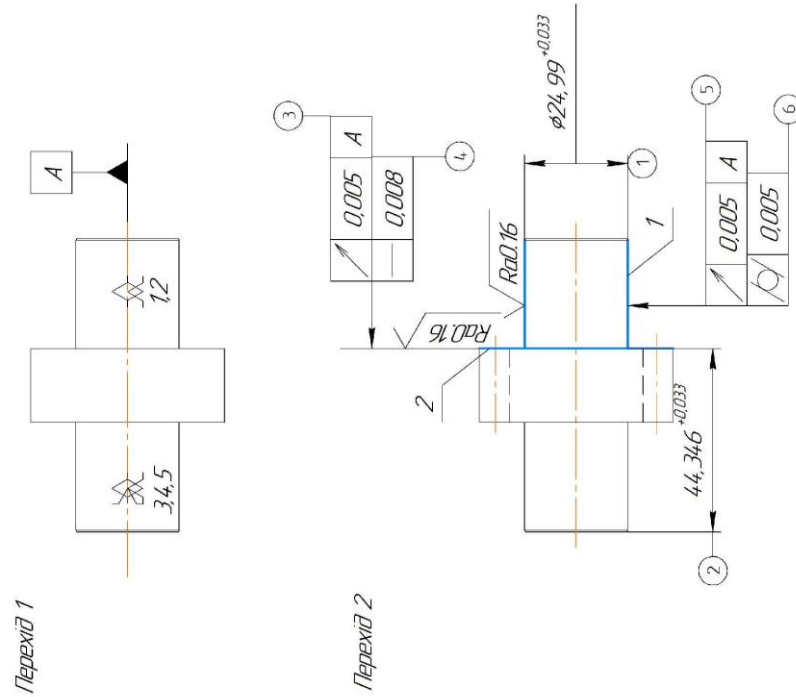
Виконується на круглошліфувальному верстаті з ЧПК 3М152МФ2 (таблиця 2.16).

Таблиця 2.16 – Структура круглошліфувальної операції 060

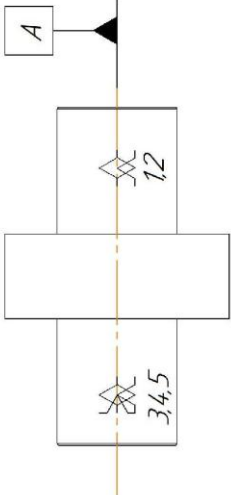
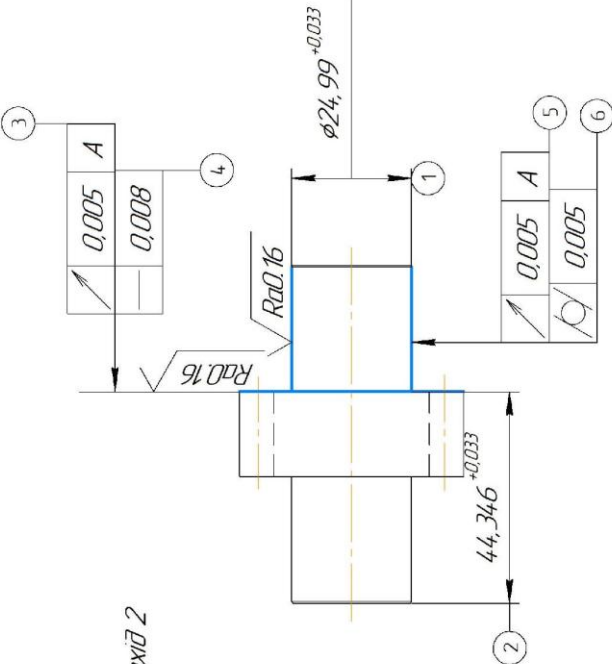
1	060 Круглошліфувальна з ЧПК	2	Кругло- шліфувальний напівавтомат з ЧПК 3М152МФ2	4	
1. Встановити та закріпити деталь.		2. Шліфувати поверхню 1 вигримуючи розмір ① та вимогу ②		3. Відкріпити та зняти деталь.	
4. Перевірити розмір ① та вимогу ②		6. Покласти деталь в тару.			
		<p>*Розміри для двійдок</p>			

065 Торцекруглошліфувальна операція – виконуємо шліфування цапфи та торця одночасно. Виконується на круглошліфувальному верстаті ЗБ153 (таблиця 2.17). Повторна торцекруглошліфувальна операція – виконується для шліфування цапфи та торця з другої сторони деталі. Виконується також на круглошліфувальному верстаті ЗБ153.

Таблиця 2.17 – Торцекруглошліфувальна операція 065

<p>1 065 Торцекруглошліфувальна</p>	<p>2 Круглошліфувальний з ЧПК ЗБ153</p>	<p>3</p>  <p>Допуск ④ тільки в сторону вичугності.</p>	<p>4</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати поверхні 1, 2 одночасно, витримуючи розміри ① ② та вимоги ③ ④ ⑤ ⑥ 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри ① ② та вимоги ③ ④ ⑤ ⑥ 5. Відкріпити та перевстановити деталь.
---	---	---	---

Продовження таблиці 2.17

1	2	3	4
	<p>Перехід 1</p> 	<p>Перехід 2</p> 	<p>1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати торець і шийку одночасно, витримуючи розміри ① ② та вимоги ③ ④ ⑤ ⑥. 3. Відкрити та зняти деталь. 4. Перевірити розміри ① ② та вимоги ③ ④ ⑤ ⑥. 5. Покласти деталь в тару.</p>
		<p>Допуск ④ тільки в сторону вигнутості.</p>	

070 Після цього виконуємо електрохімічну очистку – притуплюємо гострі кромки профілю евольвенти та западин зубців шестерні з двох сторін. Виконується згідно технологічного процесу.

075 Промивка – повторне миття деталі перед фінішною обробкою. Виконується на миючій машині ГМ 752.

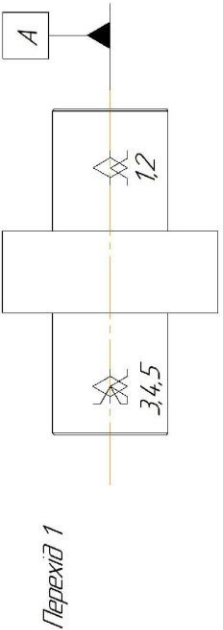
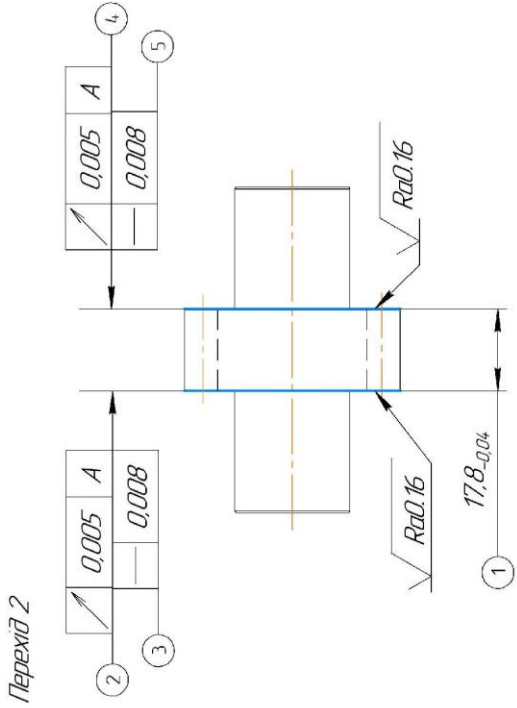
080 Суперфінішна обробка – суперфінішувати цапфи. Виконується безцентрово-суперфінішним напівавтоматом ЗД879БН27 (таблиця 2.18).

Таблиця 2.18 – Суперфінішна операція 080

1	080 Суперфінішна	<div data-bbox="406 1691 534 1870" style="display: inline-block; vertical-align: top;"> <p>2</p> <p>Безцентрово-супер- фінішний напівавто- мат ЗД879БН27</p> </div> <div data-bbox="359 660 391 840" style="display: inline-block; vertical-align: top;"> <p>3</p> </div> <div data-bbox="399 672 1141 1680" style="text-align: center;"> </div> <div data-bbox="1268 1456 1300 1646" style="display: inline-block; vertical-align: top;"> <p>*Разміри для довідок</p> </div>
4		<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити деталь. 2. Суперфінішувати шийку до шерсткості $R_a 0,16$, витримуючи розміри (1) (2). 3. Зняти деталь. 4. Перевірити розміри (1) (2) та шерсткість поверхонь. 5. Покласти деталь в тару.

085 Доводочна – доводимо торці одночасно. Виконується на верстаті для алмазної доводки шестерень 020-011 (таблиця 2.19).

Таблиця 2.19 – Доводочна операція

1	085 Доводочна	2	Верстат для алмазної доводки шестерень 020-011	3	 <p>Перехід 1</p>  <p>Перехід 2</p> <p>Допуски 3 5 тільки в сторону вогнутості.</p>	4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Доводити торці до шорсткості $R_a 0,16$ одночасно, витримуючи розмір ① та вимоги ② ③ ④ ⑤ 3. Відкріпити та зняти деталь. 4. Перевірити розмір ① вимоги ② ③ ④ ⑤ та шорсткість поверхонь. 5. Покласти деталь в тару.
---	------------------	---	--	---	--	---	--

090 Заточна операція – зачищуємо торець цапфи шестерні під клеймування та заусенці в шліцах. Виконується на столі ГМ 1765.

095 Промивка – промиваємо деталь. Використовується миюча машина ГМ 752.

100 Протирка – Протираємо поверхні деталі

105 Комплектування – перевіряємо параметри деталі та комплектуємо її по групам селективності.

3. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Опис устрою та роботи затискного пристрою

Кінцевим елементом промислового робота є захватний пристрій. Головна особливість таких виконавчих елементів полягає в тому, що вони є кінцевою частиною незамкненої просторової конструкції руки робота, яка повинна виконувати високошвидкісні зворотно-поступальні або обертові рухи з необхідною точністю. У таких умовах захватний пристрій має забезпечувати надійне утримання транспортувальних деталей, водночас характеризуючись мінімальними масо-габаритними параметрами. Це можливо лише за умови точного розрахунку сил, які впливають на пристрій.

Більшість операцій із захоплення, виконуваних роботом, передбачає утримання незрівноважених деталей. Це відбувається як на етапі первинного захоплення, так і під час робочого циклу, коли робот встановлює деталь на верстат для обробки, після чого вона може змінювати форму та розміри. Зазначені особливості призводять до варіювання сил затиску в захватному пристрої, що, своєю чергою, впливає на його функціональність та ефективність.

Слід зазначити, що актуальність зазначеної проблеми суттєво зросла в сучасних умовах, оскільки робототехніка активно знаходить застосування не лише у виробничій сфері, але й у військовій галузі. Зокрема, в машинобудуванні промислові маніпулятори активно використовуються для обслуговування технологічного обладнання [1, с.58], тоді як у військовій сфері мобільні роботи з маніпуляторами виконують завдання взаємодії з небезпечними об'єктами. Розроблена нами методика силового розрахунку спрямована на визначення мінімально необхідних сил затиску для надійної фіксації об'єктів.

Для захвату шестерні веденої було прийнято рішення розробити призматичний захватний пристрій. Дане рішення було зумовлене простотою виготовлення та надійною фіксацією деталі, що розглядається в роботі.

Нижче можна побачити будову даного пристрою (рис. 3.1).

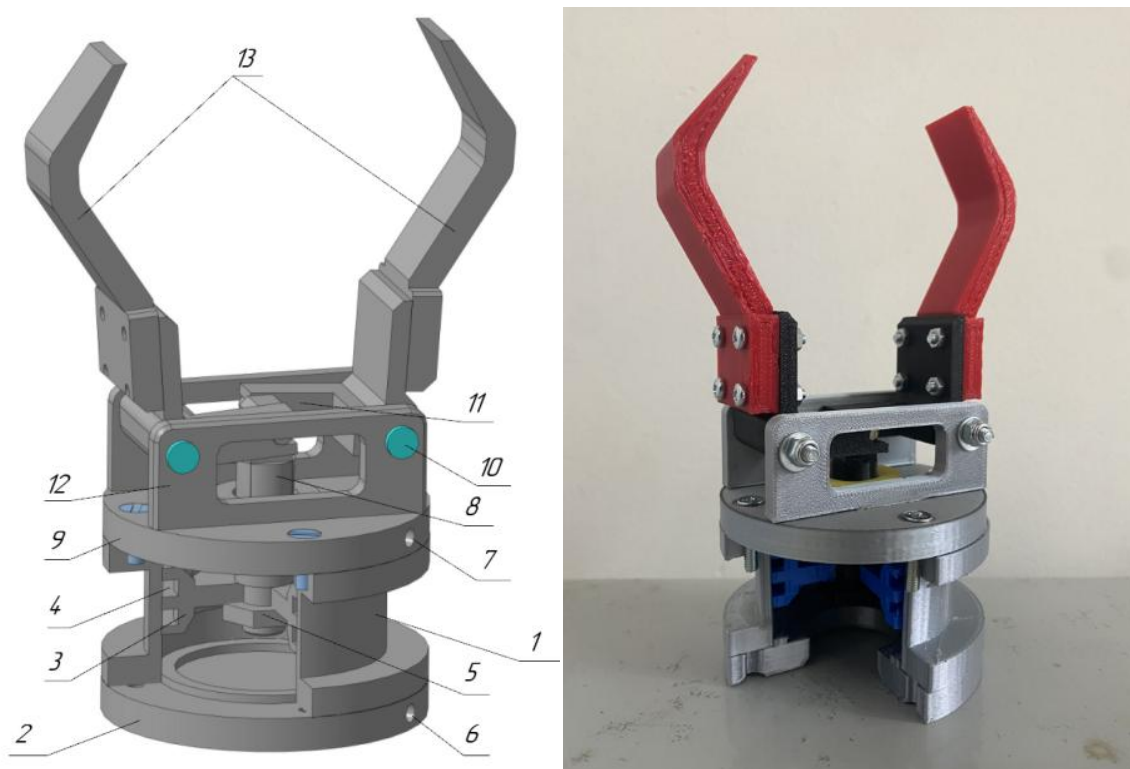


Рисунок 3.1 – Основні елементи розробленого механічного захватного пристрою:

де: 1 – циліндр; 2 – нижня кришка; 3 – поршень; 4 – ущільнююче кільце; 5 – гайка; 6, 7; 8 – шток; 9 – верхня кришка; 10 – вісь; 11 – кронштейн для затискних важелів; 12 – планки; 13 – затискні важелі.

Даний пристрій складається з таких основних частин: базовою деталлю в даній конструкції є циліндр 1, в нижній частині якого розташовується нижня кришка 2. В нижній кришці 1 є отвір 6 для встановлення штуцера. В середині циліндра знаходиться поршень 3 з ущільнюючим кільцем 4, який з'єднаний з штоком 8 завдяки гайці 5. Вище циліндра розташована верхня кришка 9 з аналогічним отвором для штуцера 7. На верхній кришці знаходяться планки 12 з віссями 10. Основний механізм затиску деталей – затискні важелі 13 тримаються на віссі 10, кронштейнах для затискних важелів та на штоці 8.

Розроблений захватний пристрій працює наступним чином: при подачі стиснутого повітря в нижню камеру циліндра 2, поршень 3 переміщується вперед і штовхає прикріплений до нього шток 8, який в свою чергу повертає

на відповідний кут кронштейни затискних важелів 11. Разом з кронштейнами 11 повертаються на той же кут і затискні важелі 13, так як вони прикріплені до цих кронштейнів 11. Так здійснюється розтиск затискних важелів 13 перед взяттям об'єкту маніпулювання, а в нашому випадку деталі шестерня ведена.

Коли промисловий робот виходить на позицію взяття деталі, то затиск відбувається в зворотньому порядку, а саме: відбувається подача стиснутого повітря в штокову камеру циліндра 9, поршень 3 переміщується назад разом зі штоком 8, що призводить до руху кронштейн затискних важелів разом з затискними важелями 13 на відповідний кут навколо вісі 10.

3.2 Розрахунок сил затиску захватного пристрою

Під час захвату деталі на неї діють різні сили: сили інерції, сили тертя та сили затиску. Важливу роль відіграє вага деталі, оскільки вона впливає на силу затиску, яка необхідна для утримання деталі. Самі ж сили затиску утворюються в результаті дії приводу захвата.

Розглянемо дії сил, що виникають при переміщенні захвата з деталлю у різних напрямках і при різних положеннях.

Розрахункова схема розробляється з урахуванням особливостей затиску деталі захватним механізмом і передбачає використання таких позначень:

G — вага деталі;

I — сила інерції;

α — половина кута призми;

β — кут напрямку сили інерції;

P_1, P_2, P_3, P_4 — мінімально необхідні зусилля затиску деталі;

F_1, F_2 — сили тертя, що виникають між деталлю та призмами захватного механізму під впливом сили інерції.

Розглянемо роботу захватного механізму у випадку, коли сила інерції спрямована вертикально вниз. На початковому етапі необхідно визначити мінімальні зусилля затиску, які впливають на деталь. Для цього здійснюється побудова проєкцій усіх сил, що взаємодіють у межах заданої системи.

Виконаємо розрахунок для вертикально розміщеного захвата при дії сили інерції вниз (рисунок 3.1).

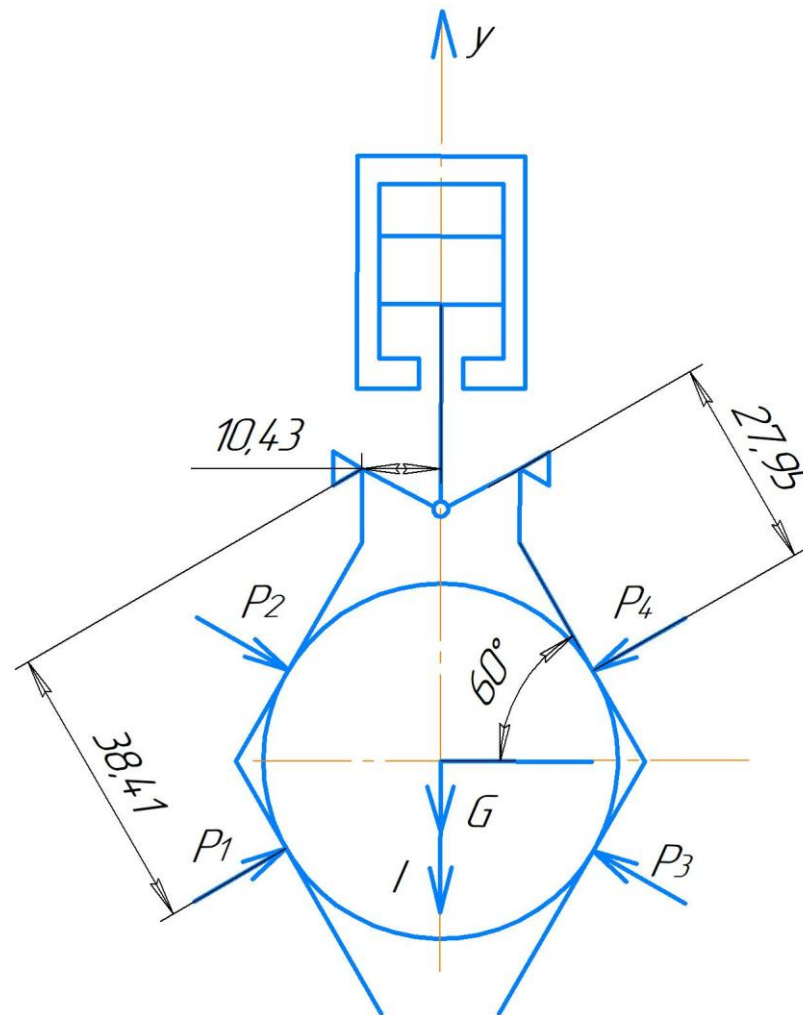


Рисунок 3.1 – Схема затиску деталі

Спочатку визначаємо мінімальні сили затиску, що діють на деталь. Для цього спроектуємо всі сили, які діють в системі.

Вісь OX:

$$P_1^x \cdot \sin \alpha - P_3^x \cdot \sin \alpha = 0 \quad (3.1)$$

Проекції даних сил на вісь OX компенсують одна одну, так як сили рівні між собою.

$$P_1^x = P_3^x \quad (3.2)$$

Вісь OY:

$$P_1^y \cdot \cos \alpha + P_3^y \cdot \cos \alpha + F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \alpha - I - G = 0 \quad (3.3)$$

Вирішуючи приведені рівняння, визначаємо значення сил P_1 і P_2 .

$$P = \frac{I + G}{2(\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha)} \quad (3.4)$$

Вхідні дані: $m = 0,1248$ кг; $D_H = 46,9$ мм; $\alpha = 60^\circ$; $I = G$; $d = 14$ мм;

$$I = G = mg = 0,1248 \cdot 9,81 = 1,224; f = 0,1; k = \frac{d}{D}; p = 0,5;$$

1) Розраховуємо силу затиску:

$$P = \frac{I+G}{2(\cos \alpha + f \cdot \sin \alpha)} = \frac{1,224+1,224}{2(\cos 60^\circ + 0,1 \cdot \sin 60^\circ)} = 2,0 \text{ Н}$$

2) Визначаємо діаметр циліндра.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 P \cdot L_1}{\pi \cdot p \cdot (1-k)^2 \cdot l_4}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 2,09 \cdot 38,41}{3,14 \cdot 0,5 \cdot (1 - \frac{14}{46,9})^2 \cdot 27,95}} = 40 \text{ мм}$$

Досліджуючи вплив конструктивних параметрів бачимо, що на сили затиску мають вплив такі кути: кут призми 2α ; кут напрямку сили інерції β . Для полегшення розрахунків приймаємо, що $I = G$, а коефіцієнт тертя $f = 0,12$. Розглянемо вплив кута призми на сили затиску захватного пристрою та побудуємо відповідні графіки. Для цього розраховуємо сили затиску при таких значеннях кутів призми 2α : $60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$. Кут напрямку сили інерції $\beta = 0^\circ$.

Будуємо графіки залежності сил затиску P_1, P_2, P_3, P_4 від кута призми 2α (рисунок 3.2).

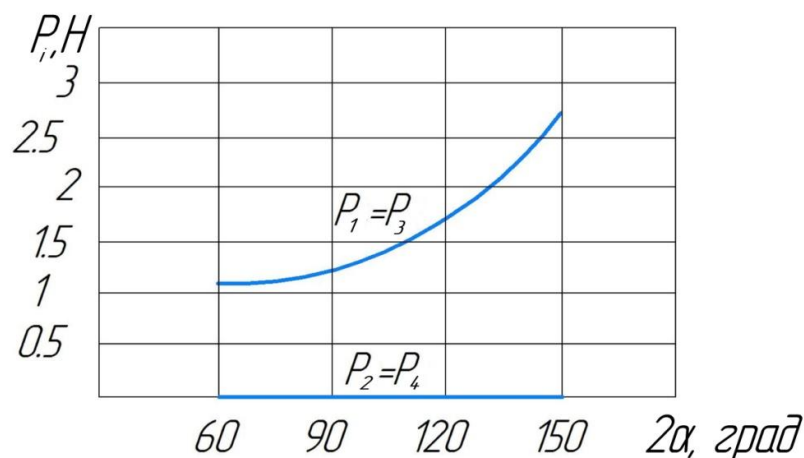


Рисунок 3.2 – Графіки впливу кута затискних призм 2α на сили затиску P_1, P_2, P_3, P_4

ВИСНОВКИ

Коли кут напрямку сили інерції $\beta = 0^\circ$ то сили затиску зі збільшенням кута призми 2α від 60° до 150° $P_1 = P_3$ будуть збільшуватися, а сили $P_2 = P_4 = 0$ (рис. 3.2), а тому кут призми 2α необхідно вибирати в межах від 60° - 90° . Такий варіант розрахункової схеми відповідає руху руки робота вгору і являє собою самий навантажений варіант, коли є ймовірність, що деталь вислизне із затискних елементів. А зменшення кута затискних призм дає ефект підтримки деталі знизу, тому значення сил затиску зменшується, а відповідно і сила на приводі теж зменшується. В свою чергу це дає можливість зменшити масо-габаритні показники захватного пристрою та покращити продуктивність промислового робота.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти : метод. рекомендації з оформлення кваліфікаційної роботи : спец. 131 Прикладна механіка / [уклад. : В. А. Мажара, А. І. Гречка, В. В. Свяцький та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. Кропивницький : ЦНТУ, 2024 – 40 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/15701>
2. Боженко Л. І. Технологія машинобудування. Проектування технологічного спорядження : посібник. Львів : Світ, 2001. 296 с.
3. Pavlenko I. I. Robotic technological complexes: monograph / I. I. Pavlenko, V. A. Mazhara; under the editorship I. I. Pavlenko. – Кропивницький: KOD, 2019. – 382 р.
4. Проектування затискних пристроїв та оснащення : метод. рекомендації до виконання самостійної роботи здобувачами вищої освіти галузі знань 13 «Механічна інженерія» / [уклад. : В. А. Мажара, А. М. Артюхов, С. А. Тененика] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. машинобудування, мехатроніки і робототехніки. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – 44 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/13759>
5. Кваліфікаційна робота за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти: методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти спеціальності 131 «Прикладна механіка» всіх форм навчання / К. К. Щербина та ін., – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. 16 с.
6. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ, 2014. 104 с.
7. Гевко Б.М., Дичковський М.Г., Матвійчук А.В. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої : навч. посіб. Київ : «Кондор», 2008. 220 с.

8. Мажара В.А. Визначення кутів повороту ведучих ланок адаптивного захватного пристрою / Мажара В.А., Годунко М.О, Кислун О.А. // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 27 – Кіровоград: КНТУ, 2014. – С. 28 – 33.

9. Мажара В.А., Павленко І.І. Дослідження умов зміни захватів місцями в робочій зоні верстату // Збірник наукових праць КНТУ / Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. Вип. 21 – Кіровоград: КНТУ, 2008. – С. 150 – 154.

10. Основи гнучкого автоматизованого виробництва : метод. вказ. до викон. самостійної роботи : студ. спец. "Прикладна механіка" / [уклад. : В. А. Мажара, М. О. Годунко] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 32 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/9037>

11. Технологічне оснащення : метод. вказ. до викон. курсового проекту / [уклад. : І. І. Павленко, В. А. Мажара] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. технології машинобудування. – Кропивницький : ЦНТУ, 2017. – 36 с. – Режим доступу: <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/8429>

12. Розробка методики силового розрахунку вертикально орієнтованого захватного пристрою / М. О. Годунко, О. А. Кислун, В. А.Мажара [та ін.] // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2023. - Вип. 7(38). - Ч. 2. - С. 27-33.

13. Павленко, І. І. Структура продуктивності верстатних роботизованих комплексів / І. І. Павленко, В. А. Мажара // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2005. – Вип. 17. – С. 131–137.