

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  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
на тему:  
**Розробка технології механічної обробки деталі  
шестерня ведуча**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ГМ-22мб-3  
ОПП «Галузеве машинобудування»  
спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ Дмитро ОКСАМИТНИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент  
\_\_\_\_\_ Кирил ЩЕРБИНА

Рецензент:  
\_\_\_\_\_

**Центральноукраїнський національний технічний університет**

Механіко-технологічний факультет

Кафедра машинобудування, мехатроніка і робототехніка

Перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма: Галузеве машинобудування

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

\_\_\_\_\_ Андрій ГРЕЧКА

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ  
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти  
Оксамитний Дмитро Сергійович**

**Тема роботи:**

Розробка технології механічної обробки деталі шестерня ведуча

**Керівник роботи:**

канд. техн. наук, доцент Кирил ЩЕРБИНА

Затверджено наказом ЦНТУ від \_\_\_\_\_ 2025 року №

**Строк подання роботи до захисту**

20 червня 2025 р.

**Мета та завдання кваліфікації роботи:**

Мета: розробка технологічного процесу для виготовлення деталі шестерня ведуча

Завдання: обґрунтувати актуальність теми та напрямок розрахунків, провести розрахунок технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	14.02.2025	
2	Виконання загальної частини	28.02.2025	
3	Виконання технологічна частини	31.03.2025	
4	Розробка креслеників	30.04.2025	
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	12.05.2025	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	02.06.2025	
7	Рецензування роботи	12.06.2025	
8	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2025	

Дата видачі завдання  
3 лютого 2025 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Дмитро ОКСАМИТНИЙ

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Кирил ЩЕРБИНА

## АНОТАЦІЯ

Оксамитний Д.С. Розробка технології механічної обробки деталі шестерня ведуча : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 133 Галузеве машинобудування / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 65 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі шестерня ведуча.

Актуальність роботи полягає в підвищенні продуктивності та зменшення собівартості виготовлення деталі за рахунок використання сучасного обробного обладнання.

В роботі виконано опис вузла та деталі та їх службового призначення, аналіз точності та технологічності, виконано розрахунок режимів обробки, припусків на обробку та нормування операцій.

**технологічний процес, режими обробки, шестерня ведуча, насос шестерений**

## ANNOTATION

Oksamytnyi D.S. Development of technology for machining the pinion gear part: qualification bachelor's thesis: specialty 133 Industrial Engineering / scientific adviser K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2025. 65 с.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop a technological process for the manufacture of a gear drive part.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part through the use of modern machining equipment.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the machining modes, machining allowances and rationing of operations.

**technological process, machining modes, drive gear, gear pump**

Центральноукраїнський національний технічний університет  
Механіко-технологічний факультет  
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

## **ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

до кваліфікаційної роботи на тему:

### **Розробка технології механічної обробки деталі шестерня ведуча**

**КРБ.ПМ.25.23.09.00.00**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу  
групи ГМ-22мб-3  
ОПП «Галузеве машинобудування»  
спеціальності 133 «Галузеве  
машинобудування»

\_\_\_\_\_ Дмитро ОКСАМИТНИЙ

Керівник роботи к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2025

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Загальна частина .....	9
1.1. Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів.....	9
2. Технологічна частина.....	14
2.1. Аналіз точності та технологічності деталей.....	14
2.2. Аналіз діючих технологічних процесів.....	18
2.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення.....	20
2.4. Вибір методів обробки поверхонь деталей.....	23
2.5. Розробка маршрутів виготовлення деталей.....	26
2.6. Вибір технологічних баз.....	30
2.7. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення.....	31
2.8. Вибір затискних пристроїв.....	53
2.9. Вибір різальних інструментів.....	54
2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....	55
2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.....	58
2.12. Визначення режимів різання.....	59
2.13. Технічне нормування операцій.....	60
Висновки.....	61
Література.....	62

## ВСТУП

У сучасних умовах серійного машинобудівного виробництва пріоритетним напрямом розвитку технологічних процесів металообробки виступає підвищення їх продуктивності та адаптивності, що обумовлено значним зростанням номенклатури деталей, які підлягають виготовленню, а також необхідністю переходу до автоматизованих форм виробництва. Забезпечення зазначених вимог можливе завдяки широкомасштабному впровадженню високотехнологічного обладнання, зокрема верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК), а також інтеграції багатоцільових технологічних модулів і гнучких виробничих систем (ГВС), що забезпечують масштабовану перебудову виробничого середовища.

Застосування верстатів з ЧПК дозволяє реалізувати високий рівень автоматизації основних і допоміжних операцій обробки, мінімізувати витрати часу на переналагодження при зміні номенклатури оброблюваних деталей, забезпечити стабільну точність геометричних параметрів і високу якість оброблених поверхонь, навіть у випадку виготовлення малосерійної продукції.

Проектування технологічного процесу механічної обробки в умовах сучасного машинобудівного підприємства потребує всебічного техніко-економічного аналізу альтернативних варіантів побудови виробничої структури, що передбачає зіставлення ефективності використання різних типів металообробного обладнання: від універсальних верстатів і напівавтоматів до високопродуктивних центрів з ЧПК. Визначальним критерієм при цьому є гнучкість адаптації обладнання до змін у структурі замовлень, швидкість реакції на вимоги ринку та здатність до інтеграції в автоматизовані виробничі комплекси.

Верстати з ЧПК суттєво переважають традиційні аналоги за рахунок реалізації контурного (інтерполяційного) керування, що забезпечує узгоджене переміщення виконавчих органів за декількома координатними осями (до шести включно), що особливо актуально при виготовленні просторово складних поверхонь та багатопрофільних деталей. Удосконалені характеристики головних приводів і приводів подач сприяють збільшенню потужності та жорсткості механічної системи, підвищенню динамічної стабільності й зменшенню похибок внаслідок вібрацій.

Сучасні моделі верстатів з ЧПК комплектуються автоматизованими системами зміни інструменту (АТС – Automatic Tool Changer) та механізмами подачі заготовок, що зумовлює підвищення автономності виробничого циклу. Токарні ЧПК-комплекси оснащуються багатопозиційними інструментальними головками з індивідуальними електроприводами, які дозволяють реалізовувати повноцінне контурне керування при токарній обробці, зокрема виконання фасонних і гвинтових поверхонь у напівавтоматичному або безоператорному режимі.

Інтеграція верстатів з ЧПК у виробничі комірки із застосуванням промислових роботизованих маніпуляторів і координатно-транспортних модулів відкриває можливість побудови «безлюдних» виробничих ліній (Unmanned Manufacturing Systems), де весь цикл обробки, контролю та переміщення деталей реалізується без участі оператора, що відповідає сучасним концепціям Індустрії 4.0.

Представлена кваліфікаційна робота присвячена інженерному опрацюванню структури механічного цеху з організацією випуску гідравлічного насоса двосекційного типу НШ28Д-10Д-3-00. У межах проекту здійснено розробку технологічних маршрутів механічної обробки відповідальних корпусних і зубчастих деталей, зокрема шестерні МШ28Д-00-02 із застосуванням обладнання з ЧПК, що забезпечує високу точність обробки, скорочення часу на переналагодження та можливість інтеграції в автоматизовану виробничу структуру.

## 1. Загальна частина

### 1.1. Характеристика вузла та деталі, обраної для проектування технологічного процесу

Шестеренний насос типу НШ28Д-10Д-3-00 є об'ємним гідравлічним агрегатом, що застосовується у складі гідросистем як виконавчий пристрій для забезпечення приводу активних робочих органів мобільних машин — зокрема, сільськогосподарської техніки, дорожньо-будівельних машин і спеціального транспортного обладнання. Конструкція насоса адаптована до умов серійної експлуатації в середовищах підвищених механічних і температурних навантажень, що зумовлює особливі вимоги до герметизації, надійності опор і зносостійкості функціональних елементів.

Принцип дії ґрунтується на реалізації гідродинамічного потоку через робочу камеру, сформовану западинами між зубцями ведучої (позиція 2) та веденої (позиція 3) шестерень (див. рис. 1.1), які обмежуються ізолюючими платиками (позиція 7) і підтискною обоймою (позиція 14). Потік рідини створює обертальний момент на ведучій шестерні, забезпечуючи функціонування агрегату в режимі нагнітання.

Обойма підшипникова (позиція 5), в якій встановлені антифрикційні вкладиші ковзання (позиції 16 і 17), виконує функцію опорного вузла, утворюючи єдину жорстку базу для спирання цапф обох шестерень, при цьому зносостійкі вкладиші працюють у режимі гідродинамічного мащення. Така конструкція забезпечує високу стійкість до осьових навантажень і знижує коефіцієнт тертя в умовах високого тиску.

Підтискна обойма виконує ключову ущільнювальну функцію, створюючи локальний тиск робочої рідини в порожнині радіальної манжети (позиція 13), яка контактує з периферією зубчастого зачеплення на стороні високого тиску. Ущільнення з боку торців шестерень реалізується за допомогою двох платинок, які притискаються робочою рідиною через торцеві манжети (позиції 19 і 20), запобігаючи прориву рідини в осьовому напрямку. Захист еластомерних

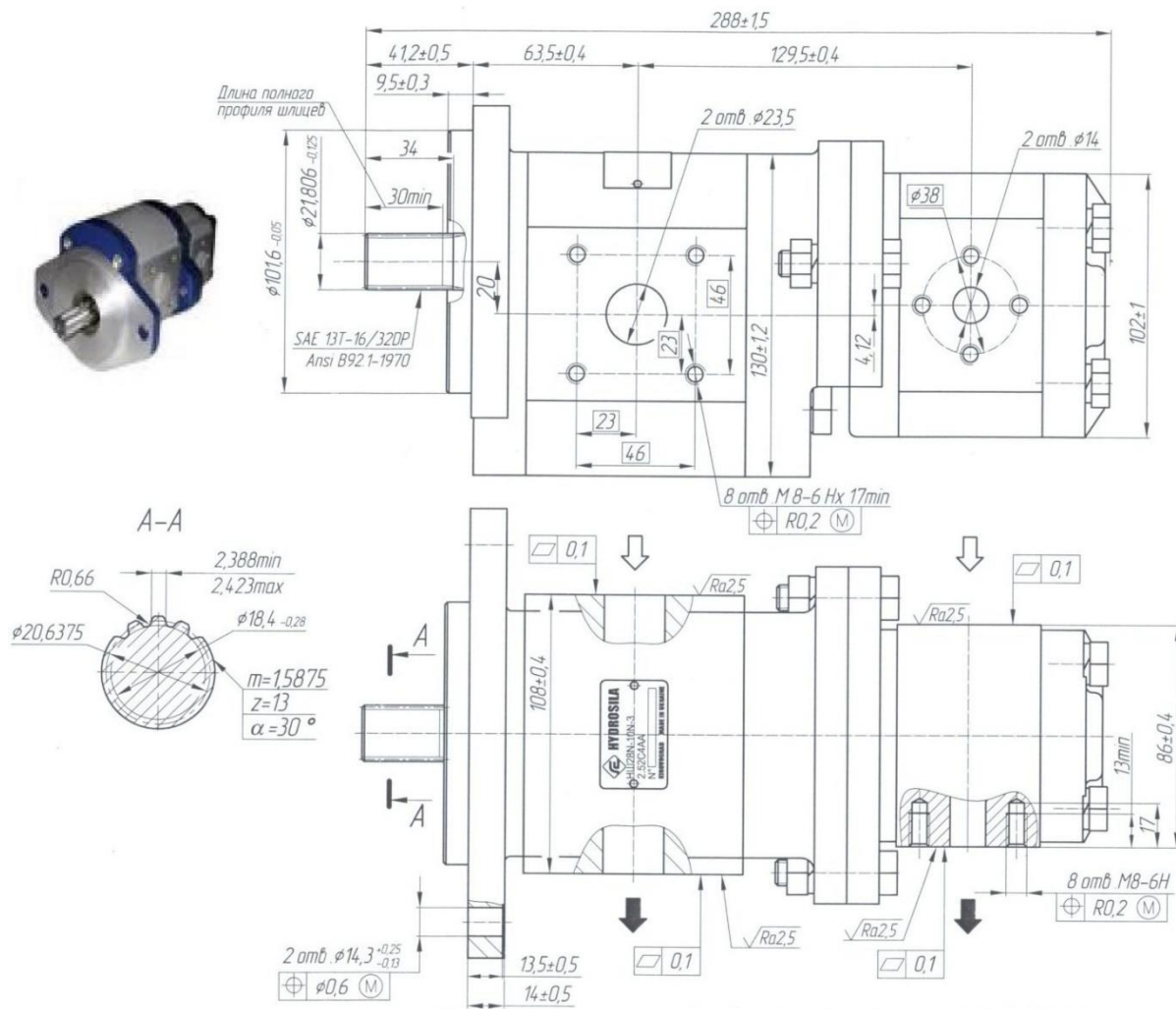


Рис. 1.1. Насос шестеренный НШ28Д-10Д-3-00:

ущільнень реалізовано за рахунок використання жорстких обмежувальних пластин (позиція 21), металевих підтримувальних кілець (позиція 24), а також запобіжних прокладок (позиції 23 та 25), що запобігають їхньому видавлюванню в робочі зазори.

Ведучий вал ущільнюється радіальною манжетною (позиція 8), яка стабілізується у посадковому місці корпусу завдяки опорному кільцю (позиція 9) і пружному фіксатору (позиція 10). Для забезпечення концентричного розташування вала відносно осі корпусу застосовується центральна втулка (позиція 6), що виключає перекося при складанні.

Закриття насосного вузла здійснюється шляхом приєднання кришки (позиція 4) до корпусу (позиція 1) за допомогою гвинтового з'єднання; герметичність по

площині роз'єму досягається використанням ущільнювального кільця з еластомеру (позиція 11), встановленого в спеціальну канавку. Для запобігання забрудненню внутрішніх порожнин під час транспортування насос комплектується захисними пробками (позиції 15 та 18), які герметизують вхідний та вихідний гідравлічні канали.

Загалом конструкція насоса забезпечує комплексне поєднання високої надійності, компактності, ремонтпридатності та експлуатаційної стабільності, що відповідає вимогам до сучасних гідравлічних агрегатів важкого та середнього навантаження.

Технічна характеристика насоса шестеренного НШ28Д-10Д-3-00 приведена нижче:

#### **Технічна характеристика насоса шестеренного НШ28Д-10Д-3-00**

Найменування параметра	Перша секція	Друга секція
1. Номінальний робочий об'єм, см	28	10
2. Частота обертання, с <sup>-1</sup> :		
- номінальна		40
- мінімальна		8,3
- максимальна		50
3. Номінальний об'єм подачі, л/хв.	61,8	21,0
4. Тиск на вході, МПа:		
- номінальний		0,08
- максимальний		0,15
5. Тиск на виході, МПа:		
- номінальний	16	
- максимальний		21
6. Коефіцієнт корисної дії, не менше		0,80
7. Коефіцієнт подачі, не менше		0,92
8. Маса, кг		8,3
9. Номінальна потужність, кВт		32,7

10. Габаритні розміри, мм	296x174x144
11. Температура навколишнього середовища, °C:	
- мінімальна	- 60
- максимальна	+50
12. Характеристика робочої рідини (кінематична в'язкість, мм <sup>2</sup> /с):	
- номінальна	55 – 70
- мінімальна	15
- короткотривала, при старті	1000
13. Температура, C:	
- мінімальна	0
- максимальна	+80

Ведуча шестерня МШ28Д-00-02 є ключовим елементом об'ємного гідравлічного приводу, який у складі з веденою шестернею формує основний функціональний модуль шестеренного насоса — качаючий вузол. У процесі роботи даний вузол забезпечує примусове переміщення робочої рідини з порожнини всмоктування до порожнини нагнітання за рахунок міжзубцевого об'єму, що циклічно змінюється в результаті обертання шестерень. Основне нагнітання тиску відбувається за рахунок об'ємного витіснення рідини в зоні між зубцями та радіальними стінками корпусу, тоді як між торцевими поверхнями вінців шестерень і плоскими напрямними поверхнями корпусу реалізуються мінімальні зазори, які відіграють роль гідродинамічних ущільнень. За рахунок ефекту торцевого притискання рідина, яка частково проникає в ці зазори, створює зону локального тиску, що додатково підвищує ущільнення і сприяє зменшенню витоків у зонах торців.

Унаслідок цього ведуча й ведена шестерні функціонують як єдиний робочий орган насоса, який забезпечує реалізацію основної гідравлічної задачі — створення внутрішнього тиску в робочому середовищі та нагнітання потоку до привідних елементів гідросистеми машин. Високоточне виготовлення зубчастого зачеплення

дозволяє забезпечити плавність обертання, рівномірність витрати й зниження гідравлічних пульсацій, що особливо важливо для стабільності приводу.

Конструктивно шийки ведучої шестерні виконують функцію базових циліндричних опор і слугують для точного встановлення в антифрикційні підшипники ковзання, встановлені в корпусі насоса. Ці поверхні належать до відповідальних базових елементів деталі, від точності яких залежить співвісність обертання шестерні, зносостійкість і рівномірність навантаження в підшипникових парах. Тому до шийок пред'являються підвищені вимоги щодо геометричної точності (відхилення форми, співвісність, концентричність) і параметрів мікрогеометрії (шорсткість — не вище  $Ra\ 0,63$  мкм за ISO 4287/DSTU ISO 4287:2019).

Окрема увага приділяється сальниковій частині ведучого вала, яка утворює контакт із гумовою ущільнювальною манжетою. Для забезпечення ефективного гідравлічного ущільнення, запобігання витокам рідини і зменшення зносу манжети, поверхня валу в зоні ущільнення виконується з підвищеним класом чистоти — як правило,  $Ra \leq 0,32$  мкм. Це забезпечує щільне прилягання манжети до вала без ризику її деформації або передчасного виходу з ладу при тривалих циклах роботи насоса.

Загалом конструкція ведучої шестерні МШ28Д-00-02 є результатом комплексного інженерного опрацювання, спрямованого на забезпечення балансу між міцністю, точністю, гідравлічною ефективністю та експлуатаційною надійністю вузла в умовах багатоциклового навантаження.

## 2. Технологічна частина

### 2.1. Аналіз точності та технологічності деталі

Деталь «шестерня ведуча» типу МШ28Д-00-02 (рис. 2.1) класифікується як ступінчастий вал складної конфігурації, що виконує функцію робочого органа в шестеренному насосі і характеризується підвищеними вимогами до геометричної точності та мікрогеометрії поверхонь. Конструктивна будова деталі включає ряд нетехнологічних елементів, основним із яких є зубчастий вінець із зовнішнім евольвентним профілем, що ускладнює виконання ріжучої та шліфувальної обробки. З огляду на високі вимоги до точності та зниження трудомісткості виготовлення доцільним є використання заготовок із попередньо сформованим зубчастим вінцем методами гарячого об'ємного штампування або холодного накочування, що суттєво скорочує обсяг припусків на чистову обробку та дозволяє зменшити кількість проходів.

Особливості конфігурації деталі унеможливають ефективне використання прохідних інструментів на ряді позицій технологічного маршруту, зокрема в зонах переходу між опорними шийками та торцями зубчастого колеса. Торцеві поверхні зубчатого вінця потребують шліфування з формуванням піднутріння, що є необхідним для зменшення витоків гідравлічної рідини крізь торцеві зазори в зоні спраження шестерні з упорною втулкою або обоймою в умовах роботи насоса при змінному тиску. Вказане піднутріння забезпечує локалізацію мастильного шару й покращує ущільнення в динамічному контакті.

Шліцевий профіль, розташований на хвостовику ведучого вала, також потребує обробки з високими вимогами до точності, що обумовлює застосування спеціалізованого шліцефрезерного та шліце-шліфувального обладнання. Жорсткість конструкції деталі достатня для забезпечення стабільності розмірів при остаточній чистовій обробці, що дозволяє досягати відхилень у межах допусків високих квалітетів.

Деталь характеризується комплексом функціонально-критичних поверхонь із жорсткими параметрами як за геометрією, так і за шорсткістю. Зокрема, опорні

шийки  $\varnothing 12f8$  та  $\varnothing 18f8$ , а також торцеві площини зубчастого вінця з допуском  $31h8$ , мають нормативний параметр шорсткості  $Ra\ 0,16$ , що потребує застосування високоточних шліфувальних операцій із використанням абразивів з тонкою зернистістю. Сальникова ділянка вала, яка безпосередньо контактує з еластомерною ущільнювальною манжетою, обробляється до діаметра  $\varnothing 21,806e9$  при параметрі шорсткості  $Ra\ 0,32$ , що забезпечує герметичність спряження і стійкість до витоків у режимах тривалого динамічного контакту. Шліцевий сегмент виконується з параметром  $Ra\ 1,25$ , що відповідає вимогам до робочих поверхонь посадкового типу з передачею обертального моменту.

Шорсткість робочих поверхонь зубців по евольвентному профілю встановлюється на рівні  $Ra\ 2,5$ , що зумовлює потребу у використанні зубошліфувальних верстатів із формованими колами або верстатів із числовим програмним керуванням, які дозволяють реалізувати профільну обробку в автоматизованому режимі.

Інші, менш відповідальні поверхні деталі, що не беруть безпосередньої участі в кінематичних або ущільнювальних з'єднаннях, обробляються до 11–14 квалітетів точності відповідно до вимог ISO 286 або ДСТУ ISO 286-1:2019 і характеризуються параметрами шорсткості в межах  $Ra\ 3,2$ – $12,5$ . Такі поверхні допускають лезову обробку (точіння, розточування, фрезерування) зі звичайною точністю, що оптимізує загальний час виготовлення та ресурси інструментального оснащення.

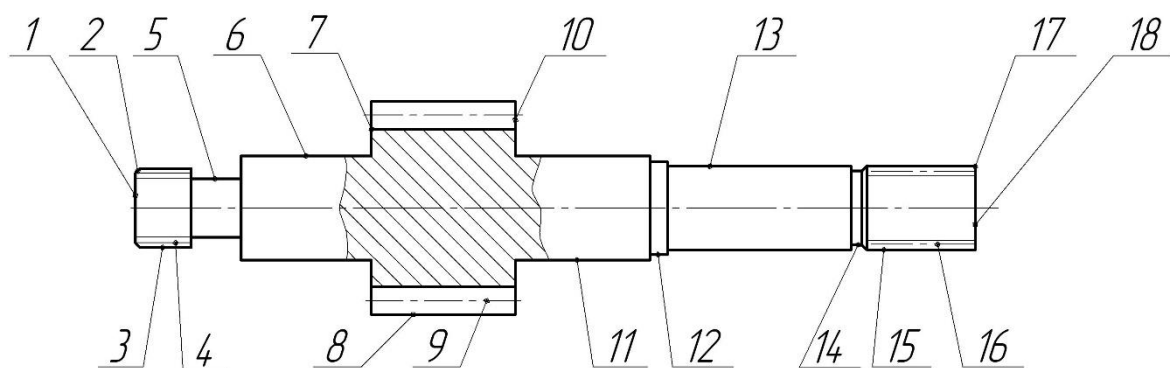


Рис. 2.1. Шестерня ведуча МШ28Д-00-02

Отже, ведуча шестерня МШ28Д-00-02 є технічно складною деталлю із прецизійними елементами, виготовлення якої вимагає реалізації комплексного

високоточного технологічного маршруту, з інтеграцією процесів шліфування, суперфінішної обробки, зубо- та шліцеобробки відповідно до вимог сучасного високопродуктивного машинобудування.

Дані аналізу приведено в таблиці 2.1.

Технічні умови на виготовлення деталі:

1. Маса заготовки 1,65 кг, не більше; КИМ не менше 0,50.
2. Цементувати  $h$  0,4...0,6 мм; 86,5...91 HRC.
3. Допускається виготовлення із сталі 25ХГТ ГОСТ 4543-71.
4. Деталі розділити за значенням граничного відхилення розміру Ж на 8

груп:

1. від 0 до 0,005 мм; 5. від 0,020 до 0,025 мм;
2. від 0,005 до 0,010 мм; 6. від 0,025 до 0,030 мм;
3. від 0,010 до 0,015 мм; 7. від 0,030 до 0,035 мм;
4. від 0,015 до 0,020 мм; 8. від 0,035 до 0,040 мм.

Підбір груп виконувати по максимальному значенню граничного розміру.

5. Гострі кромки по профілю евольвенти та западини зубця заокруглити R0,06...0,15 мм.

6. Допускається не площинність поверхонь И та К з вгнутістю в тіло шестерні 0,012мм, не більше, та випуклістю 0,005мм, не більше.

7. Не вказані граничні відхилення розмірів:  $h_{14}$ ;  $\pm(t/2)$ .

8. Допуск направленості зуба 0,025 мм, не більше.

Таблиця 2.1

**Параметри точності поверхонь шестерня ведуча МШ28Д-00-02**

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розміри з відхиленнями, заданими від розглядаємої поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні
1	Торець	178,5 <sup>-0,5</sup>	h14	-	-	Ra12,5
2	Фаска	1x45°	-	-	-	Ra12,5
3	Зовнішня шліцева поверхня	∅16,7 <sup>-0,043</sup>	h9		-	Ra1,25
4	Шліци	∅13 <sup>-0,56</sup>	h9		-	Ra3,2
5	Шийка	∅12,8 <sup>-0,3</sup>	h14	-	-	Ra2,5
6	Зовнішня циліндрична	∅25 <sup>-0,060</sup> <sub>-0,075</sub>	h7			Ra0,16
7	Торець	26,5 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,3</sub>	h14			Ra0,16
8	Зубчатий вінець	∅46,9 <sup>-0,025</sup> <sub>-0,041</sub>	7		-	Ra0,63
9	Зубці	∅32,5 <sup>-0,4</sup>	8	-	-	Ra2,5
10	Торець	26,5 <sup>+0,2</sup> <sub>-0,3</sub>	h14			Ra0,16
11	Зовнішня циліндрична	∅25 <sup>-0,060</sup> <sub>-0,075</sub>	h7			Ra0,16
12	Канавка	∅23 <sup>-0,3</sup>	h14	-	-	Ra12,5
13	Зовнішня циліндрична	∅22 <sup>-0,05</sup>	h9		-	Ra0,32
14	Канавка	∅21,5 <sup>-0,21</sup>	h14	-	-	Ra2,5
15	Зовнішня шліцева поверхня	∅21,8 <sup>-0,125</sup>	h9		-	Ra1,25
16	Шліци	∅18,4 <sup>-0,28</sup>	h9		-	Ra3,2
17	Фаска	1x45°	-	-	-	Ra12,5
18	Торець	178,5 <sup>-0,5</sup>	h14	-	-	Ra12,5

## 2.2 Аналіз діючого технологічного процесу

Технологічний процес механічної обробки ведучої шестерні типу МШ28Д-00-02 структурно відповідає класичній схемі обробки деталей типу «ступінчастий вал» і побудований з урахуванням поетапного забезпечення геометричної точності, чистоти поверхні та стабільності базування в умовах високонавантажених функціональних зон. Обробка деталі здійснюється переважно на універсальному токарному та зубообробному обладнанні, з інтеграцією окремих верстатів у технологічні групи або автоматизовані пари, що оптимізує логістику переміщення та скорочує тривалість міжопераційних простоїв.

Первинна токарна обробка виконується на чотирьох універсальних токарних верстатах, які згруповані попарно в автоматичні лінії. Послідовне оброблення обох торців шестерні здійснюється в режимі попереминої базовки, що дозволяє зберігати співвісність ділянок валу та зменшити осьові биття. Наявність кількох супортів на верстатах забезпечує гнучкість у реалізації чорнової та чистової обробки в межах однієї операції, а диференціація функціоналу супортів дозволяє здійснювати паралельну обробку різних зон, підвищуючи загальну продуктивність.

Зубчасте колесо піддається трьом основним технологічним операціям. На першій стадії виконується зубофрезерування за допомогою модульної фрези на зубофрезерному верстаті. Ця операція є найбільш трудомісткою в усьому маршруті через необхідність знімання основного припуску по всій довжині евольвентного профілю. Підвищення ефективності здійснюється шляхом підбору високопродуктивних режимів різання та оптимізації кількості заходів фрези, що забезпечує рівномірне навантаження на інструмент і стабільну точність за профілем.

Наступна операція — зубодовбання — реалізується як напівчистова з метою уточнення профілю зуба і зменшення шорсткості поверхні. Даний метод дозволяє досягти точності профілю до 8–9 класу (за ISO 1328), що є достатнім для подальшого чистового доведення. Третя операція — зубошевінгування — проводиться дисковим шевером, який здійснює чистову обробку зубців, стабілізує геометрію зачеплення та забезпечує параметр шорсткості поверхні профілю на рівні Ra 2,5 або нижче. Зубошевінг також сприяє видаленню мікротріщин та окалини після термообробки.

Шліцеву частину обробляють на шліцефрезерному верстаті з використанням черв'ячної фрези, геометрія якої спеціально адаптована під профіль шліців. Завдяки точному профілю фрези забезпечується не лише висока точність, але й параметри шорсткості на рівні Ra 1,25, що відповідає вимогам до передавальних посадкових елементів.

Після термічного зміцнення деталі виконується чистова обробка циліндричних поверхонь на круглошліфувальних верстатах, що дозволяє стабілізувати розміри та зняти залишкові напруження після гартування. Торцеві поверхні та опорні шийки вала одночасно обробляються на торцекруглошліфувальних верстатах, що забезпечує паралельність та плоскопаралельність поверхонь, а також дотримання вимог по співвісності. Особливу увагу приділено операції розкатування центрових отворів після термообробки, оскільки ці поверхні служать базами при всіх подальших етапах обробки — особливо при установці деталі в центрах для круглого та торцевого шліфування.

Для досягнення надвисоких показників шорсткості на відповідальних поверхнях — зокрема, торцях зубчастого колеса та опорних шийках вала — застосовуються суперфінішні операції на спеціалізованих верстатах із застосуванням абразивних стрічок або полірувальних кругів, які дозволяють досягати Ra 0,16–0,32 при мінімальному знятті матеріалу, що особливо важливо для збереження допусків після термічного зміцнення.

Серед конструктивно-технологічних недоліків базового процесу можна виокремити відсутність остаточної чистової обробки профілю зубців після термообробки — зокрема, відсутність зубошліфування, що знижує точність зачеплення в режимах підвищеного навантаження. Крім того, використання консервативних режимів різання на ряді операцій обмежує потенціал зростання продуктивності, особливо в умовах середньо- та великосерійного виробництва.

Таким чином, технологічний процес обробки шестерні МШ28Д-00-02 базується на класичних принципах точної валової обробки, інтегрує критичні операції зубообробки, забезпечує гідравлічну герметичність та експлуатаційну

стабільність і водночас допускає модернізацію шляхом впровадження високошвидкісних режимів і додаткових операцій фінішного формоутворення.

### 2.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Вибір типу заготовки для виготовлення ведучої шестерні типу МШ28Д-00-02 здійснюється з урахуванням геометричної конфігурації деталі, її конструктивних особливостей, марки застосованого матеріалу, обсягів серійного виробництва, а також установлених технічних вимог до точності, шорсткості та фізико-механічних властивостей оброблених поверхонь. Водночас критичним параметром, що впливає на економічну доцільність обраного технологічного рішення, є коефіцієнт використання матеріалу ( $\eta_m$ ), який визначає раціональність матеріаломісткості обраного методу формоутворення заготовки та рівень витрат на механообробку.

Деталь класифікується як ступінчастий вал з інтегрованим зубчастим колесом, що функціонує у складі гідравлічного об'ємного насоса при підвищених гідродинамічних і теплових навантаженнях. З огляду на це, до матеріалу заготовки пред'являються вимоги підвищеної втомної міцності, твердості поверхневих шарів після термообробки, стабільності розмірів після гартування та стійкості до контактного зношування.

Основним рекомендованим матеріалом для виготовлення є легована конструкційна сталь 18ХГТ, яка забезпечує високу межу витривалості ( $\sigma_{-1} \approx 650\text{--}800$  МПа), стабільність розмірів після хіміко-термічного зміцнення та оптимальне співвідношення пластичності й твердості в зоні зубчастого зачеплення. Сталь має дрібнозернисту структуру, характеризується хорошими технологічними властивостями при токарній, зубообробній та шліфувальній обробці. Допускається також застосування сталі 25ХГТ як альтернативного варіанта за умови дотримання еквівалентної термообробки — цементації або азотування з подальшим гартуванням і низьким відпуском.

Марка сталі остаточно вибирається виходячи з балансу між забезпеченням експлуатаційної довговічності деталі, зносостійкості функціональних зон (зубців, шийок, шліців) та економічною ефективністю технологічного маршруту, включаючи доступність матеріалу, складність його механічної обробки після цементації або гарту, а також коефіцієнт використання металу у межах заданої номенклатури виробів.

Таблиці 2.3 та 2.4 подають порівняльні фізико-механічні характеристики і хімічний склад сталей 18ХГТ та 25ХГТ відповідно до вимог ДСТУ EN 10084:2014 та ГОСТ 4543-71, що дозволяє обґрунтовано вибрати оптимальний матеріал у контексті ресурсної надійності й технологічної доцільності.

Таблиця 2.3

**Механічні властивості матеріалу деталі**

Марка сталі	Границя текучості, кгс/мм <sup>2</sup>	Тимчасовий опір розриву, кгс/мм <sup>2</sup>	Відносне подовження, %	Відносне звуження, %	Твердість в відпаленому стані, НВ
18ХГТ	75	90	10	40	156 – 207

Таблиця 2.4

**Хімічний склад матеріалу деталі**

Марка сталі	Вуглець С, %	Хром Х, %	Марганець Г, %	Титан Т, %
18ХГТ	0,18	1	1	1

У базовому технологічному процесі виготовлення ведучої шестерні МШ28Д-00-02 як заготовку передбачено використання поковки, отриманої методом гарячої об'ємної штамповки. Обраний спосіб є технологічно доцільним для деталей складної конфігурації типу «ступінчастий вал із зубчастим елементом» та забезпечує високу продуктивність при збереженні геометричної точності та якості поверхні.

Порівняно з вільним куванням, об'ємна штамповка дозволяє отримувати заготовки з мінімальними припусками на механічну обробку, високою повторюваністю контурів та зменшеним обсягом припасувальних операцій. За

нормативною класифікацією, виготовлення таких поковок відповідає 5-му класу точності (Т5) згідно з ГОСТ 7505–89, а складність їхньої конфігурації визначена як ступінь С2. Група сталі поковки класифікується як М2, що відповідає маркам середньовуглецевих легованих сталей з придатністю до подальшої термічної обробки. Типовий параметр шорсткості поверхні поковок, виготовлених методом штамповки, становить  $Ra = 16...5$  мкм, що значно покращує умови подальшої обробки різанням і знижує зношування інструменту.

Виробничий цикл передбачає термічну обробку заготовки — відпал, що виконується з метою зниження твердості після гарячої деформації, усунення структурної неоднорідності, релаксації залишкових внутрішніх напружень та покращення оброблюваності при подальшому точінні, шліфуванні та зубообробці. В результаті відпалу матеріал набуває рівномірної феритно-перлітної структури, що є оптимальною для токарної та фрезерної обробки з високим ступенем точності.

Для зменшення зношування ріжучого інструменту та полегшення візуального і тактильного контролю якості поверхні, перед надходженням до механообробки заготовки проходять процес очищення від окалини. Ця операція виконується на дробоструминних установках, які забезпечують ефективно видалення оксидного шару, одночасно підвищуючи зчеплення робочих інструментів і покращуючи умови охолодження під час обробки.

Завершальний етап виготовлення деталі передбачає проведення остаточної термічної обробки — хіміко-термічного насичення зовнішнього шару неметалами, зокрема цементації, яка забезпечує високі показники твердості поверхні при збереженні пластичності серцевини. За технологічними вимогами, цементація має виконуватись на глибину, що забезпечує формування зони високої твердості (86,5...91 HRC) з контрольованим градієнтом твердості до серцевини (25...45 HRC), що дозволяє деталі ефективно протистояти контактному зношуванню при роботі в умовах гідродинамічного навантаження.

Таким чином, застосування методу об'ємної штамповки в поєднанні з комплексом термічних та підготовчих операцій забезпечує оптимальне поєднання

механічної міцності, точності геометрії та зносостійкості для довговічної експлуатації деталі в складі гідравлічного насоса.

Таблиця 2.5

### Характеристика заготовки

Метод	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	Коефіцієнт використання матеріалу
Об'ємна штамповка	0,743	1,57	0,47

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

де:

C – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

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

Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

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

$$S_{заг} = \left( \frac{18600}{1000} * 1.57 * 1 * 0.88 * 1.15 * 1.21 * 0.8 \right) - (1.57 - 0.743) * \frac{2500}{1000} = 26.53 \text{ грн.}$$

#### 2.4. Вибір методів обробки поверхонь

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає процес формування раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі як цілеспрямований багатоетапний пошук, що базується на комплексному врахуванні конструктивних параметрів, функціонального призначення, економічних чинників, організаційно-виробничих обмежень, а також засад управління технологічним середовищем. Побудова технологічного процесу вимагає системної інтеграції інформації про конструкцію виробу, умови його експлуатації, специфіку матеріалу та доступні технологічні ресурси.

Ключову роль у цій побудові відіграє вибір оптимального маршруту обробки окремих поверхонь деталі, що визначає структуру міжопераційних переходів і рівень досягнутої точності. У цьому контексті використовується поняття допустимої множини технологічних маршрутів, яка формується на основі порівняльного аналізу варіантів обробки, що здатні забезпечити задані параметри точності (IT) та шорсткості (Ra) поверхонь деталі в межах допусків, встановлених конструкторською документацією.

Формування такої множини здійснюється з урахуванням закону копіювання похибок, який описує взаємозв'язок точності заготовки та точності отриманої поверхні на наступному етапі обробки. Застосовується формалізована схема вибору маршруту, яка спирається на типові послідовності операцій обробки, визначені в нормативних матеріалах, та аналітичні таблиці економічної точності, що містять емпіричні дані щодо досяжної точності та шорсткості для кожного методу обробки (точіння, шліфування, шліцефрезерування тощо) за різних умов (тип обладнання, режим різання, властивості матеріалу).

Таким чином, визначення оптимального маршруту обробки кожної поверхні є одним із критично важливих етапів проектування технологічного процесу, що прямо впливає на досягнення необхідних технічних характеристик готової деталі та загальну ефективність виробництва.

Загальне уточнення розраховуються за формулою:

$$\varepsilon_3 = \delta_3 / \delta_d$$

Розрахунок проводимо для поверхні  $\varnothing 25_{-0,075}^{-0,060}$  деталі шестерня ведуча.

Допуск на деталь становить  $\delta_d = 0,015$  мм., шорсткість Ra 0,16 мкм., а допуск на заготовку  $\delta_3 = 2,2$  мм [3].

Вибираємо два маршрути обробки поверхні:

Перший маршрут складається з чорнового, напівчистового і чистового точіння, попереднє шліфування та чистове шліфування.

Другий маршрут складається напівчистового, чистового та тонкого точіння.

Загальне уточнення дорівнює  $\varepsilon_3 = 140$ .

Розраховуємо фактичне уточнення за формулою:

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4$$

$$\varepsilon_i = \frac{\delta_{i-1}}{\delta_i}$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2,2}{0,21} = 10,48 \quad \varepsilon_2 = \frac{0,21}{0,13} = 1,62 \quad \varepsilon_3 = \frac{0,13}{0,052} = 2,5 \quad \varepsilon_4 = \frac{0,052}{0,038} = 1,58 \quad \varepsilon_5 = \frac{0,038}{0,013} = 2,54$$

$$\varepsilon_1 = \frac{2,2}{0,13} = 16,9 \quad \varepsilon_2 = \frac{0,13}{0,033} = 3,94 \quad \varepsilon_1 = \frac{0,033}{0,013} = 2,54$$

Для першого варіанту  $\varepsilon_{\phi 1} = 175,58$ ; для другого  $\varepsilon_{\phi 2} = 161,62$ . Для обох варіантів умова  $\varepsilon_{\phi} \geq \varepsilon_3$  виконується. Із двох варіантів перевагу віддаємо тому, який при виконанні нерівності ближче відповідає рівності, тому приймаємо другий варіант.

Таблиця 2.8

**Технологічні маршрути обробки поверхонь шестерні МШ28Д-00-02**

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням $\delta_d$ , мм	Шорсткість поверхні Ra, мкм	Допуск на заготовку поверхні $\delta_z$ , мм	Загальне уточнення $\varepsilon_3$	Можливі технологічні маршрути обробки	Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення
1	2	3	4	5	6	7	8
1, 18	0,5	12,5	3,2	6,4	1. Точіння чорнове	0,39	8,2
3	0,043	1,25	1,1	25,58	1. Точіння чорнове 2. Точіння полу чистове 3. Тонке точіння	0,180 0,070 0,043	6,1 2,5 1,62
4	0,56	3,2	1,1	1,96	1. Фрезерування	0,21	5,2
5	0,3	2,5	2,2	7,3	1. Точіння чорнове	0,27	8,2
6, 11	0,015	2,5	2,2	140	1. Точіння чорнове	0,21	10,4
					2. Точіння полу чистове	0,13	1,62
					3. Точіння чистове	0,052	2,5
					4. Попереднє шліфування	0,033	1,58
					5. Чистове шліфування	0,013	2,54
					1. Точіння полу чистове	0,13	16,9
					2. Точіння чистове	0,033	3,94
					3. Точіння тонке	0,013	2,54
7, 10	0,5	2,5	2,4	4,8	1. Точіння чорнове	0,39	6,15

Продовження таблиці 2.8

1	2	3	4	5	6	7	8
8	0,016	0,63	2,4	150	1.Точіння чорнове	0,39	6,1
					2.Точіння полу чистове	0,160	2,44
					3. Точіння чистове	0,062	2,58
					4. Точіння тонке	0,016	3,88
9	0,4	2,5	0,62	1,55	1. Фрезерування	0,050	2,48
12	0,3	12,5	2,2	7,3	1. Точіння получистове	0,210	10,48
13	0,05	0,32	2,2	44	1. Точіння получистове	0,210	10,48
					2. Точіння чистове	0,084	2,5
					3. Попередннє шліфування	0,033	2,55
14	0,21	12,5	2,2	10,4	1. Точіння получистове	0,210	10,48
15	0,125	1,25	1,1	8,8	1. Точіння полу чистове	0,13	8,46
					2. Точіння чистове	0,084	1,55
16	0,28	3,2	1,1	3,9	1. Фрезерування	0,21	5,2

## 2.5 Розробка маршруту виготовлення деталей

Маршрут обробки деталі формується на основі раціонального поєднання вибраних маршрутів обробки окремих поверхонь відповідно до їх точнісних і якісних характеристик, типу виробництва, технічного рівня та функціональних можливостей наявного металорізального устаткування. При цьому враховуються конструктивно-технологічні обмеження, встановлені технічними вимогами до деталі, включаючи допуски, посадки, шорсткість поверхонь та розмірні зв'язки, зафіксовані на кресленні.

Опис маршруту обробки подається у вигляді впорядкованої послідовності технологічних операцій, кожна з яких деталізується через стислий зміст технологічних переходів, що реалізуються в її межах, а також із зазначенням типу або моделі верстата, на якому передбачається виконання відповідної операції. Такий підхід забезпечує узгодженість процесу з технічними характеристиками заготівлі й забезпечує досягнення проектованої точності та якості кінцевої деталі.

Таблиця технологічних маршрутів обробки деталі шестерні МШ28Д-00-02

Маршрутний технологічний процес	
базовий	проектуємий
1	2
005 Токарна з ЧПК GOODWAY TS-150 Підрізати торець цапфи, свердлити центровий отвір, точити коротку сторону, підрізати торець вінця, точити зовнішній діаметр вінця, врізати канавку.	005 Токарна з ЧПК GOODWAY TS-150 Підрізати торець цапфи, свердлити центровий отвір, точити коротку сторону, підрізати торець вінця, точити зовнішній діаметр вінця, врізати канавку.
010 Токарна з ЧПК GOODWAY TS-150 Підрізати торець цапфи, свердлити центровий отвір, точити довгу сторону по контуру в чистовий розмір, підрізати торець вінця, врізати канавку.	010 Токарна з ЧПК GOODWAY TS-150 Підрізати торець цапфи, свердлити центровий отвір, точити довгу сторону по контуру в чистовий розмір, підрізати торець вінця, врізати канавку.
015 Зубодовбальна 5122 Довбати шліц вихідного кінця вала	015 Зубофрезерна з ЧПК Liebherr LC150 Фрезерувати зуб'я шестерні
020 Промивка ГМ 752 Промити деталі	020 Шліцефрезерна 53A13C411 Фрезерувати шліци деталі
025 Зубофрезерна з ЧПК 53Д30ПФ2-02 Фрезерувати зуб'я шестерні	025 Зубодовбальна 5122 Довбати шліц вихідного кінця вала
030 Зубошевінгувальна 5702В Шевінгувати зуб'я	030 Контрольна ГМ 3112 Перевірити розміри
035 Шліцефрезерна 53A13C411 Фрезерувати шліци деталі	035 Круглошліфувальна 3Б153У Правити центрові отвори
040 Промивка ГМ 752 Промити деталі	040 Промивка ГМ 752 Промити деталі
045 Контрольна ГМ 3112 Перевірити розміри	045 Притирка ГМ 1765 Протерти центрові отвори вручну

1	2
050 Круглошліфувальна ЗБ153У Правити центрові отвори	050 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати шліцеву шийку довгої сторони
055 Промивка ГМ 752 Промити деталі	055 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати сальникову шийку
060 Притирка ГМ 1765 Протерти центрові отвори вручну	060 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати шліцеву шийку короткої сторони
065 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати шліцеву шийку довгої сторони	065 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу попередньо
070 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати сальникову шийку	070 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу остаточно
075 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати шліцеву шийку короткої сторони	075 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу попередньо
080 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу попередньо	080 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу остаточно
085 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу остаточно	085 Торцешліфувальна ЗБ153У Шліфувати торець з однієї сторони
090 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу попередньо	090 Торцешліфувальна ЗБ153У Шліфувати торець з іншої сторони
095 Круглошліфувальна ЗМ151МВФ2 Шліфувати цапфу остаточно	095 Слюсарна ЗД642Е Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадині зуба
100 Торцешліфувальна ЗБ153У Шліфувати торець з однієї сторони	100 Промивка ГМ 752 Промити деталі

1	2
105 Торцешліфувальна 3Б153У Шліфувати торець з іншої сторони	115 Круглошліфувальна 3М151МВФ2 Шліфувати зовнішній діаметр зубчатого вінця остаточно
110 Слюсарна 3Д642Е Притупити гострі кромки по профілю евольвенти і впадині зуба	120 Суперфінішна 020-125 Суперфініширувати 2 цапфи, сальникову шийку
115 Промивка ГМ 752 Промити деталі	125 Доводочна 3К12 Довести торець з однієї сторони
120 Круглошліфувальна 3М151МВФ2 Шліфувати зовнішній діаметр зубчатого вінця остаточно	130 Доводочна 3К12 Довести торець з іншої сторони
125 Суперфінішна 020-125 Суперфініширувати 2 цапфи, сальникову шийку	135 Зачистка 3К634 Зачистити неробочі торці шестерні
130 Доводочна 3К12 Довести торець з однієї сторони	140 Промивка ГМ 752 Промити деталі
135 Доводочна 3К12 Довести торець з іншої сторони	145 Притирка ГМ 1765 Протерти шліфувальні поверхні і центрові отвори
140 Зачистка 3К634 Зачистити неробочі торці шестерні	150 Контрольна ГМ 3112 Перевірити розміри
145 Промивка ГМ 752 Промити деталі	
150 Притирка ГМ 1765 Протерти шліфувальні поверхні і центрові отвори	
155 Контрольна ГМ 3112 Перевірити розміри	

## 2.6 Вибір технологічних баз

Забезпечення відповідності технічним вимогам, що встановлюються до виготовлюваної деталі, досягається шляхом обґрунтованого вибору раціональної схеми базування в процесі механічної обробки. Конструкція схеми базування повинна гарантувати достатній рівень жорсткості встановлення заготовки, забезпечення необхідної точності її орієнтації в пристосуванні, а також надійне і стабільне її закріплення протягом усього циклу технологічних операцій.

У випадку виготовлення деталі типу ведучої шестерні МШ28Д-00-02 за чорнову технологічну базу приймається зовнішня циліндрична поверхня заготовки у поєднанні з торцем 7 (згідно з рис. 2.1). На першій технологічній операції здійснюється формування базової поверхні для забезпечення геометричної визначеності всієї наступної обробки – виконується центрування. При подальших технологічних етапах, зокрема токарній обробці, нарізанні зубців та шліців, деталь орієнтується у центрах, що дозволяє витримувати співвісність та розмірні зв'язки відповідно до вимог креслення.

Особливої уваги заслуговує операція обробки центрових отворів після термічної обробки деталі, оскільки на цьому етапі усуваються деформації, спричинені термонапруженнями. При виконанні цієї операції шестерня закріплюється у повідковому патроні за зубчасту поверхню, що забезпечує симетричне передавання моменту обертання без зміщення. Завершальна абразивна обробка – шліфування поверхонь – також передбачає базування в центрах, що зберігає технологічну спадкоємність та забезпечує точність обробки. Винятком із загального підходу є суперфінішна операція, в якій базування виконується через встановлення деталі на валки верстата, що дозволяє забезпечити необхідний контакт для мікрошліфування без деформації та зниження геометричної точності.

## **2.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення**

На основі сформованого технологічного маршруту обробки деталі, маршрутів обробки окремих поверхонь, а також проведеного аналізу постановки розмірів із врахуванням вимог до точності, шорсткості та геометричної взаємозалежності поверхонь, розробляється детальна структура кожної технологічної операції. Кожна операція у технологічному процесі повинна мати чітко визначене позиційне позначення, умовне найменування та зміст, який охоплює опис основних переходів, засобів базування та оброблювального інструменту. Послідовність і зміст операцій систематизовано у табл. 2.12.

Вибір типу і моделі металорізального обладнання здійснюється відповідно до прийнятих методів обробки поверхонь, що передбачають досягнення проєктованої точності та якості, а також з урахуванням типу виробництва (одиничне, серійне або масове) і габаритних розмірів заготовки. Підбір моделей верстатів ґрунтується на використанні даних з нормативно-довідкових джерел та офіційних каталогів обладнання [3], де наведено основні технічні характеристики – діапазон оброблюваних розмірів, точність, швидкість подачі, система ЧПК, конструктивна жорсткість, система охолодження тощо. Конкретні моделі верстатів, що застосовуються для реалізації операцій відповідно до обраної методики, та їх технічні параметри систематизовано в табл. 2.14, що забезпечує узгодженість між вимогами технології та технічними можливостями обладнання.

Таблиця 2.12

## Структура технологічного процесу обробки деталі шестерня ведуча МШ28Д-00-02

№ операції	Найменування та модель верстату	Схема обробки	Зміст операції
1	2	3	4
005 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК GOODWAY TS-150	<p style="text-align: center;">Перехід 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09</p>	<p>01. Встановити та закріпити деталь.</p> <p>02. Підрізати торець витримуючи розмір 12.</p> <p>03. Свердлити центровий отвір, витримуючи розміри 17, 18, 19.</p> <p>04. Підрізати торець витримуючи розмір 14.</p> <p>05. Точити зовнішній діаметр цапфи попередньо,</p>

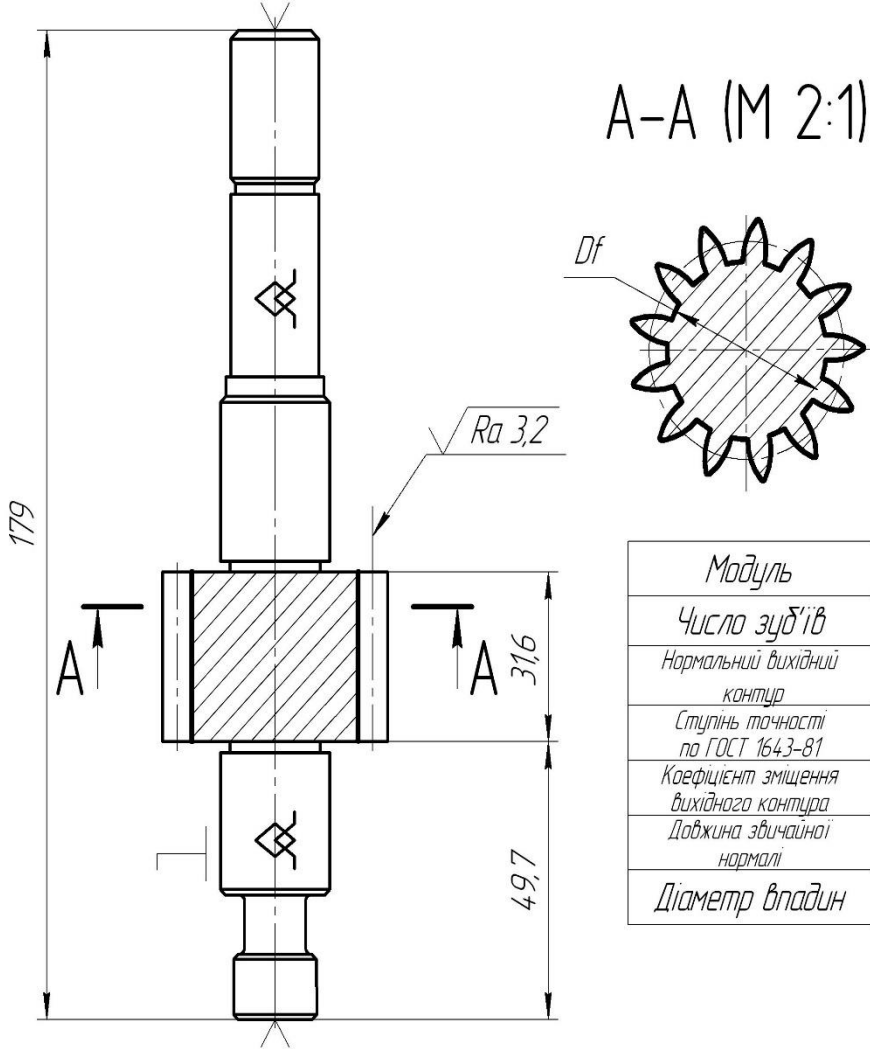
			<p>витримуючи розміри 2, 11</p> <p>06.Точити зовнішній діаметр вінця, витримуючи розмір 15.</p> <p>07. Врізати канавку витримуючи розмір 13.</p> <p>08.Точити зовнішній діаметр цапфи, точити канавку, витримуючи розміри 9, 14, 11, 1, 8, 7, 6.</p> <p>09.Підрізати торець витримуючи розмір 4, 9.</p>
--	--	--	---

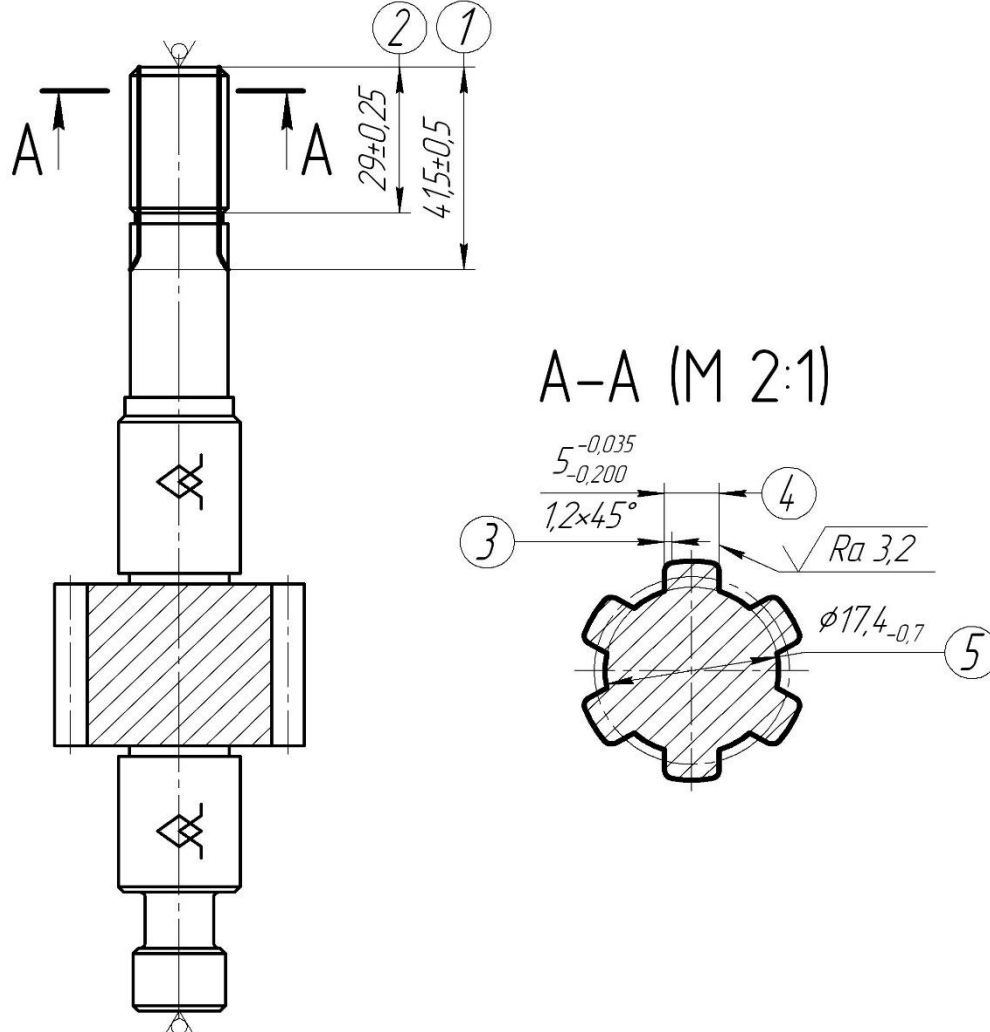
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК GOODWAY TS-150	<p style="text-align: center;">Перехід 02, 03, 04, 05, 06, 07,08</p> <p style="text-align: right;"><math>\sqrt{Ra\ 2,5}</math></p>	<p>01.Встановити та закріпити деталь. 02.Підрізати торець витримуючи розмір 9. 03.Свердлити центровий отвір, витримуючи розміри 15, 16, 17. 04.Підрізати торець витримуючи розмір 8. 05.Точити зовнішній діаметр цапфи попередньо, витримуючи розміри 6, 8, 15. 06.Точити зовнішній діаметр цапфи по контуру,</p>

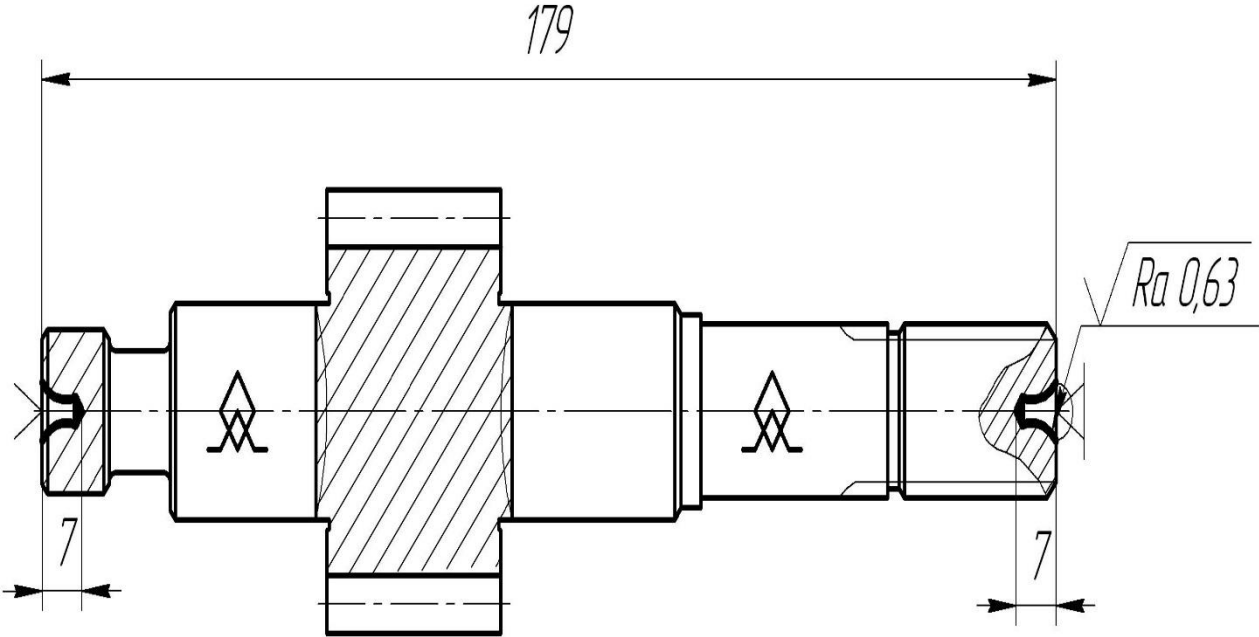
## Продовження табл.2.12

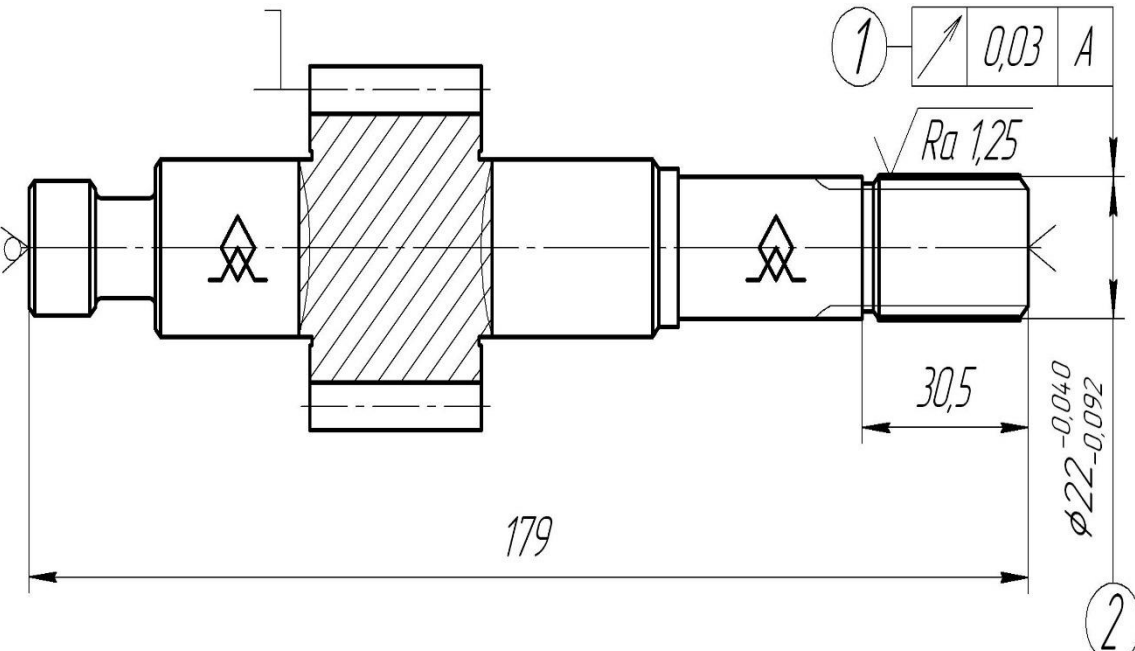
1	2	3	4
			виримуючи розміри 1, 4, 5, 14. 07.Врізати канавку виримуючи розміри 2, 7, 16, 17, 18. 08. Врізати канавку виримуючи розмір 1.

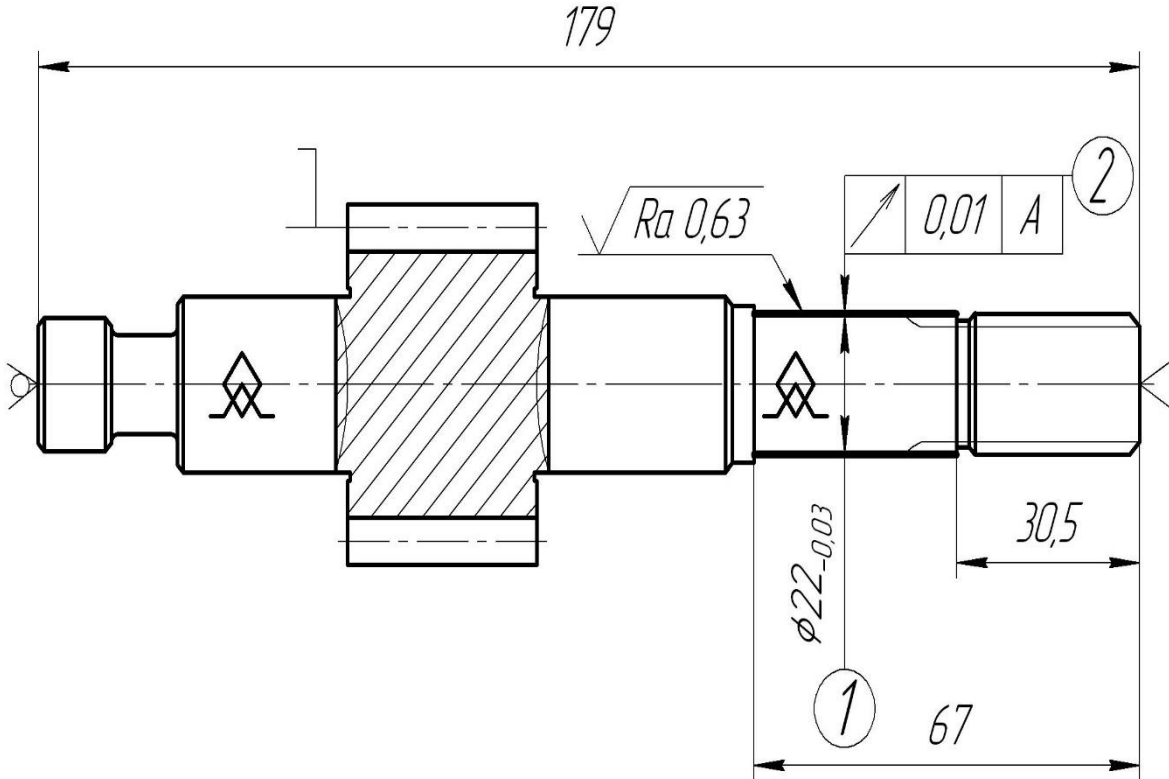
1	2	3	4																											
015 Зубодов- бальна	Зубодовба- льний 5122	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p> <table border="1" data-bbox="1178 794 1787 1289"> <tbody> <tr> <td>Модуль</td> <td><math>m</math></td> <td>1,5</td> </tr> <tr> <td>Число зуб'їв</td> <td><math>z</math></td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>Нормальний вихідний контур</td> <td>-</td> <td>ГОСТ 6033-80</td> </tr> <tr> <td>Угол профіля</td> <td><math>\alpha</math></td> <td>30°</td> </tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td> <td><math>x</math></td> <td>+0,1167</td> </tr> <tr> <td>Розмір по роликам</td> <td><math>Ma</math></td> <td>20,05<sub>-0,05</sub></td> </tr> <tr> <td>Діаметр ролика</td> <td><math>Dm</math></td> <td>3,25±0,0005</td> </tr> <tr> <td>Діаметр впадин</td> <td><math>df</math></td> <td>12,8<sub>-0,56</sub></td> </tr> <tr> <td>Допуск радіального біття</td> <td><math>F_r</math></td> <td>0,028</td> </tr> </tbody> </table>	Модуль	$m$	1,5	Число зуб'їв	$z$	10	Нормальний вихідний контур	-	ГОСТ 6033-80	Угол профіля	$\alpha$	30°	Коефіцієнт зміщення вихідного контура	$x$	+0,1167	Розмір по роликам	$Ma$	20,05 <sub>-0,05</sub>	Діаметр ролика	$Dm$	3,25±0,0005	Діаметр впадин	$df$	12,8 <sub>-0,56</sub>	Допуск радіального біття	$F_r$	0,028	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Довбати евольвентний шліц в два проходи.
Модуль	$m$	1,5																												
Число зуб'їв	$z$	10																												
Нормальний вихідний контур	-	ГОСТ 6033-80																												
Угол профіля	$\alpha$	30°																												
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	$x$	+0,1167																												
Розмір по роликам	$Ma$	20,05 <sub>-0,05</sub>																												
Діаметр ролика	$Dm$	3,25±0,0005																												
Діаметр впадин	$df$	12,8 <sub>-0,56</sub>																												
Допуск радіального біття	$F_r$	0,028																												

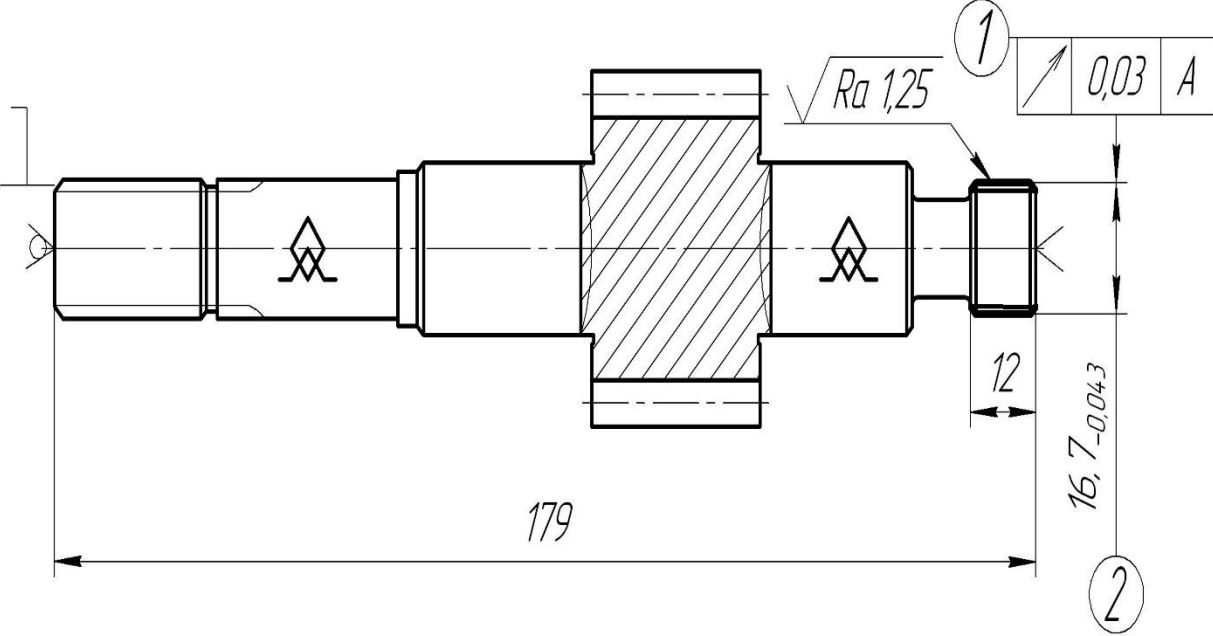
1	2	3	4																					
025 Зубофре- зерна з ЧПК	Зубофрезер- ний з ЧПК LIEBHERR LC 150	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <table border="1" data-bbox="1288 826 1839 1209"> <tbody> <tr> <td>Модуль</td> <td><i>m</i></td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Число зуб'їв</td> <td><i>z</i></td> <td>13</td> </tr> <tr> <td>Нормальний вихідний контур</td> <td>-</td> <td>ГОСТ 13755-81</td> </tr> <tr> <td>Ступінь точності по ГОСТ 1643-81</td> <td>-</td> <td>8-Сн</td> </tr> <tr> <td>Коефіцієнт зміщення вихідного контура</td> <td><i>x</i></td> <td>+0,1815</td> </tr> <tr> <td>Довжина звичайної нормалі</td> <td><i>W</i></td> <td>14,203<sup>-0,10</sup><sub>-0,14</sub></td> </tr> <tr> <td>Діаметр впадин</td> <td><i>Df</i></td> <td>32,5<sub>-0,4</sub></td> </tr> </tbody> </table>	Модуль	<i>m</i>	3	Число зуб'їв	<i>z</i>	13	Нормальний вихідний контур	-	ГОСТ 13755-81	Ступінь точності по ГОСТ 1643-81	-	8-Сн	Коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,1815	Довжина звичайної нормалі	<i>W</i>	14,203 <sup>-0,10</sup> <sub>-0,14</sub>	Діаметр впадин	<i>Df</i>	32,5 <sub>-0,4</sub>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Фрезерувати зуб'я шестерні в два прохода, витримуючи розміри.
Модуль	<i>m</i>	3																						
Число зуб'їв	<i>z</i>	13																						
Нормальний вихідний контур	-	ГОСТ 13755-81																						
Ступінь точності по ГОСТ 1643-81	-	8-Сн																						
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	+0,1815																						
Довжина звичайної нормалі	<i>W</i>	14,203 <sup>-0,10</sup> <sub>-0,14</sub>																						
Діаметр впадин	<i>Df</i>	32,5 <sub>-0,4</sub>																						

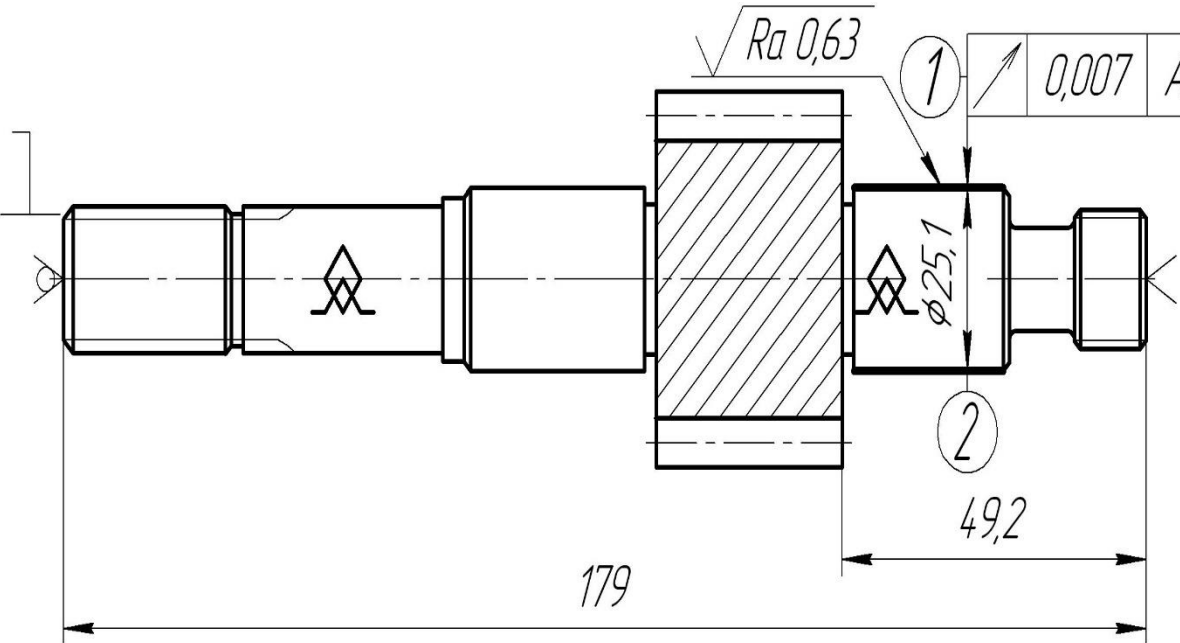
1	2	3	4
035 Шліце- фрезерна	Шліцефре- зний 53A13	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p> 	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Фрезерувати шліци деталі витримуючи розміри 1, 2, 3, 4.

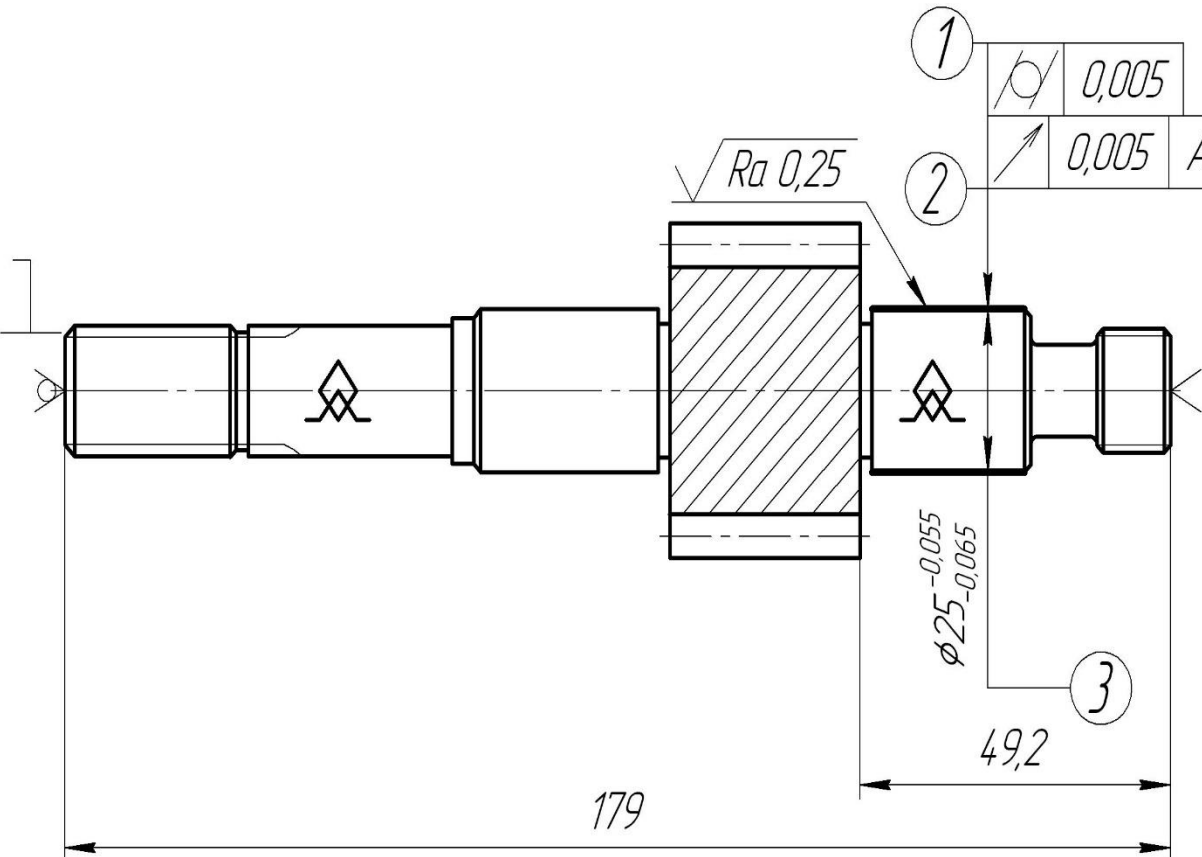
1	2	3	4
050 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗБ153У	<p data-bbox="1189 248 1368 284">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following features and dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total length: 179</li> <li>End diameters: 7</li> <li>Surface finish: <math>Ra 0,63</math></li> <li>Material: ЗБ153У</li> <li>Transition: 02</li> </ul>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Розкатати центрові отвори до шорсткості $Ra$ 0,63 з двух сторін, послідовно.

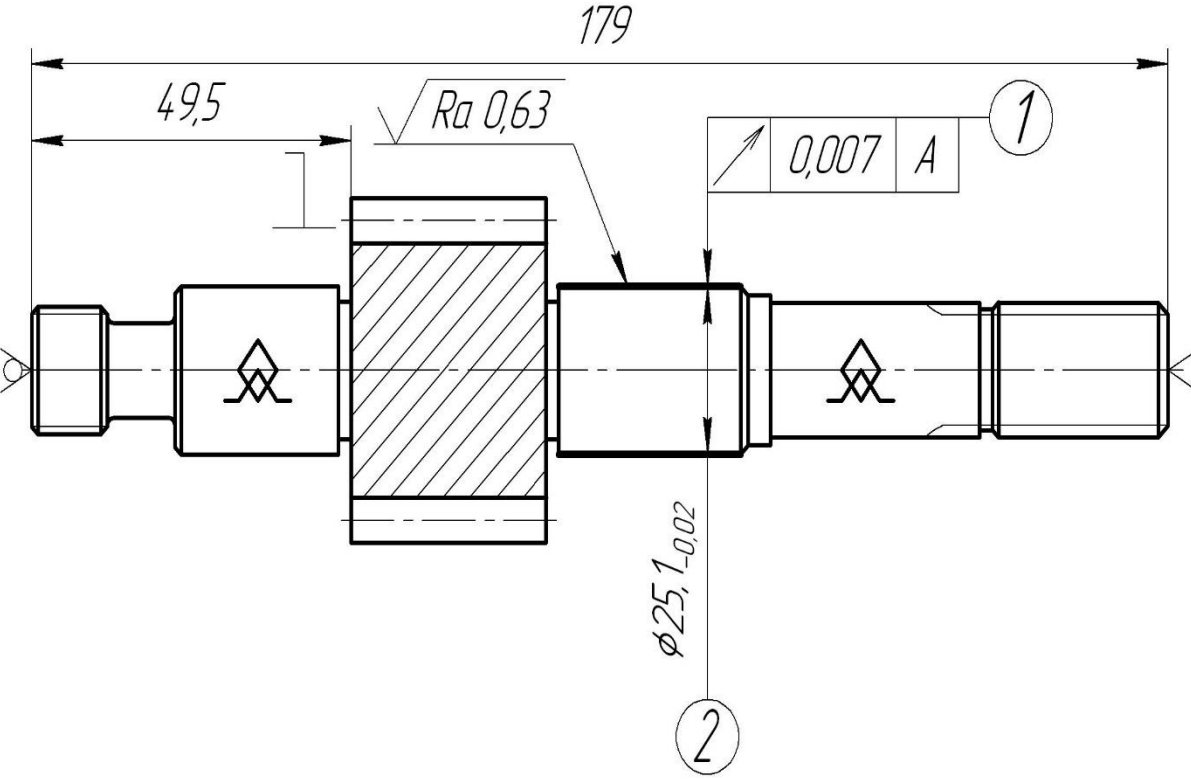
1	2	3	4
065 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with a central hatched section. Key dimensions include a total length of 179, a diameter of <math>\phi 22_{-0,040}^{-0,092}</math>, and a length of 30,5 for a specific section. Surface finish requirements are specified as <math>Ra 1,25</math> and <math>0,03 A</math>.</p>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати шлицеву шийку з довгої сторони витримуючи розмір 2 і допуск 1.

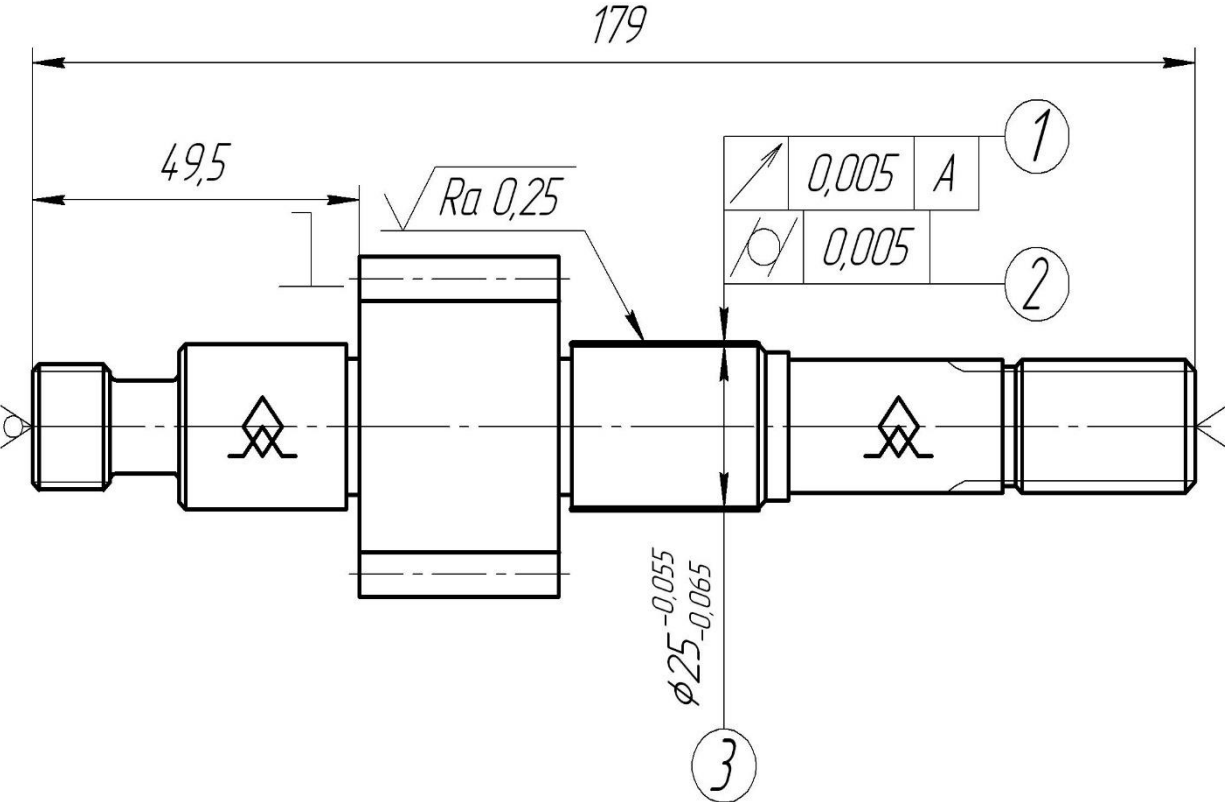
1	2	3	4
070 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following features and dimensions:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total length: 179</li> <li>Surface finish on the main shaft: <math>Ra\ 0,63</math></li> <li>Surface finish on the diameter <math>\phi 22</math> section: <math>0,01\ A</math></li> <li>Diameter of the section: <math>\phi 22_{-0,03}</math></li> <li>Length of the <math>\phi 22</math> section: 67</li> <li>Length of the section to the right of the diameter: 30,5</li> <li>Callout 1 points to the diameter <math>\phi 22</math> section.</li> <li>Callout 2 points to the surface finish <math>0,01\ A</math> on the diameter section.</li> </ul>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати сальникову шийку, витримуючи розмір 1 і допуск 2.

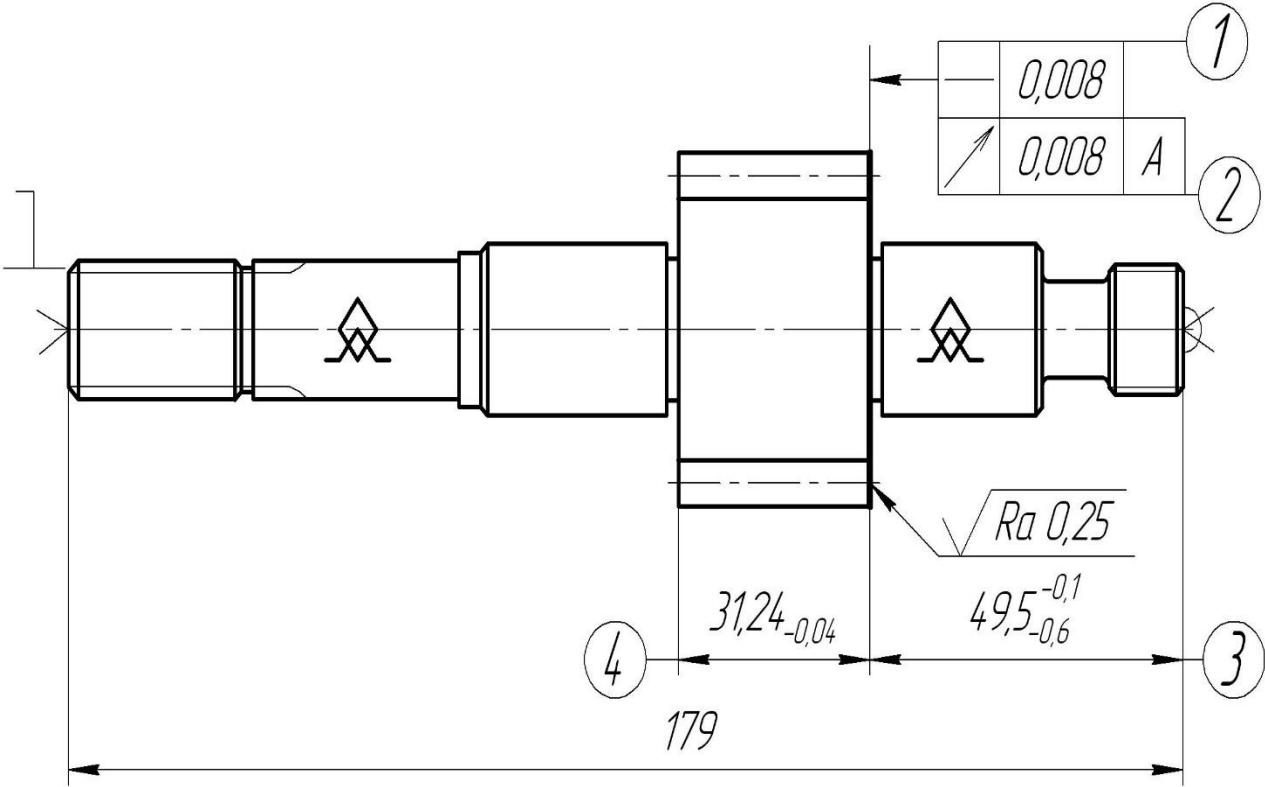
1	2	3	4
075 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with several components. A central section is hatched and labeled 'Перехід 02'. To its right is a component with a surface finish of <math>Ra 1,25</math>. Further right is a component with a surface finish of <math>0,03</math> and a texture symbol 'A'. A dimension of 12 is shown for the length of this component. A total length dimension of 179 is shown from the left end to the start of the 12-length component. A dimension of 16,7 with a tolerance of <math>-0,043</math> is shown for the distance from the right end of the 12-length component to the right end of the shaft. Circled numbers 1 and 2 are placed near the surface finish and tolerance specifications respectively.</p>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати шліцеву шийку короткої сторони витримуючи розмір 2 і допуск 1.

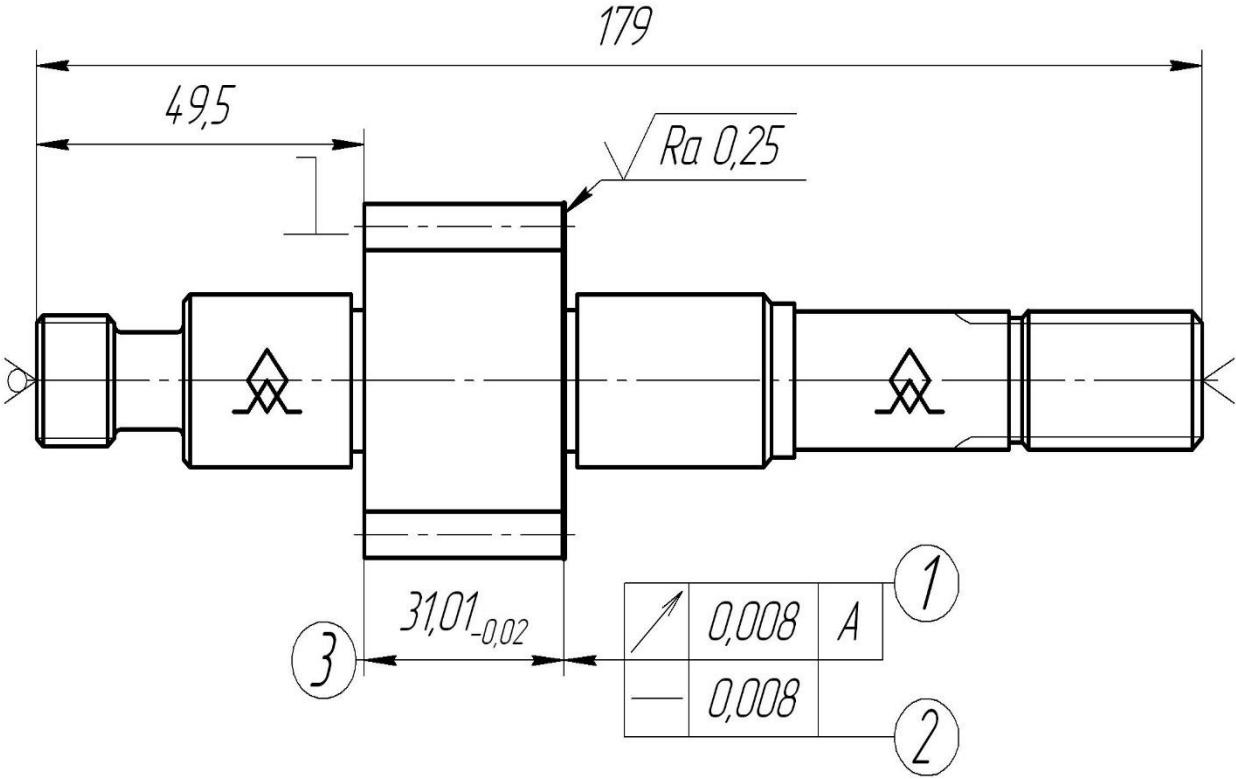
1	2	3	4
080 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p> 	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати цапфу підшипника короткої сторони, витримуючи розмір 2, допуск 1 попередньо.

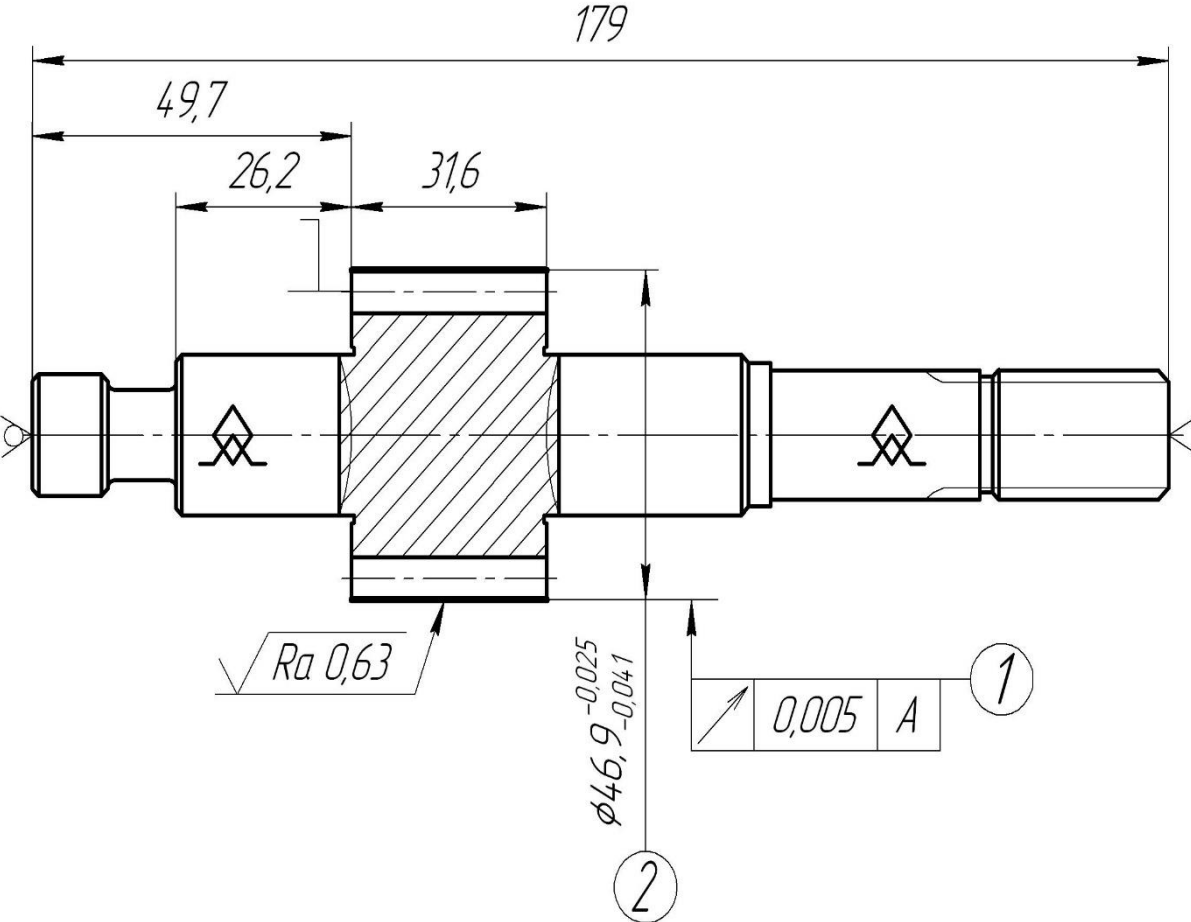
1	2	3	4
085 Круглошлі- фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with several components. A central section is hatched and labeled with a surface finish of <math>Ra\ 0,25</math>. To its right is a component with a diameter of <math>\phi 25_{-0,055}^{-0,065}</math> and a length of <math>49,2</math>. This component has two specific surface finish requirements: a circular texture of <math>0,005</math> and a linear texture of <math>0,005\ A</math>. The total length of the assembly is <math>179</math>. Three callouts (1, 2, 3) point to specific features: 1 points to the circular texture, 2 points to the linear texture, and 3 points to the diameter dimension.</p>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати цапфу підшипника короткої сторони, витримуючи розмір 3, допуски 1, 2 остаточно.

1	2	3	4
090 Круглошлі- фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following specifications:  - Total length: 179  - Distance from the left end to the start of the hatched section: 49,5  - Surface finish on the hatched section: <math>Ra\ 0,63</math>  - Surface finish on the smooth section: <math>0,007\ A</math> (circled 1)  - Diameter of the smooth section: <math>\phi 25,1_{-0,02}</math> (circled 2)</p>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати цапфу підшипника довгої сторони, витримуючи розмір 2, допуск 1, попередньо.

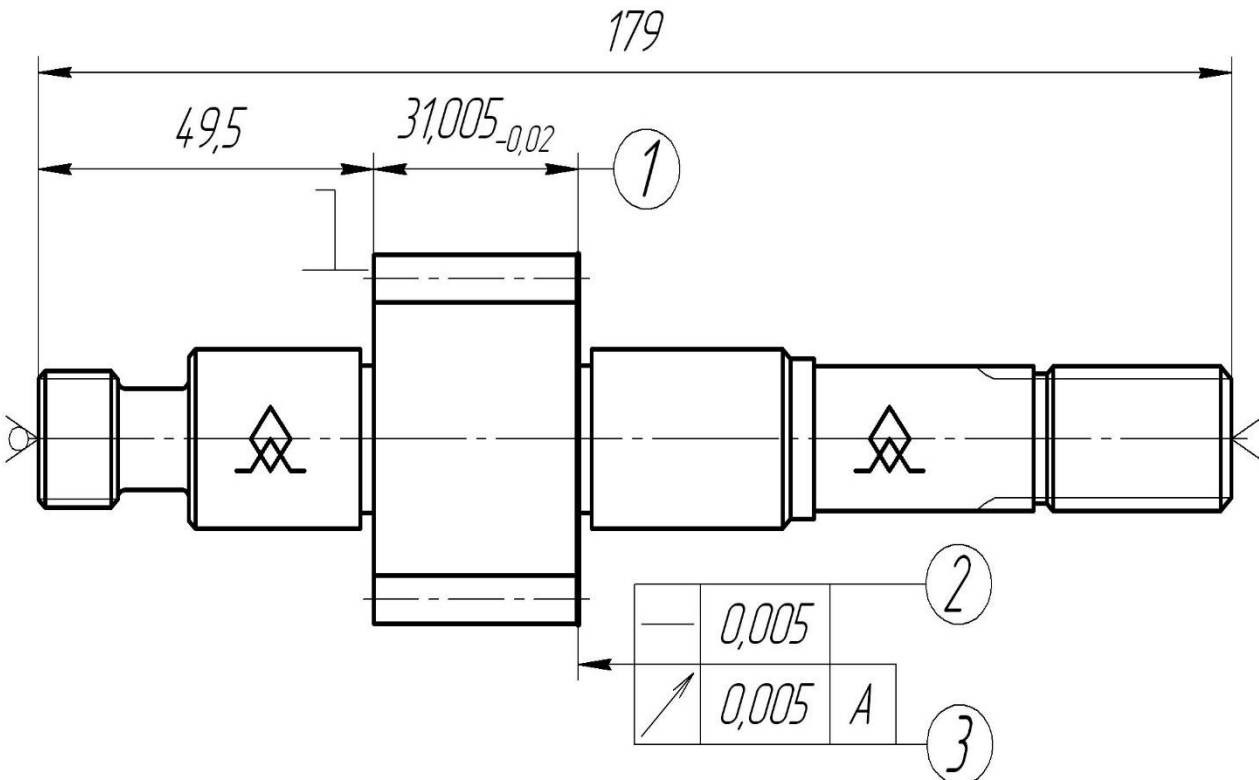
1	2	3	4
095 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following features:  - Total length: 179  - Distance from the left end to the start of the transition zone: 49,5  - Surface finish: <math>Ra\ 0,25</math>  - Surface texture symbols:    1. <math>0,005\ A</math>    2. <math>0,005</math>    3. <math>\phi 25_{-0,055}^{-0,065}</math></p>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати цапфу підшипника довгої сторони, витримуючи розмір 3, допуски 1, 2 остаточно.

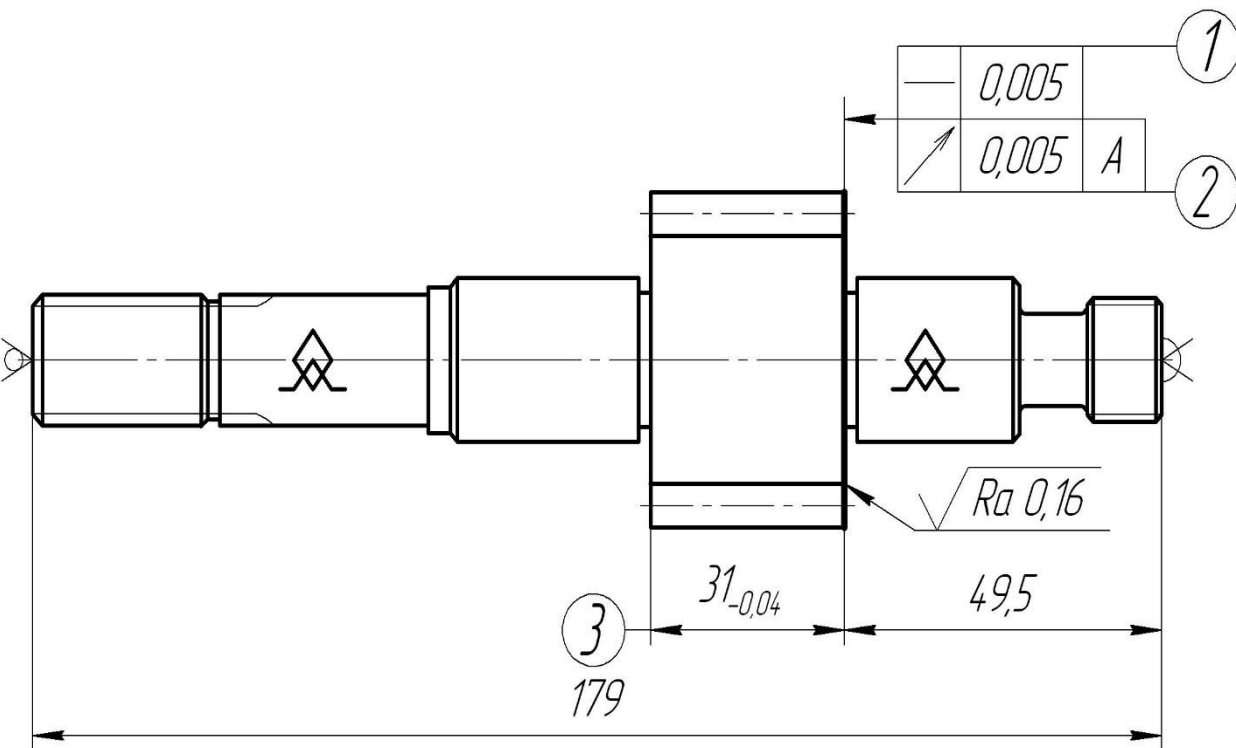
1	2	3	4
100 Торцешлі- фувальна	Круглошлі- вальный ЗБ153	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with several components. Key dimensions and specifications are as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Dimension 1: Surface finish of the top surface, <math>Ra 0,008</math>.</li> <li>Dimension 2: Surface finish of the top surface, <math>Ra 0,008</math> with texture 'A'.</li> <li>Dimension 3: Total length of the assembly, 179.</li> <li>Dimension 4: Length of the central section, <math>31,24_{-0,04}</math>.</li> <li>Dimension 5: Length of the right section, <math>49,5_{-0,6}^{-0,1}</math>.</li> <li>Surface finish of the right section: <math>Ra 0,25</math>.</li> </ul>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати торець зубчатого вінця з короткої сторони, витримуючи розмір 3, 4, допуски 1,2 попередньо.

1	2	3	4
105 Торцешлі- фувальна	Круглошлі- вальний ЗБ153	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p> 	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати торець зубчатого вінця з довгої сторони, витримуючи розмір 3, допуски 1,2 попередньо.

1	2	3	4
120 Круглошлі фувальна	Круглошлі- вальний ЗМ151МВФ2	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following dimensions and specifications:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total length: 179</li> <li>Distance from left end to start of hatched section: 49,7</li> <li>Length of hatched section: 31,6</li> <li>Distance from left end to start of second hatched section: 26,2</li> <li>Surface finish: <math>Ra\ 0,63</math> (indicated on the hatched sections)</li> <li>Dimensional tolerance: <math>\phi 46,9^{+0,025}_{-0,041}</math> (indicated on the diameter of the second hatched section)</li> <li>Surface texture symbol: <math>0,005\ A</math> (indicated on the smooth section, with a circled '1' next to it)</li> <li>Another circled '1' is located at the far right end of the shaft.</li> <li>A circled '2' is located below the diameter tolerance.</li> </ul>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Шліфувати зовнішній діаметр зубчатого вінця, витримуючи розмір2, допуск 1.

1	2	3	4
125 Суперфін шна	020- 125	<p style="text-align: center;">Перехід 02, 03</p> <p style="text-align: center;">Ra 0,16</p> <p style="text-align: center;">63</p> <p style="text-align: center;">43</p> <p style="text-align: center;">Ra 0,32</p> <p style="text-align: center;">phi 25<sup>-0.060</sup><sub>-0.075</sub></p> <p style="text-align: center;">phi 25<sup>-0.060</sup><sub>-0.075</sub></p> <p style="text-align: center;">phi 22<sub>-0.05</sub></p> <p style="text-align: center;">0,005 A</p> <p style="text-align: center;">0,005</p> <p style="text-align: center;">0,005 A</p> <p style="text-align: center;">0,005</p>	<p>01.Встановити та закріпити деталь.</p> <p>02.Суперфінішувати дві цапфи під ущільнення витримуючи розмір 1, 2, допуск 5, 6, 7, 8.</p> <p>03.Суперфінішувати сальникову шийку витримуючи розмір 4, допуск 3.</p>

1	2	3	4
<p>130 Доводочна</p>	<p>Круглошлі- вальний ЗК12</p>	<p>Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with the following dimensions and tolerances:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total length: 179</li> <li>Distance from left end to feature 1: 49,5</li> <li>Distance from feature 1 to feature 2: 31,005<sub>-0,02</sub></li> <li>Feature 1: A circular feature with a diameter dimension of 1.</li> <li>Feature 2: A surface with a tolerance of 0,005.</li> <li>Feature 3: A surface with a tolerance of 0,005 and a texture symbol 'A'.</li> </ul>	<p>01.Встановити та закріпити деталь. 02.Довести торець вінця шестерні з довгої сторони витримуючи розмір 1, допуски 2, 3.</p>

1	2	3	4
135 Доводочна	Круглошлі- вальний 3К12	<p style="text-align: center;">Перехід 02</p>  <p>The drawing shows a shaft assembly with several components. Key dimensions and tolerances are indicated:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Total length: 179 (circled 3)</li> <li>Distance from the right end to the start of the gear: 49,5</li> <li>Distance from the right end to the start of the gear: 31<sub>-0,04</sub></li> <li>Surface texture: <math>\sqrt{Ra\ 0,16}</math></li> <li>Surface texture: <math>0,005</math> (circled 1)</li> <li>Surface texture: <math>0,005</math> A (circled 2)</li> </ul>	01.Встановити та закріпити деталь. 02.Довести торець вінця шестерні з короткої сторони витримуючи розмір 3, допуски 1, 2.

**Металорізальні верстати для обробки шестерні ведучої МШ28Д-00-02**

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. діаметр обробки	Ряд частот обертання (хв <sup>-1</sup> )	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
005 010	GOODWAY TS-150	165x249	0÷6000	0,1÷5,3	22,3	3124x2540
015	LIEBHERR LC150	250	0÷5000	0,2÷2,2	5,5	2000x1450x 1965
025	5122	250	0÷1000	1÷2,2	3,2	2000x1450x 1965
030	53A13C411	450	50÷400	0,26÷1,8	4,2	2390x1340x2 080
035	ЗБ153У	260	0÷2500	0,1÷1,25	4	2640 x 1580 x 1770
065 070 075 080 085 090 095	ЗМ151МВФ2	200 x 700	0÷3000	0,1÷1,2	10	4635x2450x 2170
100 105	ЗБ153У	260	0÷2500	0,1÷1,25	4	2640 x 1580 x 1770
120	ЗМ151МВФ2	200 x 700	0÷3000	0,1÷1,2	10	4635x2450x 2170
125	020-125	20 x 100	0÷1200	0,2÷1,8	3,62	880x1400x 1970
130 135	ЗК12	200	30÷300	0,5÷2,2	7,5	2600x1900x 1975

**2.8. Вибір затискних пристосувань**

Тип та конструктивні особливості затискних пристроїв для виконання кожної технологічної операції визначають з урахуванням обраної теоретичної схеми базування деталі та типу виробництва [3].

Вибрані затискні пристрої для шестерні ведучої їх стисла характеристика наведені в таблицях 2.17.

**Затискні пристрої для затиску шестерні ведучої МШ28Д-00-02**

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	4	5
005	Центр задній	7032-4014	Механічний
010	Центр передній	7162-0093	
015	Пристосування установочне Центр	-	Механічний
020	Центр Центр задній	7032-4167-01 7032-6025	Механічний
025	Пристосування установочне	7520-6009	Механічний
035	Пристосування установочне	7520-6010	Механічний
050	Центр ГОСТ 13214-79	7032-0030	Механічний
055	Центр ГОСТ 13214-79	7032-0030	Механічний
060	Центр ГОСТ 13214-79 Центр	7032-0030 7032-4249	Механічний
065	Центр передній Центр задній	7032-4124 7032-4249	Механічний
070			
075			
080			
085			
090			
115	Центр ГОСТ 13214-79	7032-0030	Механічний
120	Фланець передній Центр задній	7663-6003 7663-6001	Механічний
125	Центр ГОСТ 13214-79	7032-0030	Механічний
130			

**2.9. Вибір ріжучих інструментів**

Враховуючи метод та стадію обробки, тип виробництва, фізико – хімічні характеристики матеріалів вихідної заготовки та інструменту, його міцність та стійкість, а також характер обробки обираємо для кожного переходу ріжучий інструмент. Відомості про обрані інструменти вибираємо з довідників [3]. Характеристики вибраного інструменту для обробки поверхонь деталей наведені в таблицях 2.18

Таблиця 2.18

**Ріжучий інструмент для обробки шестерні ведучої МШ28Д-00-02**

Номер			Назва інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Операції	Позиції	Переходу			Матеріал	Стандарт
1	2	3	4	5	6	7
005		2	Різець	PCLNL	K12	2020
		3	Свердло	2317-0032	IDI 5	SG
		4	Різець	PCLNL	K12	2020
		5	Різець	PCLNL	K12	2020
		6	Різець	PCLNL	K15	2020
		7	Різець	PDJNL	SH UE	150608
		8	Різець	PDJNL	SH UE	150608
		9	Різець	KC5010	NG2	M200LK
	010		2	Різець	PCLNL	K12
		3	Свердло	2317-0032	IDI 5	SG
		4	Різець	PCLNL	K12	2020
		5	Різець	PCLNL	K15	2020
		6	Різець	PDJNL	SH UE	150608
		7	Різець	KC5010	NG2	M200LK
		8	Різець	PCLNL	K15	2020
015			2	Фреза черв'ячна	VE 123432	AS39
020		2	Фреза	PH-50020	BK8	3882-74
025		2	Довбач хвостовий	2540-0081	P6M5	6762-79
035		2	Раскатка	1417-4157	BK8	3882-74
050		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
055		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
060		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
065		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
070		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
075		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
080		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	14A25
085		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM1	24A25
090		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM1	24A25
115		2	Шліфувальний круг	ГОСТ 2424-83	CM2	25A25П
120		2	Блок-брусок алмазний	2-037-397-83	АСМ	К3-02-1-К
125		2	Круг алмазний	ТУ-2-037-233-78	АСМ	В3-01
130		2	Круг алмазний	ТУ-2-037-233-78	АСМ	В3-01

**2.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів**


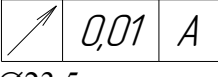
Засоби технічного контролю технічних операцій обираємо з урахуванням точності вимірювання, розміру та якості вимірювальної поверхні і типу

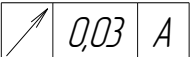

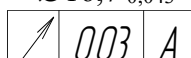
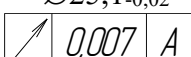



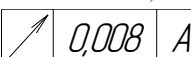
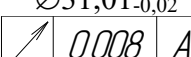

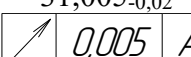
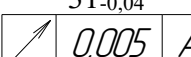
виробництва. Вибрані засоби технічного контролю наведені в таблицях 2.20 та 2.21.

Для контролю циліндричних поверхонь використовуються переважно калібр-скоби та калібр-пробки, а для найбільш точних поверхонь – важільні скоби з контрольними зразками. Лінійні розміри вимірюються за допомогою калібрів. Для контролю технічних вимог використовуються спеціальні пристосування оснащені індикаторами різних типів. Для контролю шорсткості поверхонь використовується профілометр системи “М”.

Таблиця 2.20

**Вимірювальний інструмент для контролю деталі шестерня ведуча МШ28Д-00-02**

Номер операції	Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію	
1	2	3	4	
005	47 <sup>-0,4</sup> Ø6,7 <sup>+0,2</sup>	ШЦ-I-0 Пристосування для контролю глибини Контрольний зразок	ГОСТ 166-89 8514-6002 8514-6002-01	
	48 <sup>-0,2</sup> Ø28,5 <sup>-0,5</sup>	ШЦ-I-0 ШЦ-I-0	ГОСТ 166-89 ГОСТ 166-89	
	Ø47,9 <sup>-0,05</sup> 	Мікрометр МК50 Індикатор МИГ Щуп №1	ГОСТ 6507-78 ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-225-81	
	49,25 <sup>-0,1</sup> <sub>-0,2</sub>	Профілометр	ГОСТ 19300-88	
	12±0,2	ШЦ-I-0	ГОСТ 166-89	
	010	178 Ø6,7 <sup>+0,2</sup>	ШЦ-I-0 ШЦ-II-0 Пристосування для контролю глибини Контрольний зразок	ГОСТ 166-89 ГОСТ 166-89 8514-6002 8514-6002-01
98 <sup>+0,3</sup> Ø28,5 <sup>-0,5</sup>		ШЦ-I-0 ШЦ-I-0	ГОСТ 166-89 ГОСТ 166-89	
31 <sup>-0,04</sup> Ø25,45 <sup>-0,05</sup> 		ШЦ-I-0 Мікрометр МК50 Профілометр Індикатор ІМИГ Щуп №1	ГОСТ 166-89 ГОСТ 6507-78 ГОСТ 19300-88 ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-225-81	
Ø23,5 <sup>-0,21</sup>		Калібр	8113-4127	

015	$\varnothing 32,5_{-0,4}$	Калібр для заміру діаметра впадин зуб'їв Пристосування для контролю допуску Оправка	8124-6005 8532-4054 8431-6014-01
	31,6	Колесо вимірювальне Пристосування для контролю допуску	ГОСТ 6512-74 8532-4054
020	$41,5 \pm 0,5$	Пристосування спеціальне	-
025	$20,05_{-0,05}$	Вимірювальні ролики Мікрометр МК25	8464-6001 ГОСТ 6507-78
035	$\varnothing 22_{-0,040}^{-0,092}$ 	Індикатор 1МИГ Мікрометр МК25 Профілометр	ГОСТ 9696-82 ГОСТ 6507-78 ГОСТ 19300-88
050	$\varnothing 22_{-0,03}$ 	Мікрометр МК25 Індикатор 1МИГ Центра контрольні	ГОСТ 6507-78 ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75
055	$\varnothing 16,7_{-0,043}$ 	Мікрометр МК25 Індикатор 1МИГ Центра контрольні Профілометр	ГОСТ 6507-78 ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 19300-88
060	$\varnothing 25,1_{-0,02}$ 	Індикатор 1МИГ Центра контрольні Скоба	ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75
065	$\varnothing 25_{-0,065}^{0,055}$ 	Індикатор 1МИГ Центра контрольні Скоба	ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75
070	$\varnothing 25,1_{-0,02}$ 	Індикатор 1МИГ Центра контрольні Скоба	ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75
075	$\varnothing 25_{-0,065}^{0,055}$ 	Індикатор 1МИГ Центра контрольні Скоба	ГОСТ 9696-82 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75
080	$\varnothing 49,5_{-0,6}^{0,1}$ 	Індикатор 1МИГ Кільце для контролю бурта Центра контрольні Скоба індикаторна	ГОСТ 9696-82 8533-4050 ТУ2-034-450-75 8515-4036-02-00-00
085	$\varnothing 31,01_{-0,02}$ 	Індикатор 1МИГ Кільце для контролю бурта Центра контрольні Скоба індикаторна	ГОСТ 9696-82 8533-4050 ТУ2-034-450-75 8515-4036-02-00-00
090	$\varnothing 46,9_{-0,041}^{0,025}$ 	Профілометр Контрольне пристосування Індикатор 1МИГ	ГОСТ 19300-88 8515-6005 ГОСТ 9696-82
115	$\varnothing 25_{-0,075}^{0,06}$	Профілометр Скоба	ГОСТ 19300-86 ГОСТ 11098-75
120	$31,005_{-0,02}$ 	Профілометр Пристосування спеціальне Центра контрольні Скоба Індикатор 1МИГ	ГОСТ 19300-86 8533-4029-00-00-05 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75 ГОСТ 9696-82
125	$31_{-0,04}$ 	Профілометр Пристосування спеціальне Центра контрольні Скоба Індикатор 1МИГ	ГОСТ 19300-86 8533-4029-00-00-05 ТУ2-034-450-75 ГОСТ 11098-75 ГОСТ 9696-82

## 2.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталей

На інші поверхні припуски визначаємо за довідниковими таблицями та заносимо в таблицю 2.22 .

Таблиця 2.22

### Припуски на обробку деталі шестерня ведуча МШ28Д-00-02

№ поверхні	Найменування поверхні	Найменування переходу	Припуск $Z_{\min}$ (мм)	Технологічний допуск, мм
1	2	3	4	5
1, 18	Торець	1. Точіння чорнове	4	0,4
3	Зовнішня шліцева поверхня	1. Точіння чорнове 2. Точіння полу чистове 3. Тонке точіння	1,78 1 0,21	0,21 0,084 0,025
4	Шліци	1. Фрезерування	2,5	0,086
5	Шийка	1. Точіння чорнове	2,28	0,21
6, 11	Зовнішня циліндрична	1. Точіння полу чистове 2. Точіння чистове 3. Точіння тонке	1 0,6 0,4	0,3 0,12 0,03
7, 10	Торець	1. Точіння чорнове	1,28	0,25
8	Зубчатий вінець	1. Точіння чорнове 2. Точіння полу чистове 3. Точіння чистове 4. Точіння тонке	1,32 1 0,6 0,4	0,4 0,3 0,12 0,03
9	Зубці	1. Фрезерування	1,3	0,074
12	Канавка	1. Точіння получистове	1	0,18
13	Зовнішня циліндрична	1. Точіння получистове 2. Точіння чистове 3. Попереднє шліфування	1 0,6 0,21	0,3 0,12 0,021
14	Канавка	1. Точіння получистове	1	0,18
15	Зовнішня шліцева поверхня	1. Точіння полу чистове 2. Точіння чистове	1 0,3	0,087 0,09
16	Шліци	1. Фрезерування	2,9	0,046

## 2.12. Визначення режимів різання

На решту операцій елементи режимів різання для деталей шестерня ведуча МШ28Д-00-02 приведені відповідно в таблицях 2.24

Таблиця 2.24

### Режими різання на операціях механічної обробки шестерня ведуча МШ28Д-00-02

Номер			t, мм	S <sub>o</sub> , мм/об, S <sub>хв</sub> , мм/хв	v, м/хв	n, об/хв	t <sub>o</sub> , хв
Операції	Позиції	Переходу					
1	2	3	4	5	6	7	8
005		2	1	0,3	90	2244	0,05
		3	3,35	0,05	6,6	315	0,43
		4	1	0,3	170	2244	0,04
		5	1	0,3	150	2244	0,05
		6	1	0,3	190	1234	0,12
		7	3	0,3	50	315	0,05
		8	1	0,3	150	2244	0,04
		9	1	0,3	150	2244	0,01
010		2	1	0,3	150	2244	0,05
		3	3,35	0,05	6,6	315	0,43
		4	1	0,3	190	2244	0,04
		5	3	0,3	150	2244	0,15
		6	2	0,3	150	2244	0,15
		7	1	0,2	50	315	0,05
		8	3	0,3	50	315	0,05
							Σ0,92
015		2	1,65	3	29,5	120	4,12
020		2	5	0,57	19,5	215	3,79
025		2	3	0,45	15,5	205	3,0
035		2	0,1	0,8	35	920	0,25
050		2	0,25	0,025	30	100	0,4
055		2	0,2	0,025	30	100	0,4
060		2	0,2	0,025	30	100	0,3
065		2	0,25	0,64	50	300	0,6
070		2	0,25	0,64	50	300	0,6
075		2	0,25	0,64	50	300	0,6
080		2	0,25	0,64	50	300	0,6
085		2	0,25	0,05	35	180	0,5
090		2	0,25	0,05	35	180	0,5

115		2	0,25	0,005	30	200	0,7
120		2	0,1	0,01	75	500	1,87
125		2	0,005	0,0015	70	300	0,2
130		2	0,005	0,0015	70	300	0,2

### 2.13. Технічне нормування операцій

Результати вибору та розрахунку норм часу заносимо в таблиці 2.27.

Таблиця 2.27

#### Результати технічного нормування операцій механічної обробки шестерня ведуча МШ28Д-00-02

№ операції	$t_o$ , хв	$t_d$ , хв	$t_{обсл.}$ , хв	$t_{відп.}$ , хв	$t_{шт.}$ , хв	$T_{п-з.}$ , хв
005	0,79	0,903	0,1	0,04	1,833	17
010	0,92	0,79	0,11	0,04	1,86	17
015	4,12	0,48	0,24	0,14	4,98	30
020	3,79	0,44	0,23	0,12	4,58	23
025	3,0	0,248	0,28	0,18	3,708	28
035	0,25	0,21	0,03	0,02	0,51	10
050	0,4	0,34	0,05	0,03	0,82	10
055	0,4	0,34	0,05	0,03	0,82	10
060	0,3	0,28	0,04	0,02	0,64	10
065	0,6	0,42	0,07	0,04	1,13	10
070	0,6	0,42	0,07	0,04	1,13	10
075	0,6	0,42	0,07	0,04	1,13	10
080	0,6	0,42	0,07	0,04	1,13	10
085	0,5	0,39	0,06	0,04	0,99	10
090	0,5	0,39	0,06	0,04	0,99	10
115	0,7	0,44	0,1	0,06	1,3	10
120	1,87	0,6	0,18	0,1	2,75	24
125	0,2	0,27	0,03	0,02	0,52	12
130	0,2	0,27	0,03	0,02	0,52	12

## Висновки

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології механічної обробки деталі шестерня ведуча »

Розроблені технологічні процеси механічної обробки забезпечують стабільне досягнення заданих технічних характеристик деталі, зокрема параметрів точності, геометричної правильності та шорсткості оброблюваних поверхонь. У впровадженій технологічній схемі передбачено використання сучасного високотехнологічного металорізального обладнання, орієнтованого на досягнення підвищеної гнучкості виробництва, адаптивності до змін номенклатури продукції та забезпечення високопродуктивних режимів різання з одночасним дотриманням вимог до термостійкості інструменту та мінімізації міжопераційних похибок.

Застосування верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) дозволило суттєво оптимізувати виробничу інфраструктуру підприємства. Зокрема, за рахунок інтеграції декількох технологічних операцій в один автоматизований цикл, вдалося скоротити номенклатуру необхідного устаткування, зменшити потребу в робочій силі без зниження темпів випуску продукції та звільнити виробничі площі для подальшої диверсифікації або модернізації. Крім того, цифрове програмне керування сприяло зниженню собівартості виготовлення деталей завдяки підвищенню точності позиціонування, скороченню часу на переналагодження та зменшенню відходів, при цьому зберігаючи або навіть підвищуючи загальну продуктивність виробництва. Такий підхід повністю відповідає сучасним концепціям ресурсоефективного та високоточного машинобудування.

## Перелік використаних джерел

1. Годунко М.О. Основи 3D моделювання і робототехніки: Навч. посіб. для проведення практичних занять / М.О. Годунко, А.І. Гречка. – К. : 7БЦ, 2024. – 42 с.
2. Апаракін А.Р. Синтез схем навантаження силових елементів кулькогвинтового гідропідсилювача з аксіальною структурою приводу / А.Р. Апаракін, П.М. Єрємін, В.А. Мажара // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. – Кропивницький: ЦНТУ, 2024. – Вип. 9 (40). - Ч. II. – С. 23-31.
3. Мажара В.А. Система автоматизованого проектування технологічного оснащення / В.А. Мажара, К.К. Щербина, А.М. Артюхов, С.А. Тененика, І.С. Шестаков // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кропивницький : ЦНТУ, 2024. – Вип. 54. – С. 12-23.
4. Мажара В. А. Контрольно-вимірювальні пристрої. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної та заочної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2010. – 48 с.
5. Мажара В. А. Технологічна оснастка. Методичні вказівки для виконання самостійної роботи студентами денної форми навчання напрямку «Інженерна механіка» з профілюванням за спеціальністю «Технологія машинобудування». – Кіровоград: КНТУ, 2009. – 44 с.
6. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту по кафедрі «Технологія машинобудування» для студентів спеціальності 8.090202 /Уклад. І.І. Павленко та ін. – Кіровоград: КДТУ, 2002. – 40с.
7. Кривошея А.В., Данильченко Ю.М., Мельник В.Е., Благут Э.М. Перспективы применения твердосплавных отрезных дисковых фрез при обработке цилиндрических зубчатых колес // Резание и инструмент в технологических системах: Межд. научн.-техн. сборник. – Харьков: НТУ “ХПИ”, 2005. – Вып.69. – С. 115-120.
8. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І., Короткий Є.В. Кінематика формоутворення циліндричних зубчастих коліс з заданим профілем дисковим

інструментом // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2005. – № 46. – С. 104-108.

9. Данильченко Ю.М., Кривошея А.В., Пастернак С.І. Математичне моделювання законів руху дискового інструменту при обробці зубчастих коліс довільного профілю // Вестник НТУУ “Киевский политехнический институт”, сер. Машиностроение. – 2006. – № 49. – С. 104-108.

10. 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. 16с.

11. Боровик О. В., Малашин М. О. Довідник з креслення. Стандарти ISO : навчально-методичний посібник. Хмельницький: Видавництво НАДПСУ. 2014. 104 с.

12. ДСТУ ISO 128-1:2005 Технічні Кресленики. Загальні принципи оформлення. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

13. ДСТУ EN ISO 10209:2018 Технічна документація на продукцію. Словник термінів щодо технічних креслеників, визначення виробів і відповідної документації. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.

14. ДСТУ ISO 5457:2006 Документація технічна на вироби. Розміри та формати. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008.

15. ДСТУ ISO 5455:2005 Кресленики технічні. Масштаби. [Чинний від 2006- 07-01]. Київ, 2006.

16. ДСТУ ISO 3098-0:2006 Документація технічна на вироби. Шрифти. Загальні вимоги. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2006.

17. ДСТУ ISO 128-20:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи подавання. Частина 20. Основні положення про лінії. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.

18. ДСТУ ISO 128-21:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 21. Лінії, виконані автоматизованим проектуванням. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.

- 19.ДСТУ ISO 128-22:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 22. Основні положення та правила застосування 27 ліній виносок і полиць ліній-виносок. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 20.ДСТУ ISO 128-24:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 24. Лінії на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 21.ДСТУ ISO 128-30:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 30. Основні положення про види. [Чинний від 2007- 04-01]. Київ, 2007.
- 22.ДСТУ ISO 128 34:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 34. Види на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 23.ДСТУ ISO 128-40:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 40. Основні положення про розрізи та перерізи. [Чинний від 2007-04-01]. Київ, 2007.
- 24.ДСТУ ISO 128-44:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 44. Розрізи та перерізи на машинобудівних креслениках. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2005.
- 25.ДСТУ ISO 128 50:2005 Кресленики технічні. Загальні принципи оформлення. Частина 50. Основні положення про зображення розрізів і перерізів. [Чинний від 2006-07-01]. Київ, 2006.
- 26.ДСТУ EN ISO 1302:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Познака зовнішньої текстури в технічній документації на продукцію. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.
- 27.ДСТУ ISO 129 1:2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи. [Чинний від 2009-07-01]. Київ, 2010.
- 28.ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок. [Чинний від 2003-10-01]. Київ, 2003. 28
- 29.ДСТУ EN ISO 2692:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Визначення геометричних допусків. Вимоги щодо максимуму

матеріалу (MMR), мінімуму матеріалу (LMR) та взаємодії (RPR). [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

30.ДСТУ ISO 2768-1:2001 Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

31.ДСТУ ISO 2768-2:2001 Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

32.ДСТУ ISO 5458-2001 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Встановлення геометричних допусків. Позиційні допуски. [Чинний від 2003-01-01]. Київ, 2002.

33.ДСТУ EN ISO 5459:2018 Технічні вимоги до геометричних характеристик продукції (GPS). Геометричні допуски. Бази та системи баз. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

34.ДСТУ ISO 7083:2009 Кресленики технічні. Умовні позначки геометричних допусків. Співвідношення та розміри. [Чинний від 2011-07-01]. Київ, 2015.

35.ДСТУ ISO 10578:2014 Кресленики технічні. Допуски орієнтування та розташування. Виступне поле допуску. [Чинний від 2015-07-01]. Київ, 2015.

36.ДСТУ EN ISO 6433:2018 Кресленики технічні. Позначення деталей. [Чинний від 2019-01-01]. Київ, 2018.

37.ДСТУ EN ISO 7200:2005 Розроблення технічної документації. Графи у штампах та основних написах. [Чинний від 2006-10-01]. Київ, 2007.

38.ДСТУ ISO 7573:2006 Кресленики технічні. Специфікація. [Чинний від 2001-06-27]. Київ, 2008.