

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
«_____» _____ 2026 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
на тему:
**Розробка технології механічної обробки деталі
ротора УЯИШ.716624.702**

Виконав здобувач вищої освіти 4-го курсу
групи ПМ-22-3
ОПП «Комп'ютерний інжиніринг
технологій, робототехніка і 3D друк»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Дмитро БУША

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: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Комп'ютерний інжиніринг технологій,
робототехніка і 3D друк

Завідувач кафедри
машинобудування, мехатроніки і
робототехніки
канд. техн. наук., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
«_____» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
за першим (бакалаврським) рівнем вищої освіти
Буша Дмитро Олександрович

Тема роботи:

Розробка технології механічної обробки деталі ротор УЯИШ.716624.702

Керівник роботи:

канд. техн. наук, доцент Кирил ЩЕРБИНА

Затверджено наказом ЦНТУ від _____ 2026 року №

Строк подання роботи до захисту

20 червня 2026 р.

Мета та завдання кваліфікації роботи:

Мета: підвищення продуктивності технологічного процесу для виготовлення деталі ротор УЯИШ.716624.702

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

Календарний план

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання роботи	Примітка
1	Опрацювання навчальної та наукової літератури по тематиці роботи	14.04.2026	
2	Виконання загальної частини	28.04.2026	
3	Виконання конструкторської частини	30.04.2026	
4	Розробка креслеників	30.04.2026	
5	Усунення недоліків після перевірки керівником роботи	12.05.2026	
6	Перевірка роботи на академічний плагіат	02.06.2026	
7	Рецензування роботи	12.06.2026	
8	Захист кваліфікаційної роботи	20.06.2026	

Дата видачі завдання
3 лютого 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Дмитро БУША

Керівник роботи _____ Кирил ЩЕРБИНА

АНОТАЦІЯ

Буша Д.О.. Розробка технології механічної обробки деталі ротор УЯИШ.716624.702 : кваліфікаційна бакалаврська робота: спец. 131 Прикладна механіка / наук. кер. К.К. Щербина; Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. Кропивницький : ЦНТУ, 2025. 78 с.

Креслеників – разом 3 аркушів формату А1

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі ротор УЯИШ.716624.702.

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, ротор , кульково-гвинтовий гідропідсилювач

ANNOTATION

Busha D. Developmet of machining technology for rotor UYAISH.716624.702: qualification work for the education level “Bachelor”: specialty 131 Applied Mechanics / Scientific supervisor K.K. Shcherbyna; Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi: CNTU, 2025. 78 c.

Drawings - a total of 3 sheets of A1 format

The aim of the work is to develop technological equipment for the manufacture of a rotor UYAISH.716624.702.

The relevance of the work is to increase productivity and reduce the cost of manufacturing the part by using technological equipment with automatic clamping of parts.

The work describes the assembly and the part and their service purpose, analyzes the accuracy and manufacturability, calculates the clamping device in accordance with the acting cutting forces during machining and the control device.

manufacturing process, processing modes, rotor, ball-screw hydraulic booster

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи на тему:

Розробка технології механічної обробки деталі ротора УЯИШ.716624.702

КРБ.ПМ.26.23.64.00.00

Виконав здобувач вищої освіти 4-го
курсу групи ПМ-22-3
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна
механіка»

_____ Дмитро БУША

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Кирил ЩЕРБИНА

Кропивницький –2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. Загальна частина	9
1.1. Характеристика вузла та деталей, обраних для проектування технологічних процесів.....	9
1.2. Аналіз точності та технологічності деталей.....	19
2. Технологічна частина.....	24
2.1. Аналіз діючих технологічних процесів.....	24
2.2. Вибір заготовок та способу їх виготовлення.....	25
2.3. Вибір методів обробки поверхонь деталей.....	29
2.4. Розробка маршрутів виготовлення деталей.....	32
2.5. Вибір технологічних баз.....	35
2.6. Розробка структури технологічних операцій і вибір обладнання для їх здійснення.....	37
2.7. Вибір затискних пристроїв.....	55
2.8. Вибір різальних інструментів.....	57
2.9. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів.....	60
2.10. Визначення припусків та операційних розмірів деталей.....	62
2.11. Визначення режимів різання.....	65
2.12. Технічне нормування операцій.....	70
Висновки.....	73
Література.....	75

ВСТУП

Головна стратегічна мета розвитку машинобудування — створення високотехнологічного виробничого середовища, яке здатне насичувати внутрішній ринок конкурентоспроможною наукоємною продукцією та інтегруватися у глобальні ланцюги доданої вартості. Досягти цього можливо лише через комплексну структурно-технологічну трансформацію галузі: підвищення рівня автоматизації, впровадження цифрових технологій і побудову гнучких виробничих систем відповідно до концепції Індустрії 4.0.

Сучасне машинобудівне підприємство повинне вирізнятися адаптивністю до змін ринку, технологічною мобільністю та інноваційною активністю. Це забезпечується через інтеграцію інформаційно-комунікаційних технологій, автоматизованих систем управління виробництвом і цифрових платформ інженерного проєктування.

Практична реалізація стратегії передбачає низку взаємопов'язаних заходів. Насамперед — технічне переоснащення виробничих потужностей, модернізацію обладнання та оновлення основних фондів за рахунок сучасних високопродуктивних обробних центрів. Важливим напрямом є впровадження інтегрованих систем автоматизованого проєктування і технологічної підготовки виробництва (CAD/CAM/CAE), застосування роботизованих комплексів, гнучких виробничих модулів і систем ЧПК. Усе це безпосередньо впливає на точність обробки, тривалість виробничого циклу та ресурсоемність процесів.

Поряд із технічним переоснащенням критичним чинником залишається кадровий потенціал: підготовка інженерів із компетентностями у сфері експлуатації та супроводу автоматизованих технологічних систем. Комплексне впровадження зазначених заходів забезпечить зростання техніко-економічних показників виробництва, розширення номенклатури продукції, підвищення продуктивності праці та зміцнення експортного потенціалу галузі.

У межах роботи розробляються конструктивно й технологічно обґрунтовані затискні пристрої для механічної обробки деталей типу «рейка-поршень» на верстатах із ЧПК. Спеціалізоване технологічне оснащення такого типу підвищує

жорсткість системи базування та закріплення заготовки, мінімізує похибки позиціонування, стабілізує геометричні параметри обробки і знижує вплив вібраційних навантажень у процесі різання.

Раціонально спроектовані затискні механізми дозволяють скоротити допоміжний час на встановлення і фіксацію деталі, підвищити точність взаємного розташування оброблюваних поверхонь і інтенсифікувати технологічний процес загалом. Результатом є зростання продуктивності обробки, покращення якості готового виробу та підвищення ефективності виробництва в умовах серійного й масового машинобудування.

1. Загальна частина

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

Кульково-гвинтовий гідропідсилювач моделі 720 (рис. 1.1) являє собою комбінований механогідравлічний агрегат, інтегрований у систему рульового керування транспортного засобу та призначений для перетворення і підсилення керуючого моменту, прикладеного водієм до рульового колеса. Конструктивно вузол поєднує механічний передавальний механізм та гідравлічний виконавчий контур, що забезпечує ефективну передачу зусилля до керованих коліс із мінімізацією фізичного навантаження на оператора.

Функціональне призначення гідропідсилювача полягає у забезпеченні високоточного керування напрямком руху транспортного засобу шляхом трансформації вхідного обертального моменту у вихідне осьове переміщення через кінематичний ланцюг кульково-гвинтової передачі та гідравлічного підсилювального механізму. Використання кульково-гвинтової передачі забезпечує підвищену точність позиціонування, високу жорсткість кінематичної системи та стабільність передавання навантаження за умов змінних режимів експлуатації.

Принцип роботи пристрою базується на взаємодії гвинтової пари з рециркуляцією тіл кочення, завдяки чому суттєво зменшуються втрати енергії на тертя ковзання та забезпечується високий коефіцієнт корисної дії механізму. Наявність циркулюючих кульок між поверхнями гвинта та гайки дозволяє знизити контактні напруження, мінімізувати зношування робочих поверхонь і забезпечити плавність переміщення виконавчих елементів за мінімального люфту. Така конструктивна схема сприяє підвищенню точності рульового керування, покращенню чутливості системи та стабільності функціонування механізму в умовах інтенсивних динамічних навантажень.

Гідравлічний контур підсилювача забезпечує створення додаткового силового впливу на виконавчий механізм, що дозволяє суттєво зменшити керуюче зусилля

на рульовому колесі та підвищити ергономічні характеристики системи керування. Завдяки демпфувальним властивостям робочої рідини досягається ефективне поглинання ударних і вібраційних навантажень, які виникають у процесі руху транспортного засобу, що позитивно впливає на плавність керування та курсову стійкість. Особливо ефективною робота гідروпідсилювача є в режимах маневрування на малих швидкостях та при значних кутах повороту керованих коліс, коли навантаження на рульовий механізм суттєво зростають.



Рис. 1.1. Кульково-гвинтовий гідропідсилювач 720

Конструктивне виконання гідропідсилювачів серії 720 адаптоване до експлуатації у складі рульових систем транспортних засобів із розрахунковою швидкістю руху до 60 км/год та передбачає забезпечення необхідних показників міцності, жорсткості й надійності. Технічні характеристики вузла гарантують достатній запас втомної міцності елементів конструкції, довговічність прецизійних поверхонь кульково-гвинтової передачі та стабільність функціонування агрегату в умовах тривалих знакозмінних механічних і

гідравлічних навантажень. Застосування високоміцних матеріалів, термічно зміцнених робочих поверхонь та прецизійної механічної обробки забезпечує підвищення ресурсу роботи механізму, зниження інтенсивності зношування та підтримання стабільних експлуатаційних параметрів протягом усього терміну служби виробу.

Процес керування реалізується за допомогою комбінованої механогідравлічної системи, у якій механічні передавальні елементи функціонально інтегровані з гідравлічним контуром підсилення зусилля. Така конструктивна схема забезпечує ефективну передачу керуючого моменту від рульового колеса до виконавчих органів рульового механізму з одночасним підсиленням потужності за рахунок використання енергії потоку робочої рідини. Поєднання механічного та гідравлічного принципів дії дозволяє забезпечити високу точність керування, зниження фізичного навантаження на водія та стабільність функціонування системи в широкому діапазоні експлуатаційних режимів.

Для дослідження конструктивної структури агрегату, аналізу взаємодії його функціональних елементів та оцінювання особливостей перебігу робочих процесів доцільно розглянути гідрокінематичну схему пристрою. Зазначена схема відображає взаємозв'язок механічних ланок із гідравлічними виконавчими елементами, а також характеризує кінематичну послідовність передавання обертового моменту та силових навантажень у системі рульового керування. Крім того, гідрокінематична схема дозволяє простежити траєкторії руху робочої рідини в магістралях високого та низького тиску, визначити особливості розподілу гідравлічного тиску між виконавчими порожнинами та проаналізувати режими функціонування гідропідсилювача в умовах змінних навантажень.

Аналіз гідрокінематичної схеми дає можливість оцінити ефективність роботи системи підсилення, визначити характер взаємодії між механічною та гідравлічною підсистемами, а також встановити закономірності зміни силових і кінематичних параметрів у процесі експлуатації. Це створює необхідне підґрунтя для подальшого дослідження конструктивних особливостей вузла, оптимізації

параметрів його роботи та підвищення надійності функціонування рульового механізму транспортного засобу (рис. 1.2).

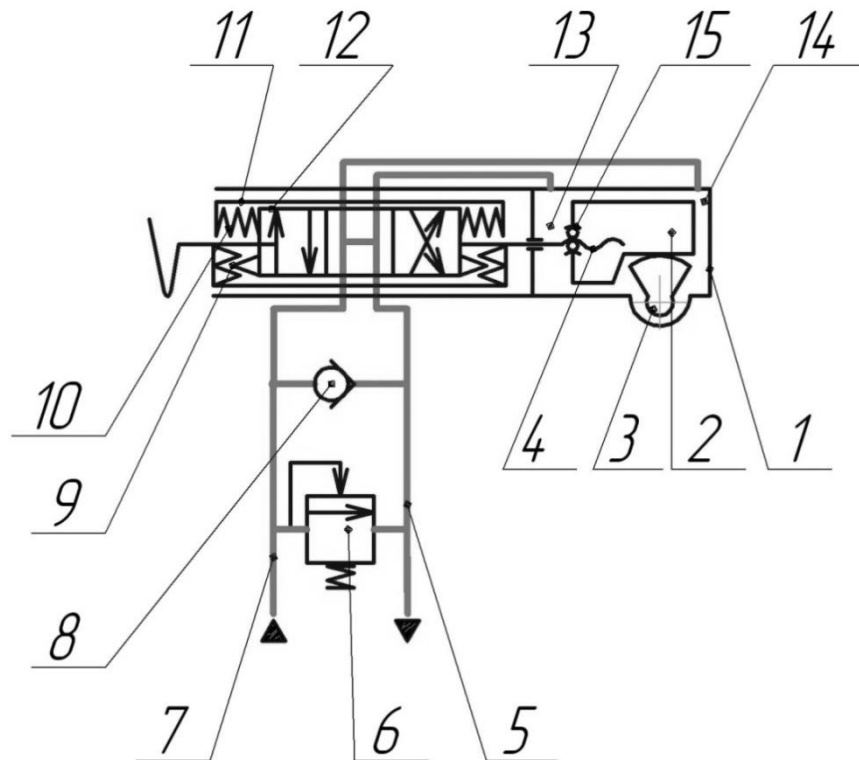


Рис. 1.2. Гідрокінематична схема КГГП:

Кульково-гвинтовий механізм із гідропідсиленням моделі 720 являє собою інтегрований механогідравлічний агрегат двосторонньої дії, призначений для перетворення та підсилення керуючого зусилля в системі рульового керування транспортного засобу. Функціональна структура пристрою базується на поєднанні механічних передавальних елементів із гідравлічним силовим контуром, що забезпечує ефективну генерацію та ампліфікацію вихідного крутного моменту. Моноблочне компонування основних вузлів у єдиному картері забезпечує підвищення жорсткості конструкції, зменшення масогабаритних характеристик агрегату та покращення його експлуатаційної надійності.

Конструктивна структура гідропідсилювача 720 включає систему функціонально взаємопов'язаних механічних та гідравлічних вузлів. До складу агрегату входить гідравлічний розподільник стежного типу, утворений прецизійною золотниковою парою у вигляді зовнішнього та внутрішнього золотників, взаємодія яких забезпечує дозоване керування потоками робочої

рідини. Конструкція розподільника оснащена торсіонними пружними елементами та обмежувальною муфтою, що визначає допустимий діапазон взаємного кутового зміщення золотникової пари. Гідравлічний контур системи складається з напірної та зливної магістралей, які забезпечують циркуляцію робочого середовища між насосом, розподільником та виконавчими порожнинами механізму.

Важливими елементами системи є клапанні пристрої, представлені запобіжним і зворотним клапанами. Запобіжний клапан призначений для обмеження максимального робочого тиску в гідросистемі та захисту елементів конструкції від перевантажень, тоді як зворотний клапан забезпечує стабільність циркуляції робочої рідини, запобігає виникненню кавітаційних явищ та підтримує працездатність системи за умов негативних перепадів тиску. Виконавчий механізм реалізований у вигляді рейкової передачі, до складу якої входять рейка-поршень та зубчастий вал-сектор, що забезпечують перетворення поступального переміщення у кутовий поворот виконавчої ланки рульового механізму.

Ключовим елементом механічної частини агрегату є кульково-гвинтова передача, утворена ходовим гвинтом та гвинтовим каналом, інтегрованим у конструкцію рейки-поршня. Використання тіл кочення в зоні контакту забезпечує суттєве зниження втрат енергії на тертя, підвищення коефіцієнта корисної дії та мінімізацію зношування контактних поверхонь. Робочі порожнини гідропідсилювача сформовані шляхом герметичного розділення внутрішнього об'єму картера поршневою групою на дві ізольовані камери високого та низького тиску, що забезпечує реалізацію двосторонньої дії виконавчого механізму.

Принцип функціонування агрегату базується на комбінованому використанні гідростатичного підсилення та механічної передачі зусилля. У штатному режимі роботи основна частина вихідного силового впливу формується за рахунок перепаду тиску робочої рідини, який забезпечує поступальне переміщення рейки-поршня у внутрішній порожнині картера. Подальше перетворення поступального руху у кутове переміщення виконавчої ланки здійснюється через рейкове зачеплення з валом-сектором. Кульково-гвинтова передача при цьому виконує

функцію механічного зворотного зв'язку, забезпечуючи кінематичну відповідність між вхідним керуючим впливом та вихідним положенням рульового механізму.

У випадку часткової деградації або повної відмови гідравлічного контуру система переходить у режим прямої механічної передачі моменту. У цьому режимі крутний момент від вхідного вала через ходовий гвинт та обмежувальну муфту безпосередньо передається на рейку-поршень. Для зниження гідравлічного опору в аварійному режимі активується зворотний клапан, який забезпечує вільне перетікання робочої рідини між робочими порожнинами за замкненим контуром. Це дозволяє уникнути ефекту гідравлічного блокування та забезпечити збереження працездатності рульового механізму навіть у разі втрати тиску в системі.

Розподіл потоків робочої рідини в системі здійснюється за допомогою прецизійної золотникової пари. Взаємне кутове зміщення внутрішнього та зовнішнього золотників формує гідравлічні канали, через які потік робочої рідини спрямовується до відповідної робочої порожнини виконавчого механізму. У результаті створення гідростатичного тиску відбувається переміщення рейки-поршня, тоді як із протилежної камери рідина витісняється у зливну магістраль. Кінематична узгодженість функціонування системи забезпечується жорстким механічним зв'язком зовнішнього золотника з ходовим гвинтом, що дозволяє реалізувати замкнений контур стежного керування з високими показниками статичної та динамічної точності.

Динамічні характеристики гідропідсилювача визначаються часовою залежністю між вхідним керуючим сигналом та реакцією виконавчого механізму. Величина гістерезису, фазового запізнення та швидкість повернення золотникової пари у нейтральне положення залежать від жорсткості торсійних елементів і величини вільного ходу обмежувальної муфти. Збільшення інерційності рухомих елементів або надмірний кут вільного зміщення призводять до погіршення точності відпрацювання керуючого сигналу та зниження динамічної стабільності системи. Підвищення точності функціонування досягається шляхом мінімізації

кутового люфту муфти та оптимізації жорсткості пружних елементів, що забезпечує швидке повернення розподільника у вихідне положення після припинення дії керуючого моменту.

Конструктивна архітектура агрегату характеризується Т-подібною конфігурацією картера, утвореною спряженням двох циліндричних порожнин. У робочому об'ємі картера розташовані ходовий гвинт у зборі з ротором та поршневою групою, які разом із гайкою формують кульково-гвинтову передачу з високим коефіцієнтом корисної дії. Рейка-поршень, кінематично зв'язана з гайкою, входить у зачеплення з валом-сектором, формуючи силову рейкову передачу. Опорні вузли вала-сектора виконані на базі прецизійних роликових підшипників, що забезпечує зменшення моменту тертя та підвищення плавності обертання.

Ротор функціонує як первинна керуюча ланка системи та має евольвентні поздовжні шліци, що взаємодіють зі шліцами внутрішньої поверхні гвинта, утворюючи жорстке шліцьове з'єднання для передачі крутного моменту. Внутрішня циліндрична поверхня гвинта одночасно виконує функцію зовнішнього золотника, тоді як прецизійна зовнішня поверхня ротора функціонує як внутрішній золотник гідророзподільника. Така інтеграція елементів дозволяє забезпечити високу компактність агрегату, зменшення його маси та підвищення точності функціонування системи керування.

До основного картера кріпиться окремий корпус гідророзподільника, у якому розміщено систему напірних та зливних каналів, а також порожнини для встановлення клапанної апаратури. Герметичність гідросистеми забезпечується комплексом ущільнювальних елементів, які запобігають внутрішнім та зовнішнім витокам робочої рідини й підтримують стабільний рівень гідростатичного тиску у виконавчих камерах. Рейка-поршень конструктивно виконана у вигляді порожнистого циліндра, внутрішня поверхня якого спряжена з гайкою кульково-гвинтової передачі, а на зовнішній поверхні сформовано зубчасті ряди для взаємодії з валом-сектором. Жорстка фіксація гайки відносно рейки-поршня здійснюється за допомогою клинового з'єднання, що забезпечує безлюфтову

передачу навантаження, високу жорсткість конструкції та підвищену втомну міцність вузла.

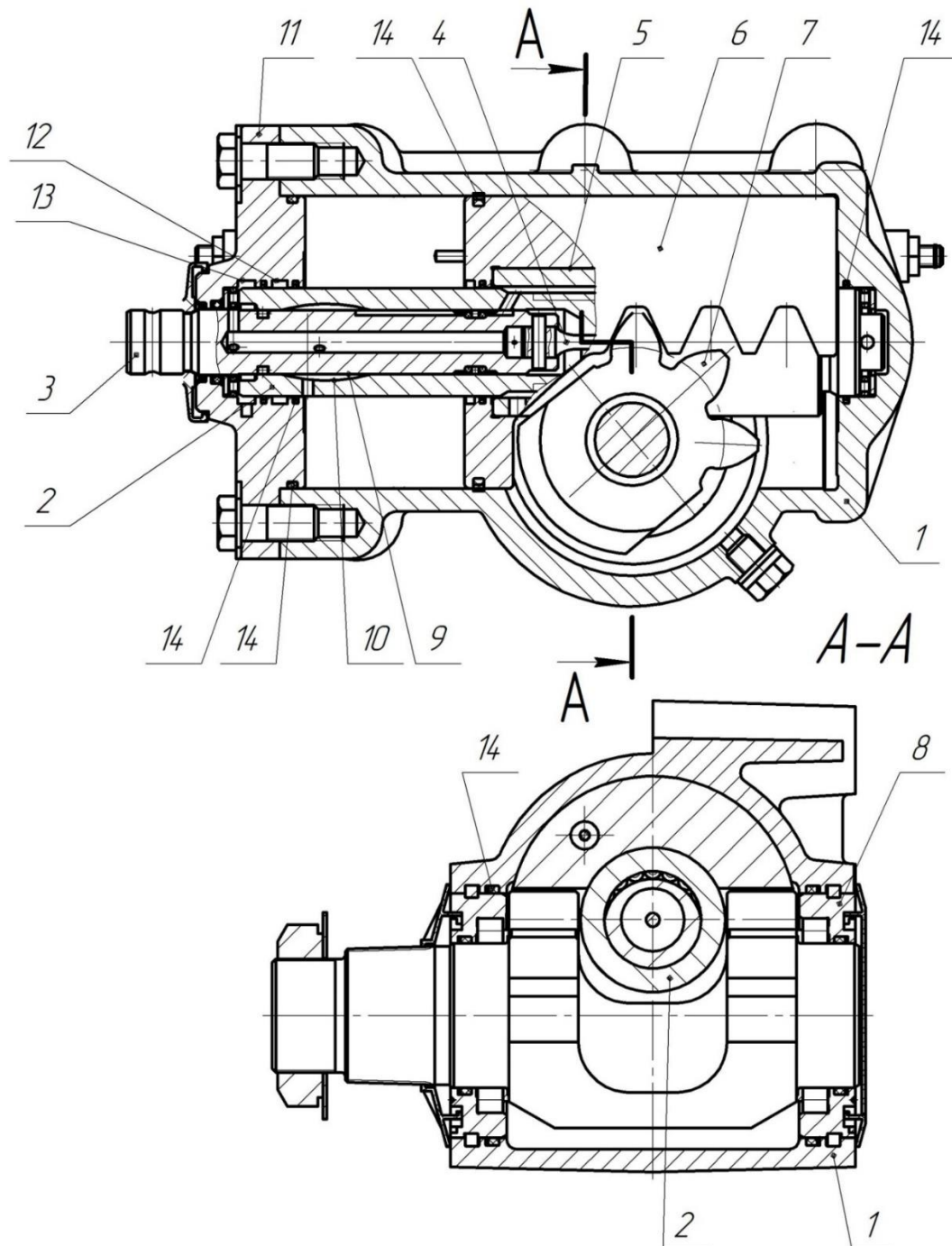


Рис. 1.3. Конструктивне виконання КГПП 720

Внутрішня порожнина гайки містить ходовий гвинт, який кінематично пов'язаний із рульовим валом через торсійний елемент, що виконує функцію пружного датчика крутного моменту. Торсіон забезпечує передачу керуючого зусилля з одночасною компенсацією динамічних навантажень та формуванням

керуючого сигналу для системи гідравлічного розподілу. Рульовий вал жорстко інтегрований із ротором гідророзподільника, формуючи вхідну ланку механогідравлічної системи керування.

Для забезпечення високого ресурсу роботи, підвищення коефіцієнта корисної дії та забезпечення реверсивності кульково-гвинтової передачі між гвинтовими поверхнями гвинта та гайки розміщено антифрикційні елементи — прецизійні сталеві кульки, які функціонують у двох незалежних замкнених контурах рециркуляції. Кінцеві ділянки кожної гвинтової канавки сполучаються за допомогою спеціальних напрямних вкладишів, що формують канали повернення тіл кочення у зону силового контакту. У процесі обертання гвинта кульки здійснюють безперервний рух по гвинтовій траєкторії, проходячи через вхідний вкладиш, рециркуляційний канал та вихідний вкладиш із подальшим поверненням у робочу зону навантаження. Така схема замкненого циклу забезпечує мінімізацію втрат енергії на тертя, зниження контактних напружень, усунення небезпеки заклинювання та підвищення плавності функціонування механізму.

Кінематичне перетворення в системі реалізується шляхом трансформації обертального руху ходового гвинта у поступальне переміщення гайки, жорстко з'єднаної з рейкою-поршнем. Подальше лінійне переміщення рейки-поршня через зубчасте рейкове зачеплення перетворюється у кутовий поворот вала-сектора. Вихідний крутний момент із вала-сектора передається на рульову сошку, яка здійснює силовий вплив на елементи рульової трапеції, забезпечуючи зміну положення керованих коліс транспортного засобу.

Конструктивна взаємодія деталі у складі механізму реалізується шляхом спряження зовнішньої циліндричної поверхні гайки з внутрішнім діаметром рейки-поршня, виконаної у формі порожнистого циліндра. Кінематичний зв'язок між гайкою та рейкою-поршнем забезпечується клиновим з'єднанням, яке гарантує високу жорсткість вузла, безлюфтову передачу навантаження та відсутність відносних переміщень між елементами конструкції. На зовнішній поверхні рейки-поршня сформовано два ряди зубців, що утворюють зачеплення з валом-сектором рульового механізму.

Функціонування внутрішнього механізму деталі забезпечує роботу кульково-гвинтової гідропередачі, у якій ходовий гвинт, розташований у внутрішній порожнині гайки, через торсіонний вал жорстко сполучений із ротором-розподільником. Для підвищення ресурсу роботи та забезпечення повної реверсивності механізму у гвинтові канали інтегровано два незалежні замкнені контури циркуляції тїл кочення. Рециркуляція кульок здійснюється через спеціальні напрямні вкладиші, що формують замкнений контур руху для кожної гвинтової канавки.

Технологічний цикл функціонування вузла полягає у перетворенні обертального моменту ходового гвинта у поступальне переміщення гайки та рейки-поршня вздовж поздовжньої осі механізму. У процесі роботи кульки безперервно циркулюють через систему рециркуляційних каналів, повертаючись у зону активного контакту між гвинтом і гайкою. Поступальний рух рейки-поршня через зубчасте зачеплення ініціює кутове переміщення вала-сектора, яке передається на рульову сошку та викликає зміну положення керованих коліс транспортного засобу. Така конструктивно-кінематична схема забезпечує високу точність керування, плавність передачі зусилля та стабільність функціонування механізму в умовах змінних експлуатаційних навантажень.

Ескізи деталі ротор представлені на рис. 1.4.

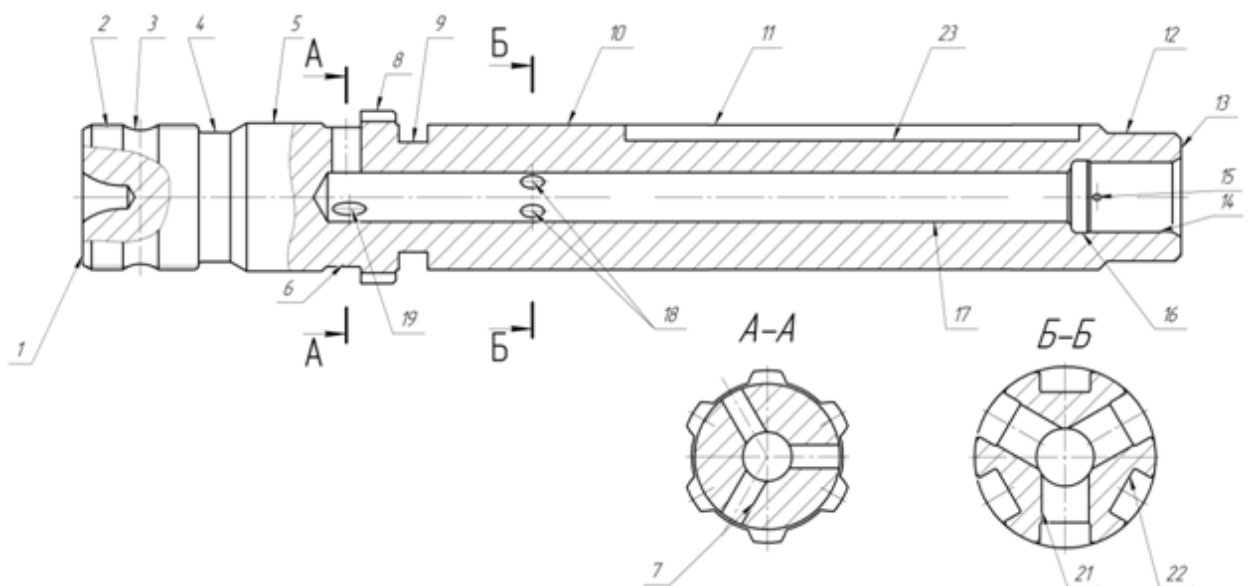


Рис. 1.4. Ескіз деталі ротор

1.2. Аналіз точності та технологічності деталі

Для виконання поелементного аналізу точності поверхонь деталі «Ротор» розроблено ескізи деталі, наведені на рис. 1.4, із позначенням поверхонь, що підлягають механічній обробці та подальшому контролю. Результати аналізу геометричної точності, параметрів шорсткості та допусків форми й розташування поверхонь систематизовано у таблиці 1.1. Такий підхід дозволяє здійснити комплексне оцінювання технологічності конструкції деталі та визначити вимоги до точності виготовлення окремих функціональних елементів.

Проведений аналіз точності деталі «Ротор» показав, що конструкторська документація містить достатню кількість розмірних параметрів і технологічних баз для забезпечення механічної обробки всіх функціонально відповідальних поверхонь. Простановка розмірів виконана комбінованим методом, що поєднує координатний та ланцюговий принципи базування. Значення номінальних розмірів відповідають нормальному ряду чисел, що позитивно впливає на уніфікацію технологічного оснащення та вибір стандартного різального інструменту. Разом із тим встановлено, що окремі граничні відхилення не повністю відповідають діючим квалітетам точності, що потребує додаткового узгодження вимог конструкторської та технологічної документації.

Найбільш точними елементами конструкції деталі є шліцьова поверхня $\varnothing 25h7$ із граничним відхиленням $-0,0045$ мм та параметром шорсткості $Ra\ 3,2$; зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 25,5h8$ із граничним відхиленням $-0,043$ мм та шорсткістю $Ra\ 0,4$; зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 25-0,005$ із параметром шорсткості $Ra\ 0,16$, а також паз шириною $6,94-0,01$ мм із шорсткістю $Ra\ 2,5$. Зазначені поверхні належать до функціонально відповідальних елементів деталі, оскільки забезпечують точність кінематичного sprzęження, передачу крутного моменту та стабільність взаємного розташування складових елементів механізму. Високі вимоги до точності та якості поверхневого шару обумовлюють

необхідність застосування фінішних методів механічної обробки, зокрема шліфування, прецизійного точіння або доведення.

Аналіз конструкції деталі показав, що доступ різального та вимірювального інструменту до всіх оброблюваних і контрольованих поверхонь є вільним, що позитивно впливає на технологічність виробу та спрощує процес виконання

Позначення поверхні	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями, заданими від даної поверхні	Квалітет точності	Точність відносних поворотів, відстаней, розміщення поверхонь	Точність форми	Шорсткість поверхні	Вагомість поверхні, як конструкторської
1	2	3	4	5	6	7	8
1,13	Торцева	191,5 _{-0,4}	h11			6,3	7
2	Шліці	φ23,6 φ25 _{-0,0045} z=48 ²	h7			3.2	3
3	Шийка	R5.2	h14			6,3	8
4	Зовнішня циліндрична	φ23,3	h14			6,3	8
5	Зовнішня циліндрична	φ25,5 _{-0,043}	h8			0,4	1
6	Зовнішня циліндрична	φ24	h14			6,3	9
7	Отвір	φ6	H14			6,3	9
8	Шліці	φ26,1 _{-0,1} φ29,5 _{-0,1} 18,8 _{0,05}	h11			1,6	2
9	Канавка	φ19 ^{+0,015} 5,1 ^{+0,1}	k6			3,2	5
10	Зовнішня циліндрична	φ25 _{0,005}	h6			0,16	1
12	Зовнішня циліндрична	φ22	h14			6,3	6
14	Внутрішня циліндрична	φ12 ^{+0,043}	H9			2,5	4
15	Отвір	φ3	H14			6,3	8
16	Внутрішня канавка	φ12,5	H14			6,3	8
17	Внутрішня циліндрична	φ8,5	H14			6,3	7
18	Отвір	φ6 ^{+0,1}	-			6,3	7
19	Отвір	φ6 ^{+0,1}	-			6,3	7
20	Отвір	φ5 ^{+0,2}	H13			6,3	7
21	Отвір	φ6,5 ^{+0,2}	H13			6,3	7
22	Паз	6,94 _{-0,01}	h7			2,5	3

23	Паз	8	h14			3,2	5
----	-----	---	-----	--	--	-----	---

Проведений аналіз конструкторської документації деталей показав, що всі необхідні геометричні параметри задані у достатньому обсязі для забезпечення повноцінного виконання технологічного процесу механічної обробки. Вимоги до точності розмірів, параметрів шорсткості поверхонь та взаємного розташування елементів конструкції відповідають службовому призначенню деталей і умовам їх експлуатації у складі механо-гідравлічного вузла. Разом із тим встановлено, що окремі квалітети точності деяких поверхонь не повністю узгоджуються з нормалізованими рядами допусків, передбаченими чинними стандартами, що може ускладнювати вибір типових засобів технологічного оснащення та контрольно-вимірювального інструменту.

Аналіз конструкції деталі «Ротор» УЯИШ.716624.702 свідчить про наявність окремих елементів зі зниженою технологічністю. До таких елементів насамперед належать отвори, розташовані на циліндричній поверхні деталі. Під час свердління зазначених отворів виникає ймовірність відведення осі свердла внаслідок нестабільності контакту різального інструменту з криволінійною поверхнею заготовки. Для забезпечення необхідної точності взаємного розташування отворів та запобігання відхиленню свердла доцільним є застосування спеціальних кондукторних втулок або направляючих пристроїв. Проте використання додаткового спеціалізованого оснащення призводить до збільшення трудомісткості технологічного процесу та підвищення собівартості виготовлення деталі.

До конструктивно менш технологічних елементів деталі також належать шліцьові поверхні, пази та локальні виїмки, виготовлення яких потребує застосування спеціалізованого різального інструменту, додаткових операцій базування та підвищених вимог до точності позиціонування заготовки. Обробка зазначених елементів, як правило, супроводжується збільшенням тривалості технологічного циклу та необхідністю забезпечення стабільності кінематичних параметрів обладнання. Разом із тим конструкція деталі забезпечує можливість

реалізації цих операцій із використанням сучасних методів механічної обробки та стандартного металорізального обладнання.

Технічні вимоги, зазначені на кресленні деталі, сформульовані коректно, однозначно та відповідають умовам експлуатації виробу. Система простановки розмірів виконана комбінованим методом із поєднанням координатного та ланцюгового принципів базування, що забезпечує достатню інформативність конструкторської документації для розроблення технологічного процесу. Водночас окремі значення допусків на деякі поверхні не повністю відповідають вимогам чинних стандартів, що потребує уточнення або коригування конструкторської документації з метою уніфікації параметрів точності.

Деталь «Ротор» виготовляється зі сталі марки 25ХГТ відповідно до вимог ГОСТ 4543–71. Застосування даного конструкційного легованого матеріалу обумовлене необхідністю забезпечення достатньої міцності, зносостійкості та втомної витривалості деталі в умовах дії змінних механічних навантажень. Сталь 25ХГТ характеризується добрими технологічними властивостями, задовільною оброблюваністю різанням та можливістю проведення термічного зміцнення для підвищення експлуатаційних характеристик поверхневого шару.

Більшість поверхонь деталі мають порівняно невисокі вимоги до точності виготовлення та параметрів шорсткості, що відповідають квалітетам H14 і h14 та шорсткості поверхонь у межах Ra 6,3–3,2. Такі вимоги можуть бути забезпечені стандартними методами механічної обробки без застосування високоточних або спеціалізованих технологічних операцій. У зв'язку з цим суттєвих труднощів щодо досягнення необхідних показників точності та якості поверхневого шару в процесі виготовлення деталі не виникає.

У цілому конструкція деталі «Ротор» з точки зору механічної обробки є технологічною, оскільки забезпечує можливість виготовлення виробу із застосуванням стандартних методів обробки, типового металорізального обладнання та універсального контрольно-вимірювального інструменту при забезпеченні необхідних експлуатаційних характеристик готового виробу.

2. Технологічна частина

2.1 Аналіз діючого технологічного процесу

Технологічний процес механічної обробки деталі «Ротор» УЯИШ.716624.702 включає 21 операцію механічної обробки, що охоплюють чорнові, напівчистові та чистові стадії формоутворення функціональних поверхонь деталі. Структура технологічного маршруту побудована з урахуванням конструктивних особливостей виробу, вимог до точності геометричних параметрів, шорсткості поверхонь та забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик деталі у складі механогідравлічного вузла. Послідовність виконання операцій забезпечує раціональний розподіл припусків на механічну обробку, стабільність базування та досягнення необхідної точності взаємного розташування поверхонь.

У процесі виготовлення деталі дотримується принцип єдності конструкторських і технологічних баз, що є однією з основних умов забезпечення точності обробки та мінімізації похибок базування. На всіх стадіях технологічного процесу — від чорнової до чистової обробки — деталь установлюється та закріплюється у спеціалізованих або універсально-налагоджуваних пристосуваннях. Як основні технологічні бази використовуються торцеві поверхні та центрувальні отвори деталі, що забезпечує стабільність положення заготовки відносно різального інструменту, підвищення точності взаємного розташування оброблюваних поверхонь та зменшення накопичення похибок упродовж виконання технологічного маршруту.

Під час розроблення удосконаленого технологічного процесу передбачається оптимізація структури механічної обробки шляхом інтеграції фрезерних операцій 040, 045, 050, 055 та 060 в одну комплексну багатопереходну операцію. Реалізація зазначеного рішення планується на вертикальному обробному центрі з числовим програмним керуванням VF-3 виробництва Haas Automation

Використання високопродуктивного обробного центру з ЧПК дозволить виконувати комплекс фрезерних переходів за одне встановлення деталі, що

забезпечить підвищення точності взаємного розташування поверхонь, скорочення кількості переналагоджень та зменшення допоміжного часу.

Об'єднання окремих операцій у єдину комплексну операцію сприятиме підвищенню рівня концентрації обробки, зменшенню трудомісткості виготовлення деталі та покращенню техніко-економічних показників виробництва. Крім того, застосування обробного центру з ЧПК забезпечує можливість автоматизованого керування траєкторіями руху інструменту, стабільність режимів різання та підвищення повторюваності параметрів обробки, що особливо важливо при виготовленні функціонально відповідальних елементів конструкції ротора. Це дозволяє підвищити продуктивність технологічного процесу, забезпечити необхідну точність механічної обробки та покращити якість поверхневого шару готового виробу.

2.2. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Вибір методу отримання заготовок для деталей машин є одним із ключових етапів технологічної підготовки виробництва та визначається сукупністю конструктивних, технологічних і економічних чинників. Раціональний спосіб виготовлення заготовки повинен забезпечувати відповідність геометричної форми та розмірів майбутньої деталі її службовому призначенню, вимогам до міцності, жорсткості, зносостійкості та довговічності, а також сприяти мінімізації витрат матеріалу й трудомісткості механічної обробки. Під час вибору способу отримання заготовки необхідно комплексно враховувати конструкцію деталі, марку матеріалу, вимоги до точності та якості поверхонь, тип виробництва, обсяг випуску продукції й економічну доцільність застосування конкретного технологічного методу. Між зазначеними факторами існує тісний взаємозв'язок, оскільки зміна одного з параметрів безпосередньо впливає на ефективність усього технологічного процесу виготовлення виробу.

Деталь «Ротор» виготовляється зі сталі марки 25ХГТ відповідно до вимог ГОСТ 4543–71. Застосування даної легованої конструкційної сталі обумовлене необхідністю забезпечення високих показників міцності, втомної витривалості та

зносостійкості в умовах дії змінних механічних навантажень. Сталь 25ХГТ характеризується добрими технологічними властивостями, достатньою прокаліюваністю та можливістю термічного зміцнення, що забезпечує формування необхідних експлуатаційних характеристик деталі після термічної обробки.

Деталь «Гайка» виготовляється зі сталі марки 20ХГНР відповідно до вимог ГОСТ 4543–71. Дана сталь належить до легованих конструкційних сталей, що характеризуються підвищеною міцністю, ударною в'язкістю та високою контактною витривалістю. Наявність у хімічному складі легувальних елементів забезпечує покращення механічних властивостей матеріалу, підвищення стійкості до контактного зношування та забезпечення надійної роботи елементів кульково-гвинтової передачі в умовах тривалих циклічних навантажень.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі «Ротор» наведено відповідно у таблицях 2.2 та 2.3. Аналіз зазначених характеристик дозволяє оцінити технологічні можливості матеріалу, визначити доцільність застосування відповідних режимів механічної та термічної обробки, а також прогнозувати експлуатаційні характеристики готової деталі в умовах роботи механогідравлічного вузла.

Таблиця 2.2

Хімічний склад матеріалу деталі ротор

Марка матеріалу	Вміст елементів, %					
	C	Si	Mn	Ti	Cr	Cu
Сталь 25ХГТ ГОСТ4543-71	0,22-0,29	0,17-0,37	0,8-1,1	0.03-0.09	1-1,3	до 0,3

Таблиця 2.3

Механічні властивості матеріалу деталі ротор

Марка матеріалу	δ_T	δ_B	Твердість, НВ
	МПа	МПа	
Сталь 25ХГТ ГОСТ4543-71	980	1270	240...300

Сталь марки 25ХГТ належить до легованих конструкційних сталей, які широко застосовуються для виготовлення відповідальних деталей машин і механізмів, що працюють в умовах високих швидкостей обертання, значних

контактних навантажень та дії змінних ударних зусиль. Даний матеріал використовується для виготовлення валів, зубчастих коліс, черв'ячних передач, кулачкових муфт, втулок та інших деталей, експлуатація яких супроводжується підвищеними вимогами до міцності, зносостійкості та втомної витривалості. Особливо ефективним є застосування сталі 25ХГТ у вузлах тертя та кінематичних передачах, де необхідне поєднання високої твердості поверхневого шару з достатньою в'язкістю серцевини деталі.

Завдяки легуванню хромом і марганцем сталь характеризується підвищеною прокаліюваністю, високими показниками міцності та стійкістю до контактного зношування. Наявність хрому у хімічному складі сталі сприяє зміцненню структури матеріалу, підвищенню твердості після термічної обробки та покращенню опору пластичній деформації. Крім того, хром підвищує зносостійкість поверхневого шару та забезпечує стабільність механічних властивостей при дії циклічних навантажень.

Сталь 25ХГТ доцільно застосовувати у випадках, коли до деталей висуваються підвищені вимоги щодо твердості поверхні, опору абразивному зношуванню та довговічності в умовах інтенсивної експлуатації. Після проведення термічної або хіміко-термічної обробки матеріал забезпечує формування високоміцного поверхневого шару при збереженні достатньої пластичності та ударної в'язкості внутрішніх зон деталі. Таке поєднання властивостей є особливо важливим для деталей, що працюють під дією знакозмінних навантажень та піддаються одночасному впливу контактних напружень і ударних навантажень у процесі експлуатації.

З урахуванням конструктивної форми деталі «Ротор», її геометричних параметрів, умов експлуатації та службового призначення як вихідний спосіб отримання заготовки доцільно обрати виготовлення із сортового прокату у вигляді круглого прутка. Використання прокату, геометричні розміри якого максимально наближені до конфігурації готової деталі, дозволяє забезпечити раціональне використання матеріалу, зменшення обсягів механічної обробки та зниження загальної трудомісткості виготовлення виробу.

Круглий сортовий прокат є одним із найбільш поширених видів заготовок для виготовлення деталей типу валів, втулок та тіл обертання зі ступінчастою конфігурацією. Його застосування є економічно доцільним у випадках, коли перепади діаметрів окремих ступенів деталі є незначними, а конструкція виробу дозволяє ефективно реалізувати механічну обробку із забезпеченням необхідних показників точності та якості поверхонь. Крім того, використання прокату спрощує організацію виробничого процесу, не потребує виготовлення спеціального штампового оснащення та характеризується порівняно невисокими витратами на підготовку виробництва.

Альтернативним способом отримання заготовки є гаряче штампування, яке забезпечує можливість виготовлення заготовок складнішої геометричної форми з мінімальними припусками на механічну обробку. Застосування штампованих заготовок дозволяє суттєво скоротити обсяг різального оброблення, зменшити витрати металу та покращити структуру матеріалу завдяки сприятливому напрямку волокон після пластичної деформації. Це позитивно впливає на механічні властивості готового виробу, зокрема на його міцність і втомну витривалість.

Разом із тим використання штампування має низку технологічних та економічних обмежень. У процесі гарячого штампування виникають додаткові втрати матеріалу у вигляді облоя та технологічних напусків, величина яких може становити від 10 до 30 % маси вихідної заготовки. Крім того, застосування даного методу потребує використання дороговартісного штампового оснащення та спеціалізованого пресового або молотового обладнання, що є економічно виправданим переважно в умовах великосерійного або масового виробництва.

На підставі аналізу креслення деталі «Ротор», її конструктивно-технологічних особливостей та рекомендацій довідкової літератури для подальшого техніко-економічного оцінювання прийнято два можливі варіанти отримання заготовки: із круглого сортового прокату та методом гарячого штампування. Для обґрунтування остаточного вибору найбільш раціонального способу отримання заготовки доцільно провести порівняльний вартісний аналіз обох варіантів з

урахуванням витрат матеріалу, трудомісткості виготовлення, вартості технологічного оснащення та економічної ефективності виробництва.

Вартість заготовки сортового прокату визначається за формулою:

Вартість заготовки визначається за формулою:

$$S_{заг} = QS - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх}}{1000},$$

де: Q - маса заготовки;

S - ціна 1 кг матеріалу заготовки;

q - маса деталі;

$S_{відх}$ - вартість 1т відходів.

$$S_{заг1} = 0,56 \cdot 28 - (0,56 - 0,513) \cdot \frac{2600}{1000} = 15,8 \text{ грн.}$$

Вартість заготовки при штампуванні:

$$S_{заг2} = \left(\frac{2800}{1000} \cdot 0,67 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,29 \cdot 1,27 \cdot 1 \right) - (0,67 - 0,513) \cdot \frac{2600}{1000} = 23,56 \text{ грн.}$$

$$E_3 = (23,56 - 15,8) \cdot 7500 = 58200 \text{ грн.}$$

Виходячи з цього, остаточно приймаємо метод отримання заготовки деталі ротор – сортовий прокат (пруток).

2.3. Вибір методів обробки поверхонь

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає процес проєктування оптимального технологічного процесу виготовлення деталей як багатокритеріальну задачу спрямованого пошуку, що базується на комплексному врахуванні конструктивних, функціональних, технологічних та економічних чинників, а також особливостей організації та керування виробництвом. Формування раціонального технологічного маршруту здійснюється з урахуванням вимог до точності виготовлення, параметрів шорсткості поверхонь, експлуатаційного призначення деталі, типу виробництва та техніко-економічної ефективності застосовуваних методів обробки. Важливим елементом такого підходу є визначення оптимальної послідовності обробки окремих поверхонь

деталі, оскільки саме маршрути механічної обробки значною мірою визначають точність, продуктивність та собівартість виготовлення виробу.

Підмножина можливих маршрутів обробки формується на основі аналізу необхідних показників точності та шорсткості функціональних поверхонь, а також початкової точності заготовки. При цьому враховуються технологічні можливості різних методів механічної обробки, величини припусків, точність базування, жорсткість технологічної системи та закономірності формування похибок у процесі виготовлення. Раціональний маршрут повинен забезпечувати досягнення необхідних параметрів якості поверхневого шару при мінімальних витратах часу, енергії та матеріальних ресурсів.

Результати проведених розрахунків показали, що для поверхонь 1, 2, 3 та 11 найбільш раціональним є маршрут обробки № 2, при якому виконується умова $\varepsilon_{\text{заг}} < \text{П}_{\text{еі}}$, тобто початкова похибка заготовки не перевищує допустимого значення похибки, що може бути усунута в межах прийнятого технологічного маршруту. Виконання цієї умови забезпечує досягнення необхідної точності поверхонь без застосування надлишкових операцій механічної обробки, що позитивно впливає на продуктивність технологічного процесу та зменшення трудомісткості виготовлення деталі.

У конструкції деталі «Ротор» багаторазовій механічній обробці підлягають поверхні 5, 10, 11, 12 та 14, які є функціонально відповідальними елементами та потребують поетапного формування геометричної точності й параметрів шорсткості. Для зазначених поверхонь технологічний процес передбачає виконання чорнових, напівчистових та чистових операцій із поступовим зменшенням припусків і підвищенням точності обробки. Такий підхід забезпечує стабільність технологічного процесу, зниження впливу похибок попередніх операцій та досягнення необхідних експлуатаційних характеристик деталі. Результати розрахунків маршрутів механічної обробки інших поверхонь деталі «Ротор» наведені в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6

Таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь деталі ротор
УЯИШ.716624.003М

Позначення поверхні	Допуск на поверхню по кресленню, δ_d мм	Шорсткість поверхні, R_a мкм	Допуск на заготовку по поверхні, δ_z мм	Загальне уточнення ϵ_z	Можливі технологічні маршрути обробки поверхні		Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	$\Pi\epsilon_i = \epsilon_1 \cdot \epsilon_2 \cdot \epsilon_3 \cdot \dots \cdot \epsilon_i$
					№	Зміст маршруту			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5	0,043	0,4	2	46,51	1	Точіння чорнове	0,280	7,14	95,03
						Точіння напівчистове	0,140	2	
						Точіння чистове	0,045	3,11	
						Точіння алмазне	0,021	2,14	
					2	Точіння чорнове	0,28	7,14	142,5
						Точіння напівчистове	0,14	2	
						Шліфування попереднє	0,045	3,11	
						Шліфування читсове	0,014	3,21	
10	0,015	0,16	2	133,3	1	Точіння чорнове	0,280	7,14	142,5
						Точіння напівчистове	0,140	2	
						Точіння чистове	0,045	3,11	
						Точіння алмазне	0,021	2,14	
					2	Шліфування читсове	0,014	1,5	142,5
						Точіння чорнове	0,28	7,14	
						Точіння напівчистове	0,14	2	
						Шліфування попереднє	0,045	3,11	
11	0,52	2,5	3	5,76	1	Точіння чорнове	0,33	9,09	14,2
						Точіння напівчистове	0,21	1,57	
					2	Точіння чорнове	0,33	9,09	35,45
						Точіння чистове	0,084	3,9	
12	0,52	6,3	3	5,76	1	Точіння чорнове	0,33	9,09	14,2
						Точіння напівчистове	0,21	1,57	
					2	Точіння чорнове	0,33	9,09	35,45
						Точіння чистове	0,084	3,9	
14	0,043	2,5	2	46,5	1	Свердління	0,120	16,6	56,9
						Зенкерування чистове	0,07	1,714	
						Розвертання точне	0,035	2	
					2	Свердління	0,120	16,6	73,69
						Розвертання попереднє	0,07	1,714	
						Розвертання точне	0,027	2,59	

Як видно з розрахунків, для всіх поверхонь оптимальним є маршрут №1, при якому $\epsilon_{\text{заг}} < \Pi\epsilon_i$

2.4 Розробка маршруту виготовлення деталей

Маршрути механічної обробки деталі «Ротор» формуються з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих функціональних поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей металорізального обладнання, а також технічних вимог і розмірних взаємозв'язків, заданих у конструкторській документації. Під час розроблення технологічного маршруту враховуються вимоги до точності геометричних параметрів, шорсткості поверхонь, взаємного розташування конструктивних елементів та забезпечення необхідних експлуатаційних характеристик деталі у складі механогідравлічного вузла.

Формування раціональної послідовності операцій здійснюється на основі принципів технологічної спадковості, концентрації обробки та мінімізації похибок базування. При цьому враховується необхідність забезпечення стабільності технологічного процесу, зниження трудомісткості виготовлення та досягнення максимальної продуктивності механічної обробки. Важливим критерієм вибору послідовності операцій є також відповідність характеристик обраного обладнання вимогам щодо точності, жорсткості та потужності, необхідних для виконання конкретних технологічних переходів.

Зміст маршруту механічної обробки подається у вигляді послідовності технологічних операцій із зазначенням типу використовуваного металорізального обладнання та короткого опису виконуваних технологічних переходів. Такий підхід забезпечує систематизацію технологічного процесу, дозволяє оцінити раціональність побудови маршруту та створює основу для подальшого розрахунку режимів різання, нормування часу й вибору технологічного оснащення.

Розроблені маршрути механічної обробки деталі «Ротор» наведені в таблиці 2.8.

Таблиця технологічних маршрутів обробки деталей

Маршрутний технологічний процес	
базовий	проектуючий
1	2
Ротор УЯИШ.716624.003М	
001 Транспортна Електрокар Транспортувати пруток на ділянку механічної обробки	001 Транспортна Електрокар Транспортувати пруток на ділянку механічної обробки
005 Відрізна BS-250-SSV Відрізний Відрізати заготовку.	005 Відрізна BS-250-SSV Відрізний Відрізати заготовку.
010 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити торець, свердлити центовий отвір, точити зовнішні циліндричні поверхні.	010 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити торець, свердлити центрувальний отвір, точити зовнішні циліндричні поверхні.
015 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити торець, свердлити центовий отвір, точити зовнішні циліндричні поверхні.	015 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити торець, свердлити центрувальний отвір, точити зовнішні циліндричні поверхні.
020 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити: зовнішню циліндричну поверхню, фаску, канавку	020 Токарна з ЧПУ 16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ Точити: зовнішню циліндричну поверхню, фаску, канавку
025 Фрезерна 6Р81 Горизонтально-фрезерний Фрезерувати паз	025 Фрезерна 6Р81 Горизонтально-фрезерний Фрезерувати паз
030 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 3 пази	030 Фрезерна 6Р81 Горизонтально-фрезерний Фрезерувати 3 пази
035 Круглошліфувальна ЗУ12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, торець.	035 Круглошліфувальна ЗУ12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, торець.
040 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 6 шліців	040 Комплексна з ЧПУ НААС VF3 Вертикальний обробний центр Фрезерувати: 6 шліців, 6 пазів, 12 елементів, 12 площадок, 12 елементів.
045 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 6 пазів	
050 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 12 елементів	
055 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 12 площадок	

1	2
060 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Фрезерувати 12 елементів	
065 Токарна 1ИС1-1 Токарний Точити торець, зовнішню циліндричну поверхню, фаску. Свердлити отвір, розточити отвір та фаску.	045 Токарно-гвинторізна 1ИС1-1 Токарно-гвинторізний Точити торець, зовнішню циліндричну поверхню, фаску. Свердлити отвір, розточити отвір та фаску.
070 Фрезерна ОММ67 Фрезерний Свердлити 6 отворів.	050 Свердлильна 2Н125 Свердлильний Свердлити 6 отворів.
075 Токарна 1ИС1-1 Токарний Точити зовнішню циліндричну поверхню, канавку, радіусну канавку.	055 Токарно-гвинторізна 1ИС1-1 Токарно-гвинторізний Точити зовнішню циліндричну поверхню, канавку, радіусну канавку.
080 Свердлильна 2М112 Свердлильний Фрезерувати 2 площадки, свердлити 2 похилих отвори.	060 Свердлильна 2Н125 Свердлильний Фрезерувати 2 площадки, свердлити 2 похилих отвори.
085 Шліцефрезерна 5К301П Шліцефрезерний Фрезерувати шліці.	065 Шліцефрезерна 5К301П Шліцефрезерний Фрезерувати шліці.
090 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.	070 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.
095 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.	075 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню.
100 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати канавку.	080 Круглошліфувальна 3У12АФ11 Круглошліфувальний Шліфувати канавку.
105 Токарна 1И611П Токарний Полірувати радіуси.	085 Токарна 1И611П Токарний Полірувати радіуси.
110 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри	090 Контрольна Стіл контролера Перевірити розміри
115 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю зборки	095 Транспортна Електрокар Транспортувати деталі на дільницю зборки

2.5 Вибір технологічних баз

Забезпечення технічних вимог, що висуваються до деталі «Ротор», досягається шляхом вибору раціональної схеми базування заготовки під час виконання операцій механічної обробки. Правильний вибір технологічних баз є однією з основних умов забезпечення необхідної точності геометричних параметрів, взаємного розташування поверхонь та стабільності технологічного процесу. Схема базування повинна гарантувати достатню жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–заготовка», надійне закріплення деталі та точну орієнтацію заготовки відносно різального інструменту в процесі виконання технологічних переходів.

Вибір технологічних баз розпочинається з визначення чорнової бази, яка використовується на початкових операціях технологічного процесу. Основним призначенням чорнових баз є створення умов для формування чистових технологічних баз, що застосовуються на наступних стадіях механічної обробки. Під час вибору чорнових баз необхідно забезпечити максимально рівномірний розподіл припуску на обробку, особливо на функціонально відповідальних і високоточних поверхнях деталі. Такий підхід дозволяє мінімізувати похибки базування, забезпечити стабільність геометричних параметрів та підвищити точність взаємного розташування поверхонь у готовому виробі.

При виборі технологічних баз необхідно керуватися принципами суміщення та постійності баз. Принцип суміщення передбачає використання одних і тих самих поверхонь як конструкторських, технологічних і вимірювальних баз, що дозволяє зменшити похибки переустановлення та підвищити точність виготовлення деталі. Принцип постійності баз полягає у збереженні незмінної системи базування на максимально можливій кількості операцій технологічного процесу. У випадках, коли зміна баз є технологічно неминучою, доцільно здійснювати перехід від менш точних базових поверхонь до більш точних, що забезпечує поступове підвищення точності обробки.

Під час механічної обробки деталі «Ротор» на операціях 005, 010 та 015 як базові поверхні використовуються зовнішня циліндрична та торцева поверхні заготовки. Таке базування забезпечує достатню жорсткість установлення та дозволяє виконувати первинне формування геометричних параметрів деталі. На операції 020 базування здійснюється за торцевою поверхнею, центрувальними отворами та зовнішньою циліндричною поверхнею, що дозволяє забезпечити точне взаємне розташування осьових і радіальних елементів конструкції.

На операції 025 як технологічні бази використовуються торцева поверхня та центрувальні отвори, що забезпечує стабільність положення деталі відносно осі обертання та підвищує точність подальших операцій механічної обробки. Під час виконання операцій 030, 035 та 040 базування здійснюється за торцевою поверхнею, центрувальними отворами та установчим пазом, який додатково забезпечує кутову орієнтацію деталі.

На операції 045 базовими елементами є торцева поверхня та вісь деталі, що дозволяє забезпечити точність формування функціонально відповідальних поверхонь із дотриманням вимог співвісності та взаємного розташування елементів конструкції. На операціях 050, 055 та 060 базування виконується за торцем, внутрішнім отвором та зовнішньою циліндричною поверхнею, що створює умови для забезпечення високої точності обробки посадкових і спряжуваних поверхонь.

На завершальних операціях 065, 070, 075, 080 та 085 як базові елементи використовуються отвори та зовнішня циліндрична поверхня деталі. Така схема базування забезпечує необхідну точність фінішної механічної обробки, стабільність взаємного розташування поверхонь та відповідність готового виробу вимогам конструкторської документації й умовам експлуатації.

2.6. Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір обладнання для їх здійснення

На підставі розроблених технологічних маршрутів механічної обробки деталі, маршрутів формування окремих поверхонь та аналізу системи простановки розмірів з урахуванням технічних вимог до точності, шорсткості й взаємного розташування функціональних елементів здійснюється формування структури та змісту кожної технологічної операції. Побудова операційної структури виконується з урахуванням принципів технологічної спадковості, раціонального базування, концентрації обробки та забезпечення необхідної точності виготовлення деталі на всіх стадіях технологічного процесу.

Розроблення змісту технологічних операцій передбачає визначення послідовності виконання технологічних переходів, вибір методів механічної обробки, металорізального обладнання, технологічного оснащення та базових поверхонь для встановлення і закріплення заготовки. Для кожної операції встановлюються її номер, найменування, функціональне призначення та перелік технологічних переходів, необхідних для забезпечення заданих параметрів точності та якості поверхонь. При цьому враховуються конструктивні особливості деталі, характер оброблюваних поверхонь, тип виробництва та технічні можливості застосовуваного обладнання.

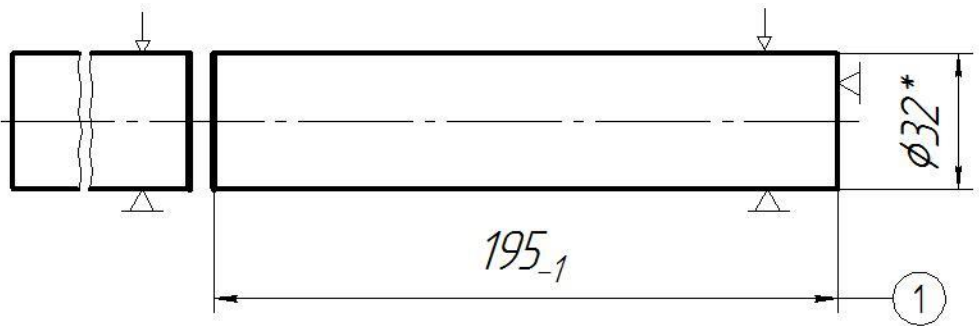
Формування структури технологічних операцій також передбачає забезпечення раціонального розподілу припусків між окремими стадіями обробки, мінімізацію кількості переустановлень деталі та зниження накопичення похибок базування. Особлива увага приділяється послідовності виконання чорнових, напівчистових і чистових переходів, що дозволяє забезпечити стабільність геометричних параметрів та досягнення необхідних експлуатаційних характеристик готового виробу.

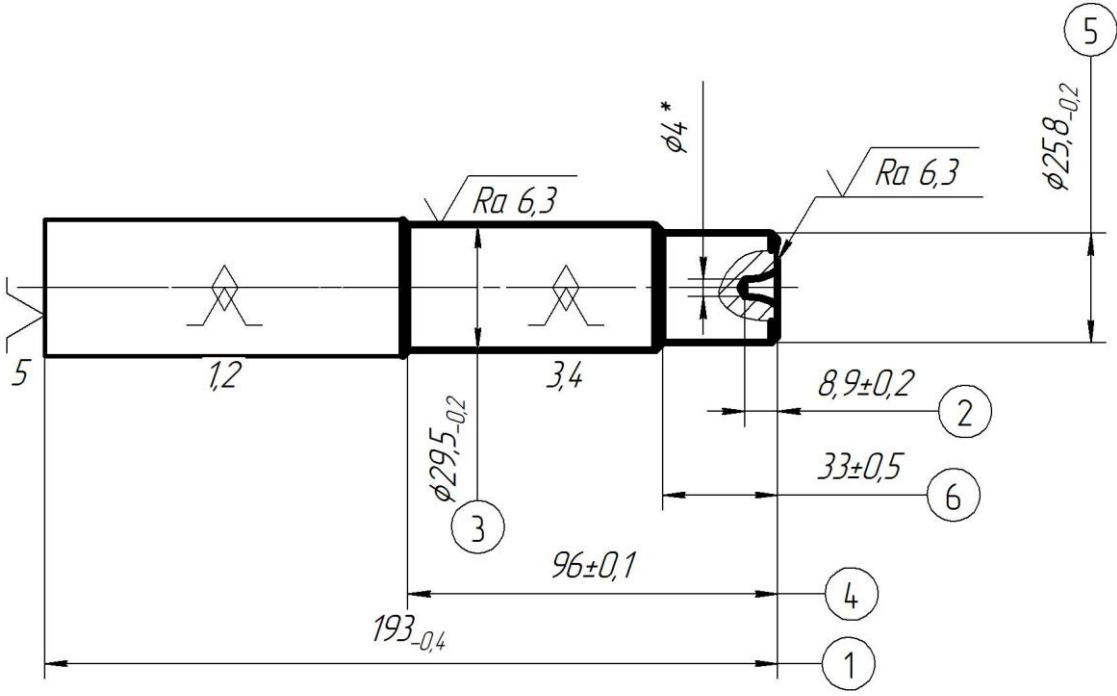
Структура та зміст технологічних операцій для деталі «Ротор» наведені в таблицях 2.9.

.

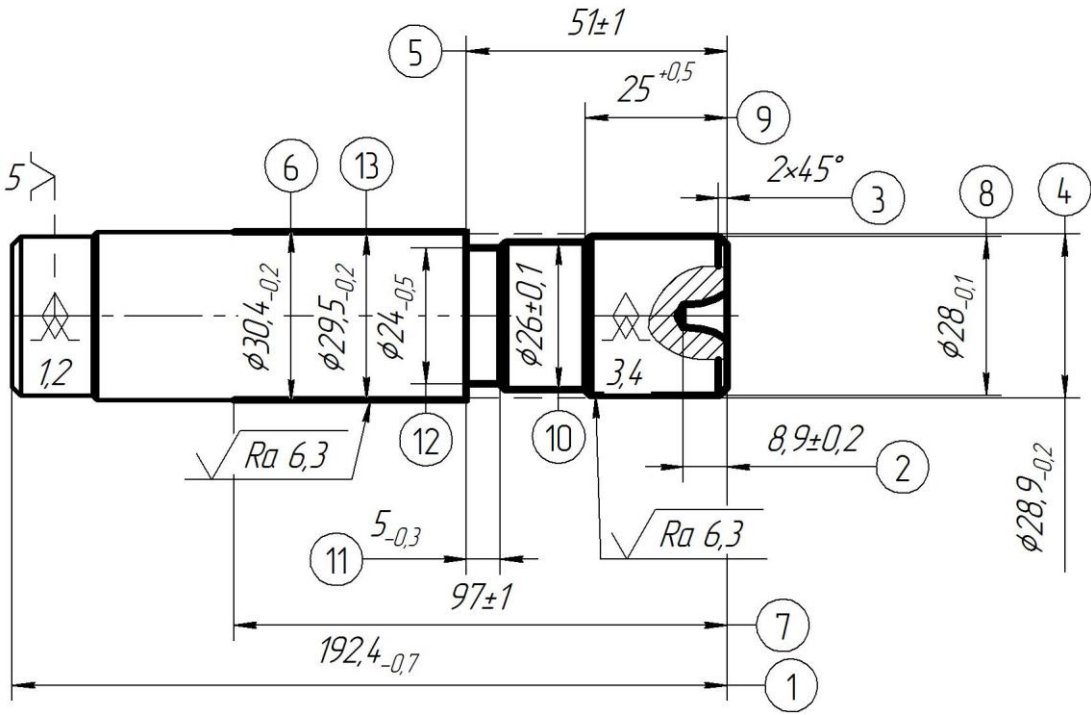
Таблиця 2.9

Структура та зміст технологічних операцій обробки ротора УЯИШ.716624.702

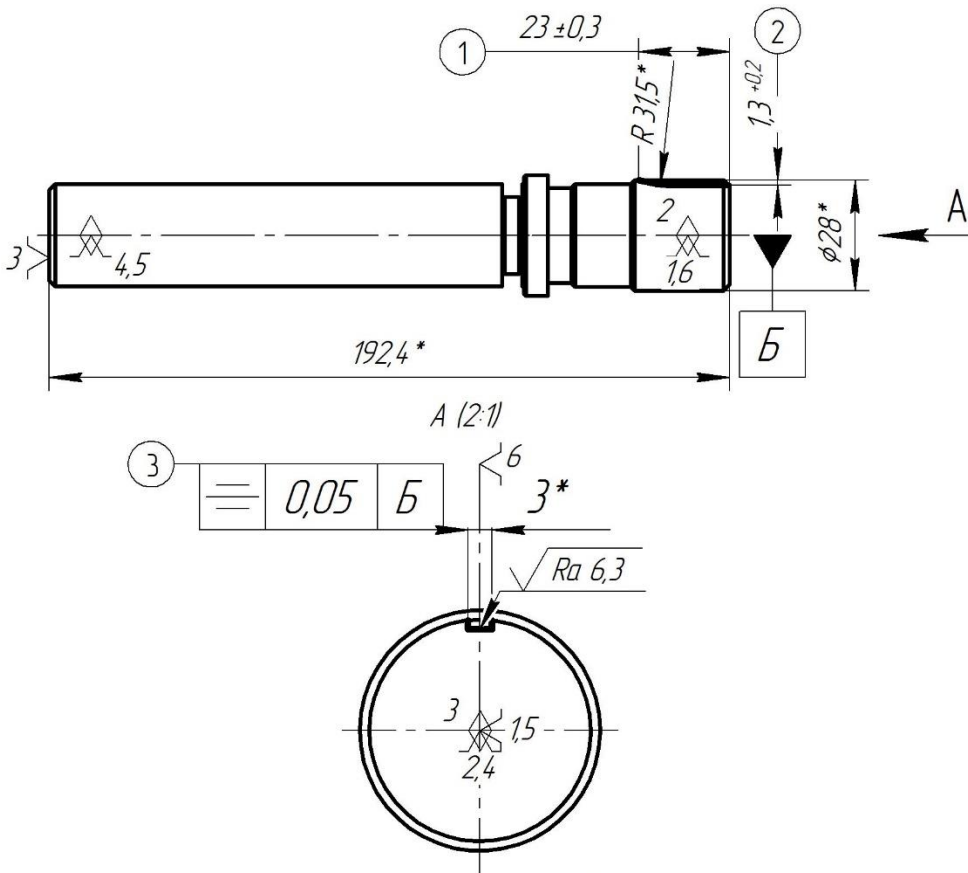
№ та назва операції	Модель верстату, назва	ОПЕРАЦІЙНИЙ ЕСКІЗ	Зміст операції
1	2	3	4
005 Відрізна	BS-250-SSV Відрізний	 <i>* Розміри для довідок</i>	1. Встановити та закріпити пруток. 2. Відрізати заготовку, витримуючи розмір 1. 3. Відкріпити та зняти заготовку.

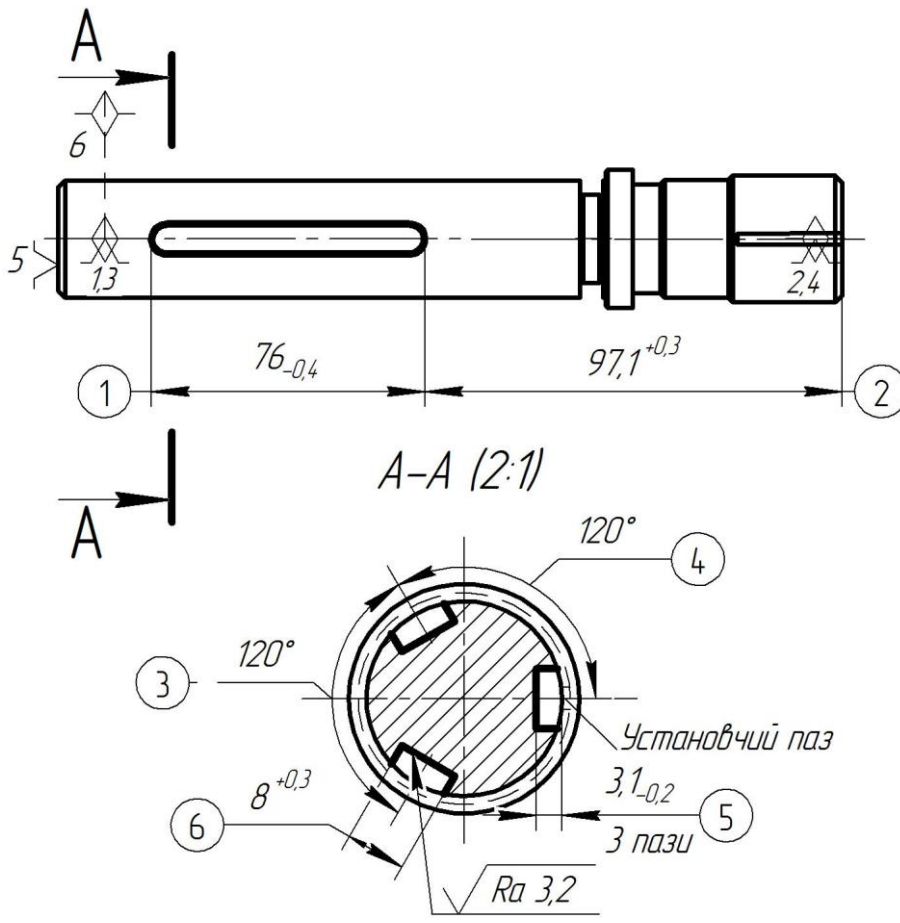
1	2	3	4
010 Токарна з ЧПУ	16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити заготовку. 2. Точити торець, витримуючи розмір 1. 3. Свердлити центрувальний отвір, витримуючи розмір 2. 4. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 3, 4. 5. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 5, 6. 6. Відкріпити та зняти деталь.

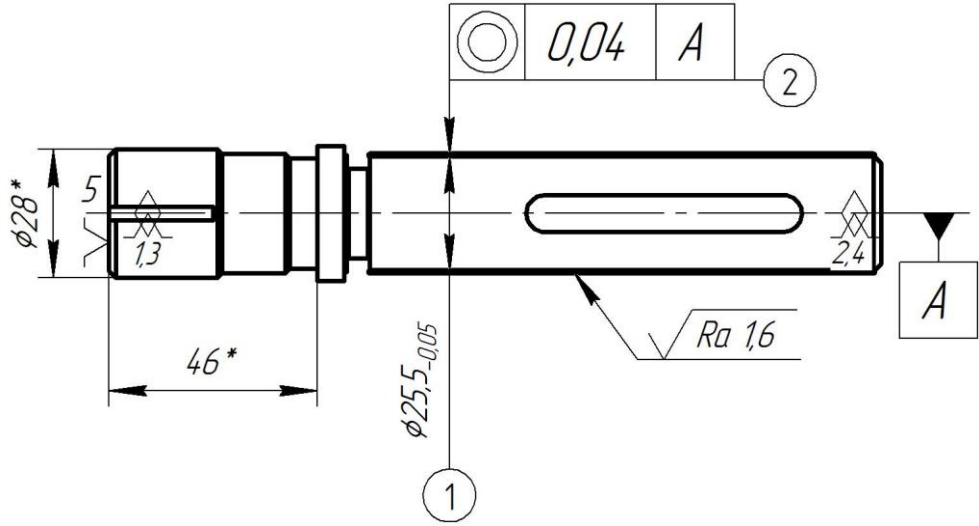
Продовження таблиці 2.9

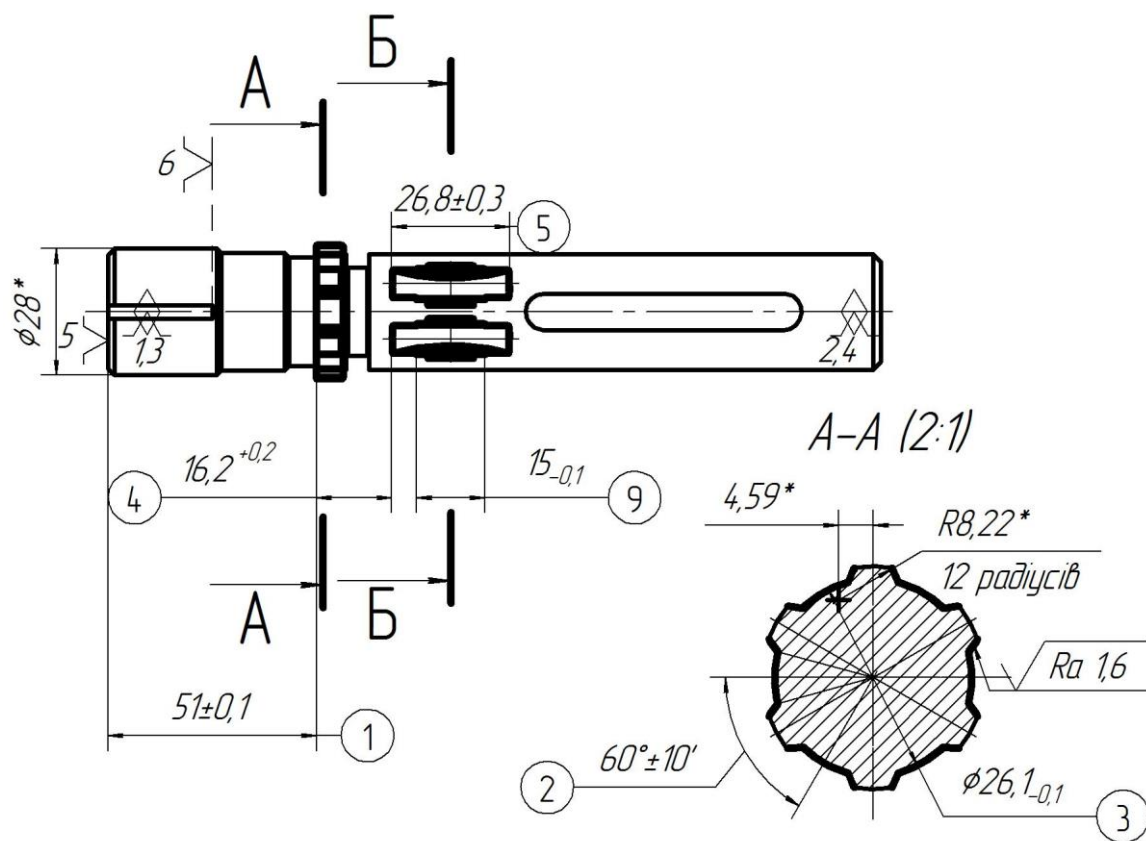
1	2	3	4
015 Токарна з ЧПУ	16Б16Т1С1 Токарний з ЧПУ	 The drawing shows a horizontal cylindrical part with a central longitudinal hole. Key features include: a left flange with a central hole (callout 1, 1.2); a main body with varying diameters (callouts 6, 13, 12, 10, 7, 1); a central hole with a diameter of 26±0.1 (callout 10); a right flange with a central hole (callout 4, 8); and a right end with a diameter of 28±0.1 (callout 4). Dimensions include lengths (51±1, 25+0.5, 8.9±0.2, 5-0.3, 97±1, 192.4-0.7) and surface roughness (Ra 6.3). Numbered callouts 1-13 indicate specific features and steps for manufacturing.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити торець, витримуючи розмір 1. 3. Свердлили центрувальний отвір, витримуючи розмір 2. 4. Точити зовнішню циліндричну поверхню, фаски начорно, витримуючи розміри 3, 4, 5, 6, 7. 5. Точити зовнішню циліндричну поверхню начисто, витримуючи розміри 5, 8, 9, 10, 11, 12, 13. 6. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 2.19

1	2	3	4
025 Фрезерна	6P81 Горизонтально-фрезерний	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати установчий паз, витримуючи розміри 1, 2, допуск 3. 3. Відкріпити та зняти деталь.

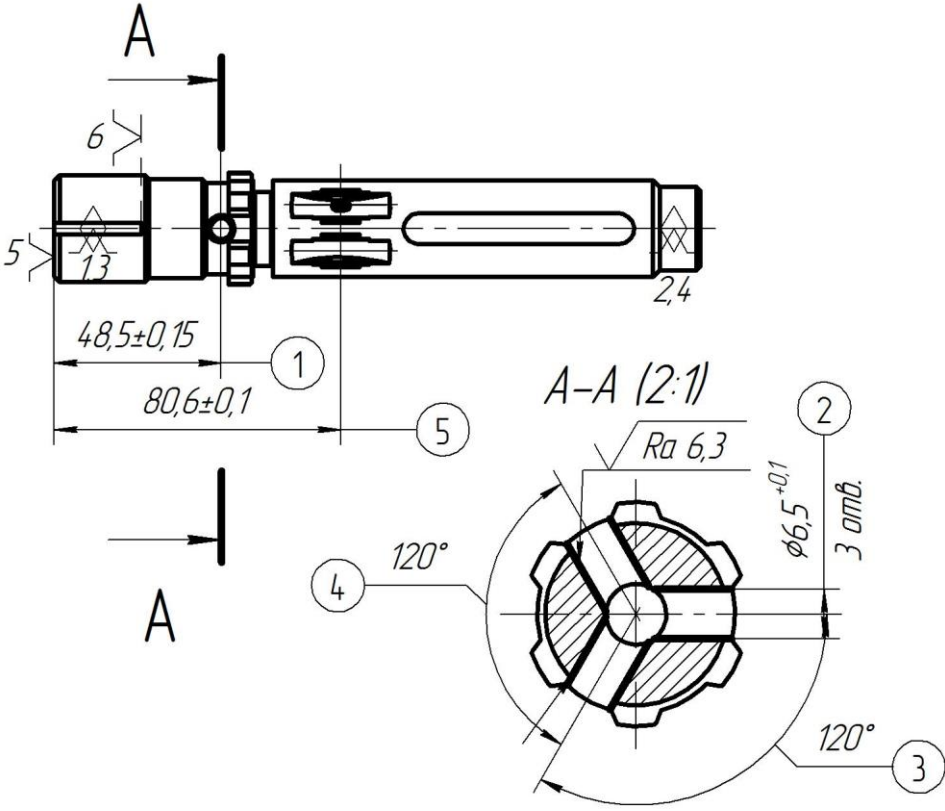
1	2	3	4
030 Фрезерна	6P81 Горизонтально-фрезерний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати 3 пази послідовно, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6. 3. Відкріпити та зняти деталь.

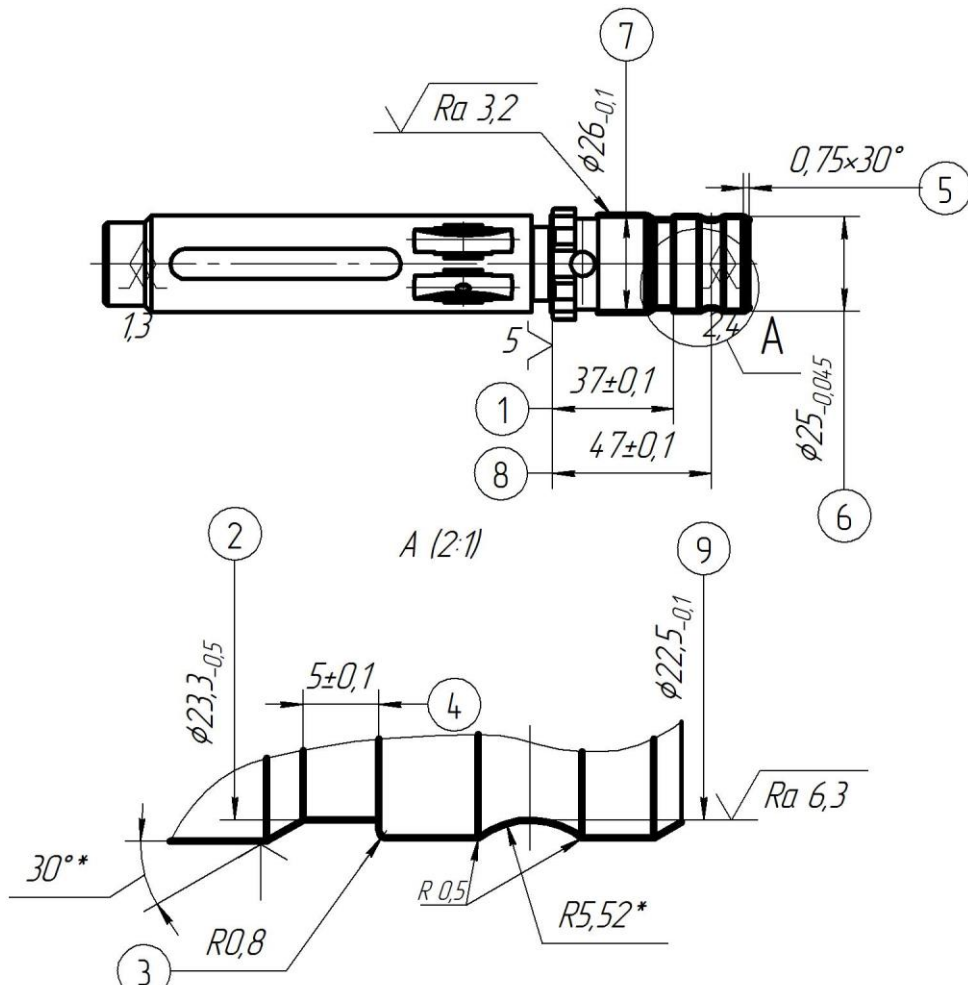
1	2	3	4
035 Круглошліфувальна	ЗУ12АФ11 Круглошліфувальний	 The drawing shows a cylindrical part with the following specifications: - Overall length: 46* - Left end diameter: $\phi 28^*$ - Left end feature: A hole with a diameter of 5 and a depth of 13. - Main body diameter: $\phi 25,5_{-0,05}^{+0,05}$ - Surface finish on the main body: $Ra 1,6$ - Right end feature: A hole with a diameter of 2,4. - Surface finish on the right end hole: $0,04$ and A (circled 2). - Surface finish on the main body: A (boxed A).	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкрити та зняти деталь.

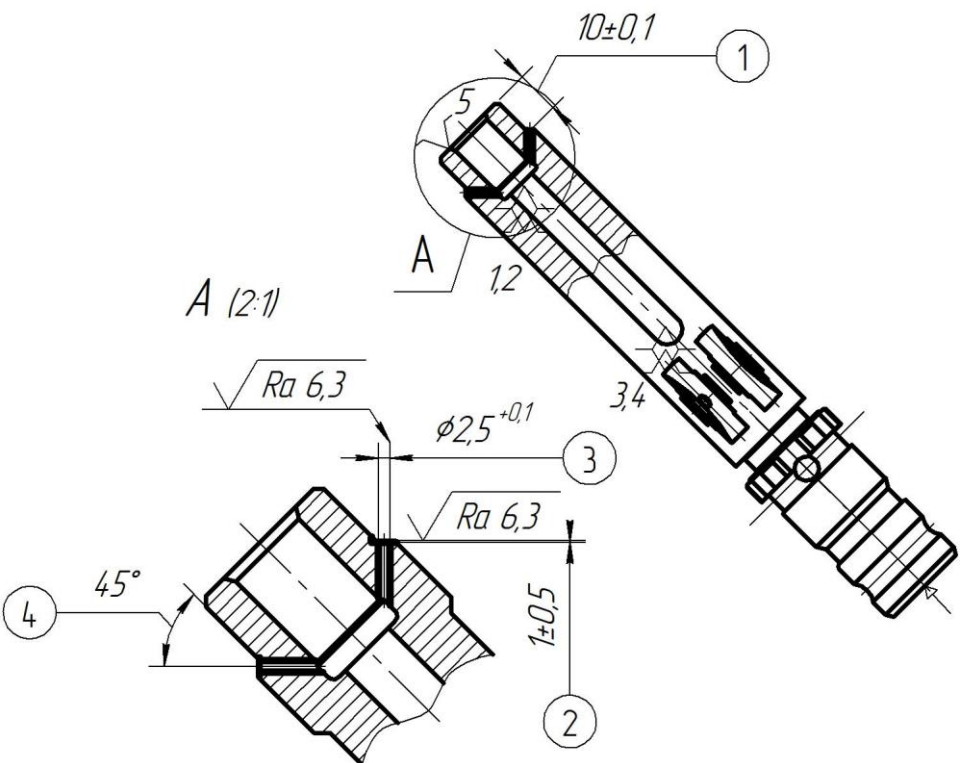
1	2	3	4
040 Комплексна з ЧПУ	HAAS VF3 Вертикальний обробний центр	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати 6 шліців, витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Фрезерувати 6 пазів, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, допуск 8. 4. Фрезерувати 12 елементів, витримуючи розміри 9, 10, 11, 12. 5. Фрезерувати 12 площадок, витримуючи розміри 13, 14. 6. Фрезерувати 12 елементів, витримуючи розміри 14, 15, 16. 7. Відкріпити та зняти деталь.

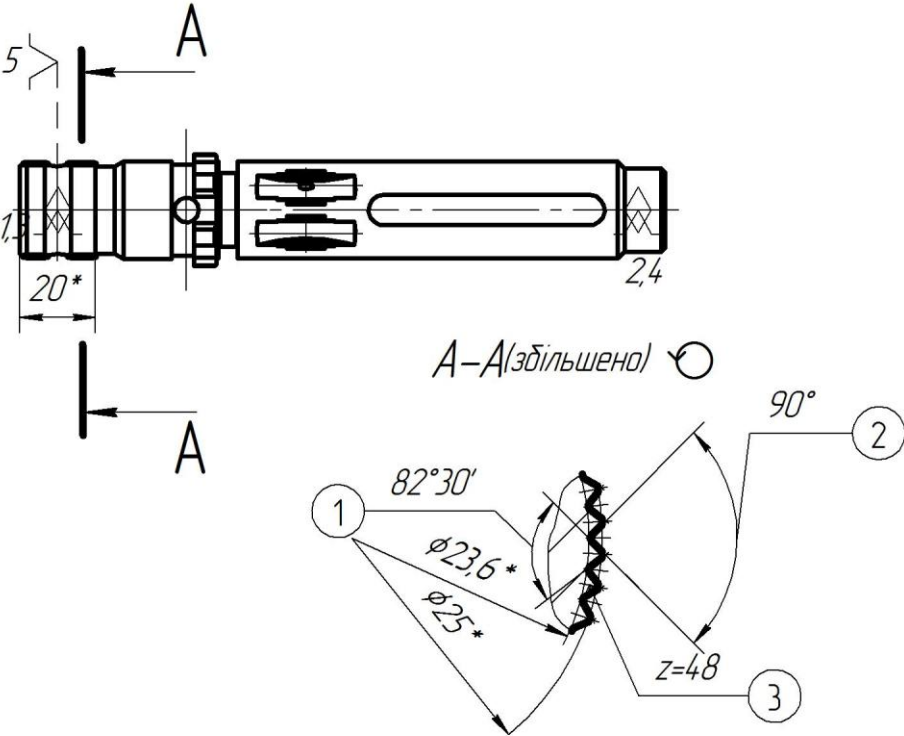
1	2	3	4
		<i>Б-Б (2:1)</i> Technical drawing of a mechanical part showing a cross-section B-B (2:1). The part is circular with eight slots. Dimensions include: 60° angle, 16.6±0.05, 3.9, 4.45-0.01, 23.4±0.05, R0.3**, 6.94+0.04/-0.01, 6 пазів, 0.252*, 0.672, Ra 3.2, 4.3-0.01, 16.9±0.05, 0.252*, 0.672, Ra 2.5. A table with 'T 0,05 B' is shown.	

Продовження таблиці 2.9

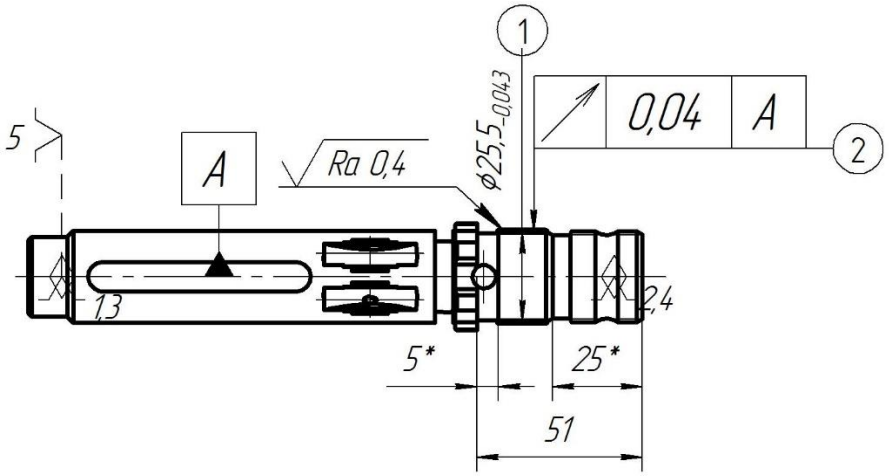
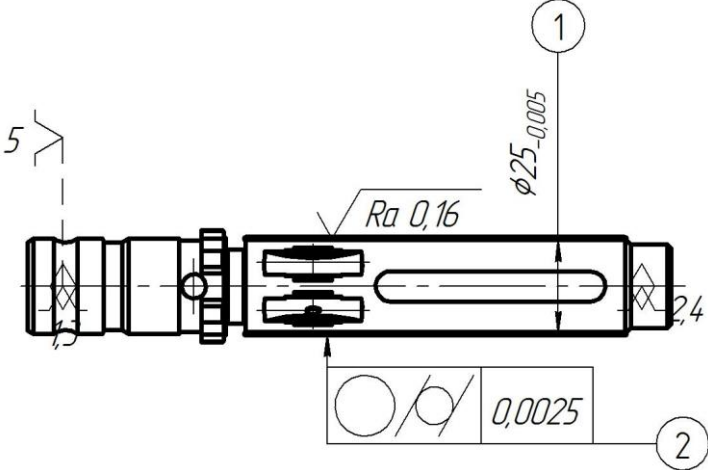
1	2	3	4
050 Свердильна	2Н125 Свердильний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Свердлити 3 отвори послідовно з поворотом деталі, витримуючи розміри 1, 2, 3, 4. 3. Перемістити деталь в осьовому напрямі відносно інструмента на відстань 31,75 мм. 4. Свердлити 3 отвори послідовно з поворотом деталі, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5. 5. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
055 Токарно-гвинторізна	ІИС1-1 Токарно-гвинторізний	 Technical drawing of a mechanical part, showing two views: a side view (top) and a cross-sectional view (bottom). The side view shows a cylindrical part with a central hole, a thread, and various dimensions. The cross-sectional view shows the internal profile with radii and dimensions. Numbered circles 1-9 indicate specific features and dimensions.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Точити канавку, витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Точити зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розміри 1, 5, 6, 7. 4. Точити радіусну канавку, витримуючи розміри 8, 9. 5. Відкріпити та зняти деталь.

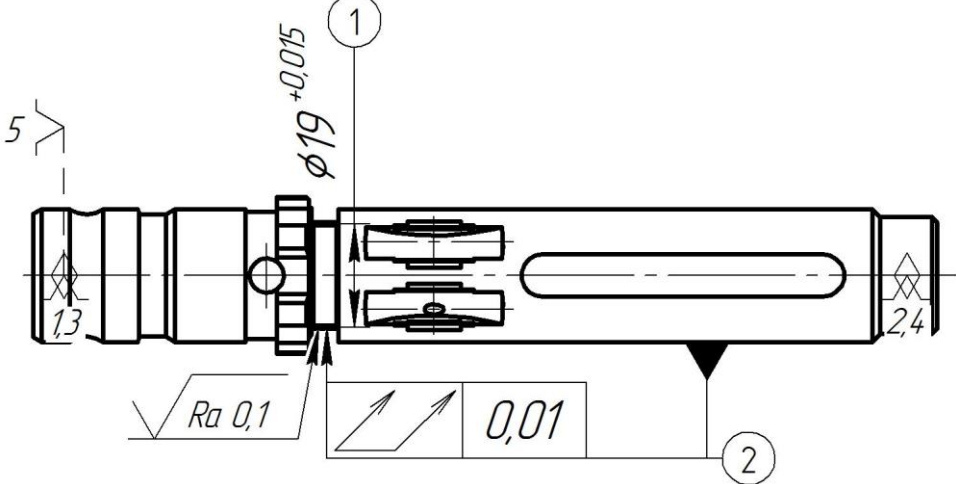
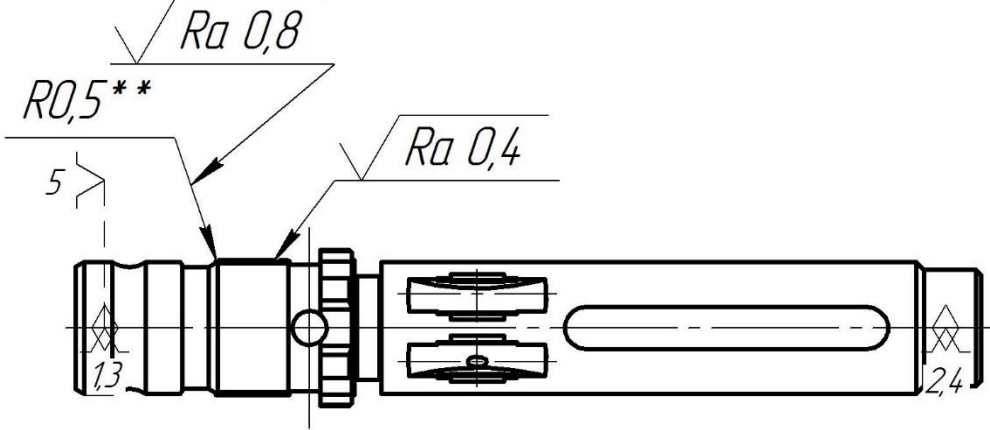
1	2	3	4
060 Свердильна	2Н125 Свердильний	 Technical drawing of a drill bit assembly. The drawing includes a perspective view of the drill bit and a cross-sectional view labeled 'A (2:1)'. Key dimensions and features are indicated: - Callout 1: Dimension $10 \pm 0,1$ for the length of the cutting edge. - Callout 2: Dimension $1 \pm 0,5$ for the length of the cutting edge. - Callout 3: Dimension $\phi 2,5^{+0,1}$ for the diameter of the cutting edge. - Callout 4: Dimension 45° for the angle of the cutting edge. - Callout 5: Dimension $Ra 6,3$ for the surface roughness of the cutting edge. - Callout 6: Dimension $Ra 6,3$ for the surface roughness of the cutting edge. - Callout 7: Dimension $1 \pm 0,5$ for the length of the cutting edge. - Callout 8: Dimension $10 \pm 0,1$ for the length of the cutting edge. - Callout 9: Dimension $1 \pm 0,5$ for the length of the cutting edge. - Callout 10: Dimension $10 \pm 0,1$ for the length of the cutting edge.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати 2 площадки, витримуючи розміри 1, 2. 3. Свердли 2 плоских отвори послідовно, витримуючи розміри 1, 3, 4. 4. Відкріпити та зняти деталь.

1	2	3	4
065 Шліцефрезерна	5К301П Шліцефрезерний	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати шліці, витримуючи розміри 1, 2, 3. 3. Відкріпити та зняти деталь.

Продовження таблиці 2.9

1	2	3	4
070 Круглошліфувальна	3У12АФ11 Круглошліфувальний	 * Розміри для довідок	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкрити та зняти деталь.
075 Круглошліфувальна	3У12АФ11 Круглошліфувальний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати зовнішню циліндричну поверхню, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкрити та зняти деталь.

Продовження таблиці 2.10

1	2	3	4
080 Круглошліфувальна	ЗУ12АФ11 Круглошліфувальний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Шліфувати канавку, витримуючи розмір 1, допуск 2. 3. Відкрити та зняти деталь.
085 Токарна	И611П Токарний		1. Встановити та закріпити деталь. 2. Полірувати зовнішню циліндричну поверхню, радіус, витримуючи розмір 1. 3. Відкрити та зняти деталь.

Тип та модель металорізального обладнання визначаються відповідно до прийнятих методів механічної обробки поверхонь, вимог до точності виготовлення, параметрів шорсткості, конструктивних особливостей деталі та типу виробництва. Під час вибору верстатів також враховуються геометричні розміри та маса заготовки, необхідна жорсткість технологічної системи, потужність привода, діапазон частот обертання шпинделя, величини подач, а також можливість забезпечення необхідної продуктивності технологічного процесу.

Вибір металорізальних верстатів здійснюється з урахуванням технологічних можливостей обладнання щодо виконання заданих операцій механічної обробки. Для чорнових операцій перевага надається високопродуктивним верстатам із достатньою потужністю та жорсткістю, тоді як для чистових і фінішних операцій застосовується обладнання, здатне забезпечити підвищену точність позиціонування та стабільність режимів різання. При виконанні складних багатопереходних операцій доцільним є використання обробних центрів із числовим програмним керуванням, які забезпечують концентрацію обробки, скорочення кількості переустановлень та підвищення точності взаємного розташування поверхонь.

Моделі верстатів та їх основні технічні характеристики обираються на основі даних каталогів, нормативно-довідкової літератури та технічної документації виробників обладнання. При цьому враховуються параметри робочої зони, допустимі розміри та маса заготовок, точність обробки, потужність електроприводів, характеристики системи ЧПК, а також можливість використання стандартного та спеціалізованого технологічного оснащення.

Обрані металорізальні верстати та їх технічні характеристики наведені у таблиці 2.11.

Таблиця 2.11

Металорізальні верстати для обробки деталей

№ операції	Модель та найменування верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи макс. Діаметр обробки (мм)	Ряд частот обертання (хв ⁻¹)	Ряд подач (мм/об)	Потужність (кВт)	Габаритні розміри верстату (мм)
1	2	3	4	5	6	7
Ротор УЯИШ.716624.003М						
005	Відрізний BS-250 SSV	-	63-3150	28-790	0,75	2260x1000x1320
010, 015, 020	Токарний з ЧПУ 16Б16Т1С1	-	12,5-2000	1,5-600	10,0	3360x1710x1750
025, 030	Горизонтально-фрезерний 6Р81	400x1600	50-1600	8,3-416,6	5,5	2560x2260x2120
035, 070, 075, 080	Круглошліфувальний 3У12АФ11	-	55-900	0,3-5,0	4	3600x2260x2040
040	Вертикальний обробний центр НААС VF3	1250x320	63-3150/ 90-4000	16-500	7	1400x1420x1875
045, 055	Токарно-гвинторізний 1ИС1-1	250	20-2000	Повзд. 0,01-1,8 Попер. 0,005-0,09	3	1770x970x1300
050, 060	Вертикально-свердлильний 2Н125	400x450	45-2000	0,1-2	2,2	2350x785x915
065	Шліцефрезерний 5К301П	-	100-500	0,35-45/0,4-60/0,18-16	7,5	132x1450x1820
085	Токарний 1И611П	250	20-2000	Повзд. 0,01-1,8 Попер. 0,005-0,09	3	1770x970x1300

2.7. Вибір затискних пристроїв

Тип та конструктивне виконання затискних пристроїв для реалізації кожної технологічної операції визначаються з урахуванням прийнятої теоретичної схеми

базування деталі, вимог до точності обробки, характеру технологічних переходів та типу виробництва. Основним призначенням затискних пристроїв є забезпечення надійного встановлення та закріплення заготовки в процесі механічної обробки із збереженням заданого положення деталі відносно різального інструменту та виключенням можливих зміщень під дією сил різання.

Під час вибору конструкції затискного пристрою враховуються геометрична форма деталі, її маса, жорсткість, характер оброблюваних поверхонь, величина та напрямок сил різання, а також необхідність забезпечення вільного доступу різального інструменту до зони обробки. Особлива увага приділяється забезпеченню достатньої жорсткості системи «верстат–пристрій–заготовка–інструмент», що безпосередньо впливає на точність механічної обробки, стабільність технологічного процесу та якість поверхневого шару готового виробу.

Для умов серійного та масового виробництва доцільним є застосування спеціалізованих або універсально-налагоджуваних пристроїв, які забезпечують скорочення допоміжного часу, підвищення продуктивності та повторюваності параметрів обробки. У випадку виконання високоточних операцій або багатопозиційної обробки на верстатах із числовим програмним керуванням використовуються пристрої підвищеної точності з механізованими або гідравлічними затискними елементами, що дозволяє забезпечити стабільність базування та мінімізувати похибки переустановлення деталі.

Конструкція затискних пристроїв також повинна забезпечувати технологічність експлуатації, зручність установлення та зняття заготовки, безпечність роботи оператора й можливість інтеграції з існуючим металорізальним обладнанням. Вибрані затискні пристрої та їх коротка технічна характеристика наведені у таблиці 2.12.

Таблиця 2.12

Затискні верстатні пристрої для деталей

Номер операції	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
1	2	3	4
Ротор УЯИШ.716624.003М			
005	Тиски верстатні	Спец.	Ручний
010	Патрон	ГОСТ 2675-80	Пневматичний
015			
020			
025	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
030	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
035	Центра	-	Ручний
040	Пристрій затискний	Спец.	Пневматичний
045	Патрон	ГОСТ 2675-80	Пневматичний
050	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
055	Патрон	ГОСТ 2675-80	Пневматичний
060	Кондуктор	Спец.	Пневматичний
065	Центра, поводок	-	Ручний
070			
075			
080			
085	Патрон	ГОСТ 2675-80	Пневматичний

2.8. Вибір різальних інструментів

Вибір різального інструменту для виконання кожного технологічного переходу здійснюється з урахуванням методу та стадії механічної обробки, типу виробництва, фізико-механічних і хіміко-технологічних властивостей матеріалу заготовки, а також характеристик інструментального матеріалу, його міцності, зносостійкості та стійкості в умовах дії термомеханічних навантажень. Під час вибору інструменту враховуються геометричні параметри оброблюваних поверхонь, величини припусків, режими різання, вимоги до точності та параметрів шорсткості поверхневого шару, а також продуктивність технологічного процесу.

Для чорнових операцій перевага надається інструменту з підвищеною міцністю та зносостійкістю, здатному працювати при значних подачах і глибинах різання, тоді як для чистових та фінішних переходів застосовується високоточний

різальний інструмент, який забезпечує стабільність геометричних параметрів і необхідну якість поверхонь. Особливе значення при виборі інструменту мають теплостійкість інструментального матеріалу, стійкість ріжучої кромки до пластичної деформації та можливість ефективного відведення теплоти із зони різання.

У базовому технологічному процесі застосовується як стандартний різальний інструмент, виготовлений відповідно до вимог державних стандартів, так і сучасний високопродуктивний інструмент виробництва TaeguTec. Використання інструменту даного виробника обумовлене його високими експлуатаційними характеристиками, підвищеною стійкістю ріжучих пластин, точністю геометрії та можливістю ефективної роботи в умовах високошвидкісної та високопродуктивної обробки. Застосування сучасного твердосплавного інструменту дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки, забезпечити стабільність режимів різання та покращити якість поверхневого шару оброблюваних деталей.

Під час вибору різального інструменту також враховуються конструктивні особливості металорізального обладнання, тип затискного оснащення, доступність інструменту до оброблюваних поверхонь та можливість автоматизованої зміни інструменту на верстатах із числовим програмним керуванням. Раціональний вибір інструментального оснащення сприяє зниженню трудомісткості обробки, скороченню допоміжного часу та підвищенню загальної ефективності технологічного процесу.

Технічні характеристики вибраного різального інструменту для механічної обробки поверхонь деталей «Ротор» та «Гайка» наведені у таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

Ріжучий інструмент для механічної обробки деталі

Номер		Найменування інструменту	Стандарт на конструкцію інструменту (код)	Різальна частина	
Операції	Переходу			Матеріал	Стандарт (ГОСТ)
1	2	3	4	5	6
Ротор УЯИШ.716624.003М					
005	2	Полотно	SG-4I6P	-	-
010	2, 4, 5	Різець прохідний	2112-0013	T15K6	ГОСТ 18880-08
	3	Свердло центрувальне	2317-0033	P6M5	ГОСТ 14925-75
015	2, 4	Різець прохідний	2112-0013	T15K6	ГОСТ 18880-08
	3	Свердло центрувальне	2317-0033	P6M5	ГОСТ 14925-75
	5	Різець	SVJBR 2525-M16	NC3020	-
020	3	Різець прохідний	2112-0013	T15K6	ГОСТ 18880-08
	4	Різець канавковий	2130-0009	T15K6	ГОСТ 18883-08
025	2	Фреза дискова три стороння	2240-0367	T15K6	ГОСТ 28527-90
030	2	Фреза кінцева	CFM4080M	TT9030 T15K6	-
035	2	Круг шліфувальний	ПП 250x25x76 25A	25CM1-6K	ГОСТ 2424-83
040	2	Фреза шліцева	GME5S32W36-80	TT9030	-
	3	Фреза кінцева	CFM4060M	TT9030	-
	4	Фреза кінцева	CFM4060M	TT9030	-
	5	Фреза кінцева	CFM4100M	TT9030	-
	6	Фреза кінцева	CFM4080M	TT9030	-
045	2	Різець прохідний	2112-0013	T15K6	ГОСТ 18880-08
	3	Різець розточний	2102-1113	T15K6	ГОСТ 18877-08
	4	Свердло	SM1008510	TT9030	-
	5	Різець розточний	2121-0204	T15K6	ГОСТ 18883-08
050	2, 3	Свердло	SM0302510	TT9030	-
055	2	Різець фасонний	УЯИШ 761162.601	P6M5	-
	3	Різець прохідний відігнутий	2102-1113	T15K6	ГОСТ 18877-08
	4	Різець фасонний	УЯИШ 761162.600	P6M5	-
060	2	Фреза кінцева	CFM4080M	TT9030	-
	3	Свердло	SM0506510	TT9030	-
065	2	Фреза шліцева	УЯИШ 282338.001	P6M5	-

070	2	Круг шліфувальний	ПП 300x40x127 25A	16НСМ 2	ГОСТ 2424-83
075	2	Круг шліфувальний	ПП 300x40x127 25A	10НСМ 2	ГОСТ 2424-83
080	2	Круг шліфувальний	ПП 250x5x76 25A	10НСМ 2	ГОСТ 2424-83
085	2	Різець	2112-0083	-	ГОСТ 18880-08

2.9. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вибір засобів технічного контролю для виконання операцій контролю якості деталей здійснюється з урахуванням необхідної точності вимірювання, геометричних параметрів і характеристик контрольованих поверхонь, а також типу виробництва та особливостей організації технологічного процесу. Основною метою технічного контролю є забезпечення відповідності геометричних параметрів, форми, взаємного розташування поверхонь і параметрів шорсткості вимогам конструкторської документації та умовам експлуатації деталей у складі механогідравлічного вузла.

Під час вибору контрольно-вимірювальних засобів враховуються допустимі похибки вимірювання, діапазон контрольованих розмірів, конфігурація вимірюваних поверхонь, вимоги до продуктивності контролю та можливість використання засобів вимірювання в умовах серійного виробництва. Для контролю лінійних і діаметральних розмірів застосовуються універсальні вимірювальні інструменти, зокрема штангенциркулі, мікрометри, індикаторні прилади, нутроміри та калібри. Для перевірки параметрів взаємного розташування поверхонь, співвісності, биття та точності профілю використовуються спеціалізовані контрольно-вимірювальні пристрої та індикаторні системи.

Особлива увага приділяється забезпеченню необхідної точності вимірювання функціонально відповідальних поверхонь деталей «Ротор» та «Гайка», які працюють в умовах підвищених контактних і динамічних навантажень. Для контролю поверхонь із високими вимогами до точності та шорсткості

застосовуються високоточні вимірювальні засоби, що дозволяють мінімізувати похибки контролю та забезпечити достовірність результатів вимірювання.

В умовах серійного виробництва важливим фактором є також забезпечення високої продуктивності контрольних операцій, можливість оперативного контролю параметрів безпосередньо на робочому місці та зниження трудомісткості технічного контролю. Раціональний вибір засобів вимірювання сприяє підвищенню стабільності технологічного процесу, своєчасному виявленню відхилень та забезпеченню необхідного рівня якості готової продукції.

Вибрані засоби технічного контролю для обох деталей наведені у таблиці 2.14.

Таблиця 2.14

Вимірювальний інструмент і контрольні пристрої для деталей

Номер		Параметр деталі, який контролюється	Найменування вимірювального інструменту	Стандарт на конструкцію
Опе- рації	Пере- ходу			
1	2	3	4	5
Ротор УЯИШ.716624.003М				
005	2	195 ₋₁	Лінійка 300	ГОСТ 427-75
010	2	193 _{-0,4}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	4	φ29,5 _{-0,2} 96±0,1	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
	5	φ28,5 _{-0,2} 33±0,5	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
015	2	192,4 _{-0,7}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	5	φ28 _{-0,1} φ26±0,1	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
020	2	φ25,8 _{-0,1} 0,5x45 ⁰	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1 Калібр	ГОСТ 166:2009
	3	φ19,5 _{-0,1} 5,1 ^{+0,1}	Калібр-скоба Калібр	
025	2	1,3 ^{+0,2}	Калібр	
030	2	76 _{-0,4} 3,1 _{-0,2} 8 ^{+0,3}	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1	ГОСТ 166:2009
035	2	Ra 1,6 φ25,5 _{-0,05}	Мікрометр МК-50 Профілометр система-М Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 19300-73 ГОСТ 6507-90 ГОСТ 166:2009
040	2	φ26,1 _{-0,1}	Калібр комплексний	УЯИШ. 401551.002
	3	6,94 ^{+0,04} 16,2 ^{+0,2} 26,8±0,3	Калібр призма для співвідності Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	УЯИШ.401552.002 ГОСТ 166:2009
	4	15 _{-0,1} 4,3 _{-0,01} 16,9±0,05	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
	5	10 _{-0,1}	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009

		46,8±0,05		
	6	4,45 ^{-0,01} 16,6±0,05	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
	2	191,5 ^{-0,4}	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	3	φ22 ^{-0,5}	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
045	4	φ8,5 ^{+0,2} 149±0,5	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
	5	φ12 ^{+0,04} 20±0,2	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
050	2	φ6,5 ^{+0,1}	Калібр пробка УЯИШ 401412.002	СТП 23.113. 01.073-78
	4			
	2	37±0,1 φ23,3 ^{-0,5} 5±0,1	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
055	3	φ25 ^{-0,045} φ26 ^{-0,1}	Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,1	ГОСТ 166:2009
	4	φ22,5 ^{-0,1} 47±0,1	Штангенциркуль ШЦЦ-II-250-0,05	ГОСТ 166:2009
060	3	φ2,5 ^{+0,1}	Калібр пробка УЯИШ 401414.002	СТП 23.113. 01.073-78
065	2	φ23,6 φ25	Штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,1 Проволочки П-1.155 кл0	ГОСТ 166:2009 ГОСТ 2475-88
070	2	φ25,5 ^{-0,043}	CP2-3	ГОСТ 9038-73
075	2	φ25,5 ^{-0,005}	CP25	ГОСТ 11098-75
080	2	φ19 ^{0,015}	Пристосування УЯИШ 7166541.002	-
085	2	R0,5	Калібр УЯИШ.2141-0002	-

2.10. Визначення припусків та операційних розмірів деталей

Після вибору плану обробки окремих поверхонь та розроблення маршрутного технологічного процесу виконується розрахунок припусків на механічну обробку. Визначення припусків є важливим етапом технологічного проектування, оскільки їх величина безпосередньо впливає на точність виготовлення деталі, витрати матеріалу, трудомісткість обробки та стабільність забезпечення заданих параметрів якості поверхневого шару.

Розрахунок припусків здійснюється за методикою В. М. Кована [4], яка передбачає аналітичне визначення мінімально необхідного шару матеріалу, що підлягає зняттю на кожній стадії механічної обробки з урахуванням похибок попередньої обробки, просторових відхилень, похибок установаження та параметрів якості поверхні заготовки. Такий підхід дозволяє обґрунтовано

визначити міжопераційні та загальні припуски, необхідні для досягнення заданої точності й шорсткості поверхні.

Аналітичне визначення припусків у межах даного технологічного процесу виконується для зовнішньої циліндричної поверхні 10 деталі «Ротор» діаметром $\varnothing 25-0,005$ мм, яка належить до функціонально відповідальних поверхонь і характеризується підвищеними вимогами до точності геометричного розміру та якості поверхневого шару.

Мінімальний припуск на точіння чорнове:

$$2Z_{\min} = 2(R_z + T + \rho)$$

$$2Z_{\min} = 2(31,5 + 30 + 40) = 2 \cdot 101,5 \text{ мкм};$$

Мінімальний припуск на чистову обробку:

$$2Z_{\min} = 2(8 + 20 + 30) = 2 \cdot 58 \text{ мкм};$$

Мінімальний припуск на шліфування:

$$2Z_{\min} = 2(0,8 + 15 + 25) = 2 \cdot 40,8 \text{ мкм}$$

Максимальний припуск на точіння чорнове:

$$2Z_{\max 1} = 2Z_{\min 1} + \delta_0 + \delta_1$$

$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 101,5 + 100 + 80 = 2 \cdot 281,5 \text{ мкм};$$

Максимальний припуск на чистову обробку:

$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 58 + 50 + 70 = 2 \cdot 178 \text{ мкм};$$

Максимальний припуск на шліфування:

$$2Z_{\max 1} = 2 \cdot 40,8 + 5 + 10 = 2 \cdot 55,8 \text{ мкм}$$

Таблиця 2.15

Карта розрахунку припусків на обробку поверхні

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрахунковий мінімальний розмір, мм	Допуск на виготовлення δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припусків, мкм	
	Rz	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	150	250	1820	-	30	4000	30	34	-	-

Точіння чорнове	31,5	30	40	2·101,5	25,8	100	25,7	25,8	101,5	281,5
Чистова обробка	8	20	30	2·58	25,45	50	25,45	25,5	58	178
Шліфування	0,8	15	25	2·40,8	24,995	5	24,995	25	40,8	55,8

Схему графічного розташування припусків і допусків для поверхні 10 деталі ротора $\varnothing 25-0,005$ представлена на рис. 2.1.

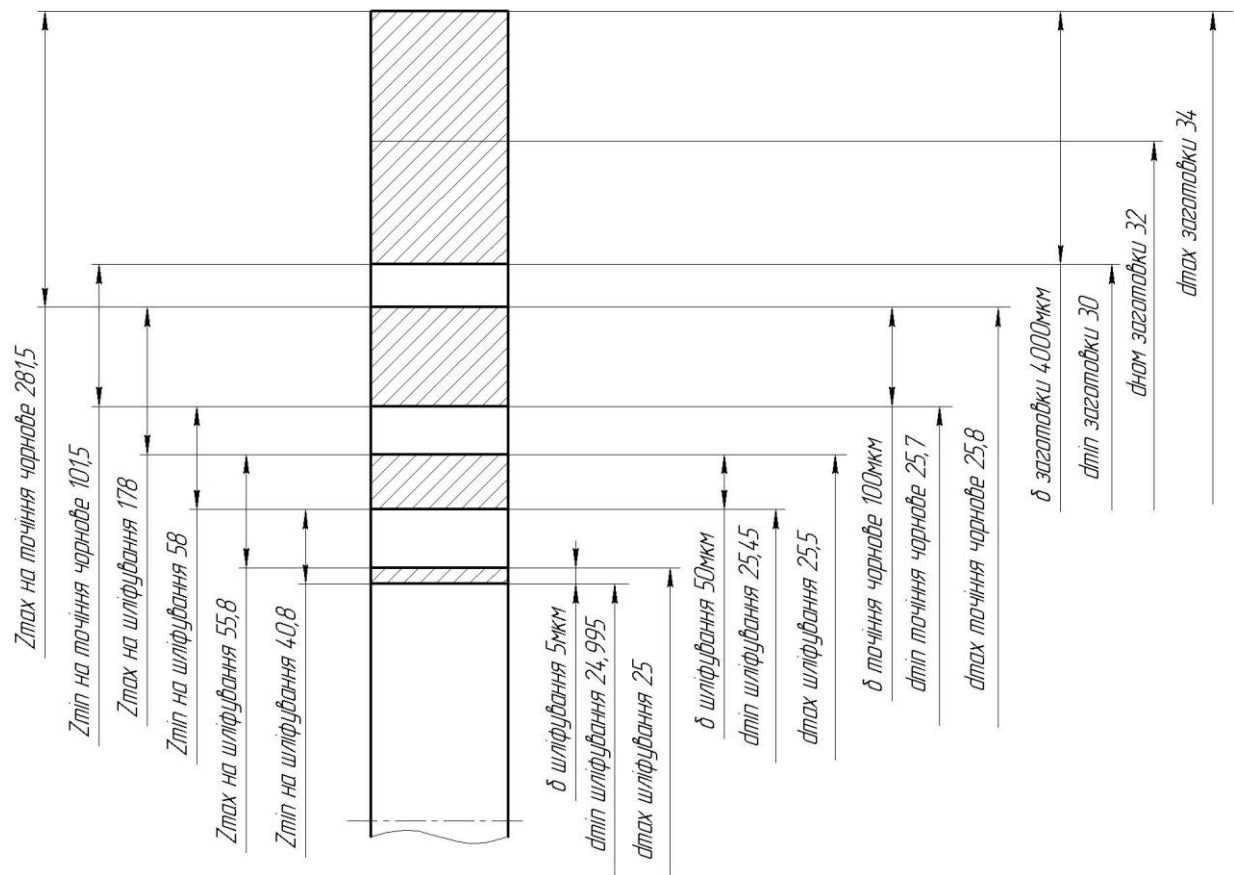


Рис. 2.1. Схема припусків на обробку поверхні $\varnothing 25-0,005$

На решту поверхонь деталей ротор припуски визначаємо за довідковими таблицями. Вибрані величини припусків подаємо у вигляді таблиці 2.16.

Таблиця 2.16

Зведена таблиця припусків на обробку деталей

№ пов-ні	Найменування поверхні	Припуск $Z_{\min}$, мм	Технологічний допуск, мм
1	2	4	5
Ротор УЯИШ.716624.003М			
1,13	Торцева	3,5	0,4
2	Шліці	0,7	0,0045
3	Шийка	1,75	0,1
4	Зовнішня циліндрична	4,35	0,5
5	Зовнішня циліндрична	3,25	0,043

6	Зовнішня циліндрична	4	0,5
7	Отвір	3,25	0,1
8	Шліці	2,95	0,1
9	Канавка	3,15	0,015
10	Зовнішня циліндрична	3,5	0,005
12	Зовнішня циліндрична	5	0,5
14	Внутрішня циліндрична	6	0,043
15	Отвір	1,25	0,1
17	Внутрішня циліндрична	4,25	0,3
18	Отвір	3,25	0,1
19	Отвір	3,25	0,1
22	Паз	3,9	0,05
23	Паз	3,1	0,2

2.11. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання для механічної обробки деталей виконується розрахунково-аналітичним методом для фрезерної операції 030 обробки деталі «Ротор». Зазначений метод дозволяє обґрунтовано визначити основні параметри режиму різання з урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, характеристик різального інструменту, технологічних можливостей металорізального обладнання та вимог до точності й якості оброблюваних поверхонь. Розрахунок здійснюється відповідно до рекомендацій і нормативних залежностей, наведених у джерелі [27].

У процесі визначення режимів різання розраховуються основні технологічні параметри, зокрема швидкість різання, подача, глибина різання, частота обертання шпинделя та хвилинна подача. При цьому враховуються конструктивні параметри фрези, матеріал ріжучої частини інструменту, жорсткість технологічної системи, характер обробки та допустимі силові й теплові навантаження, що виникають у зоні різання. Раціональний вибір режимів різання забезпечує підвищення продуктивності механічної обробки, стабільність роботи інструменту та досягнення необхідних параметрів точності й шорсткості поверхонь.

Для інших операцій механічної обробки деталей «Ротор» та «Гайка» параметри режимів різання визначаються на основі нормативно-довідкової документації, виробничих нормативів і рекомендацій щодо застосування

різального інструменту. Використання нормативних даних дозволяє забезпечити технологічну обґрунтованість вибраних режимів, врахувати накопичений виробничий досвід та забезпечити відповідність параметрів обробки можливостям застосовуваного обладнання й інструментального оснащення.

Визначені значення елементів режимів різання для операцій механічної обробки деталей систематизовано та наведено у таблиці 2.18.

Приймаємо необхідні величини режимів різання:

- подача – 0,08 мм/зуб (табл. 33 [26])
- подача S_o – 24 мм/об (табл. 37 [26])
- глибина різання – 3,1 мм
- довжина обробки – 62 мм
- Швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v,$$

де: $C_v = 46,7$, $q = 0,45$, $x = 0,5$, $y = 0,5$, $u = 0,1$, $p = 0,1$, $m = 0,33$ (табл. 39 [27]);

T - період стійкості інструменту. $T = 80$ хв. (табл. 40 [27])

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv},$$

де: K_{mv} - коефіцієнт, який враховує якість оброблюваного матеріалу (табл. 2 [27]). $K_{mv} = 0,4$;

K_{nv} - коефіцієнт, який враховує стан поверхні заготовки (табл. 5 [27]). $K_{nv} = 0,9$;

K_{uv} - коефіцієнт, який враховує матеріал інструменту (табл. 6 [27]). $K_{uv} = 1$

$$K_v = 0,4 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,36$$

$$V = \frac{46,7 \cdot 8^{0,5}}{80^{0,33} \cdot 8^{0,5} \cdot 0,08^{0,5} \cdot 3^{0,1} \cdot 3,1^{0,1}} \cdot 0,36 = 31,5 \text{ м/хв.}$$

- Частота обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 31,5}{\pi \cdot 8} = 1040 \text{ об/хв.}$$

- Колова сила різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot (S_z)^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp},$$

де: $C_p = 68,2$, $x = 0,68$, $y = 0,72$, $u = 0,1$, $q = 0,86$, $w = 0$ (табл. 41 [27])

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8^{0,86} \cdot 0,08^{0,72} \cdot 2,7^{0,1} \cdot 3}{8^{0,86} \cdot 1040^0} \cdot 1 = 366,6 \text{ Н}$$

- Крутний момент:

$$M_{\kappa} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{366,6 \cdot 8}{2 \cdot 100} = 14,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

- Потужність різання:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{366,6 \cdot 31,5}{1020 \cdot 60} = 1,83 \text{ кВт}$$

Режими різання для технологічних переходів, у яких застосовується різальний інструмент фірми TaeguTес, визначаються на основі рекомендацій, наведених у відповідних каталогах інструменту [8, 17, 25, 28]. У каталогах подано рекомендовані діапазони основних параметрів різання, зокрема подачі, глибини різання та швидкості різання, що дозволяє обрати раціональні режими з урахуванням матеріалу заготовки, виду обробки, геометрії інструменту та вимог до якості поверхні.

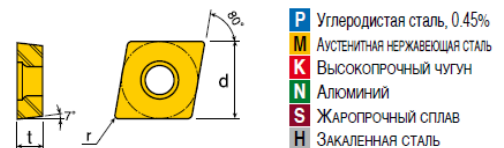
Для остаточного призначення режимів різання необхідно виконати розрахунок частоти обертання шпинделя відповідно до прийнятої швидкості різання та діаметра оброблюваної поверхні. Після визначення фактичної частоти обертання, яка узгоджується з технічними можливостями верстата, здійснюється коригування фактичного значення швидкості різання. Такий підхід забезпечує відповідність розрахункових параметрів реальним умовам роботи обладнання та дозволяє підтримувати стабільність процесу різання.

З урахуванням зазначених положень режими різання для відповідних переходів обираються за каталогами інструменту фірми TaeguTес з використанням даних офіційного технічного ресурсу виробника. Вибір режимів здійснюється з урахуванням типу операції, характеру обробки, марки ріжучої пластини, типу покриття, матеріалу оброблюваної деталі та необхідного рівня точності й шорсткості поверхні.

Нижче наведено методику вибору режимів різання для переходу 3 — точіння зовнішньої циліндричної поверхні в межах операції 010 токарної обробки з ЧПК деталі «Гайка». Оскільки на цьому переході виконується чистова обробка,

основними критеріями вибору інструменту є забезпечення стабільної геометрії ріжучої кромки, мінімізація шорсткості поверхні, підвищення стійкості пластини та зниження сил різання. Відповідно до рекомендацій каталогу інструменту для виконання даного переходу обирається різальна пластина CCMT 09T302 FA із CVD-покриттям TT8115, призначена для чистового точіння конструкційних сталей із забезпеченням високої якості обробленої поверхні та стабільної роботи в умовах регламентованих режимів різання.

Позитивные ромбические пластины с углом в плане 80° и задним углом 7°



Пластины	Обозначение	Рекомендуемые режимы резания		Сплав и скорость резания, Vc (м/мин)																		
				Кермет		CVD покрытие								PVD покрытие				Без покрытия				
		Подача (мм/об)	ap (мм)	PV3010	CT3000	TT1300	TT7310	TT8115	TT8125	TT8135	TT9215	TT9225	TT9235	TT5100	TT7100	TT5080	TT8020	TT9020	TT9080	P20	K10	K20
 Чистовая	CCMT 060202 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 1.5																			
	060204 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 1.5																			
	09T302 FA	0.05 - 0.15	0.1 - 2.0																			
	09T304 FA	0.05 - 0.20	0.1 - 2.0																			
	09T308 FA	0.10 - 0.25	0.2 - 2.0																			
  Чистовая	CCMT 060204 FG	0.05 - 0.15	0.3 - 1.5																			
	09T304 FG	0.07 - 0.20	0.4 - 2.0																			
	09T308 FG	0.10 - 0.25	0.6 - 2.0																			
	120408 FG	0.10 - 0.25	0.6 - 2.0																			
		✓	0.10 - 0.25	0.6 - 2.0																		

Рис. 2.2. Рекомендовані режими різання при обробці різцями ф.ТаегуТес

Приймаємо необхідні величини режимів різання:

- подача - 0,15 мм/об
- глибина різання - 0,95 мм
- швидкість різання - 310 м/хв.

Розраховуємо частоту обертання:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 310}{3,14 \cdot 59} = 1673,3 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо $n_o = 1670 \text{ об/хв.}$

- Дійсна швидкість різання:

$$V_o = \frac{\pi \cdot D \cdot n_o}{1000} = \frac{3,14 \cdot 59 \cdot 1670}{1000} = 309 \text{ м/хв.}$$

За аналогічним принципом призначаються режими різання для всіх інших переходів механічної обробки поверхонь гвинт гайка, що виконуються з використанням інструменту компанії TaeguTec.

Таблиця 2.17

Режими різання на операціях механічної обробки деталей

Номер		t, мм	S _{мм/об} S _{мм/хв}	V м/хв	n, хв. ⁻¹	t _о , хв
опе- рації	пере- ходу					
1	2	3	4	5	6	7
Ротор УЯИШ.716624.003М						
005	2	-	0,2	25	250	0,1
010	2	2	0,4	157	800	1,7
	3	2	0,13	17,6	1400	
	4	1,25	0,4	140	630	
	5	1,85	0,16	209	1000	
015	2	0,6	0,4	120	800	1,56
	3	2	0,13	17,6	1400	
	4	1,55	0,4	115	750	
	5	1,45	0,2	190	1200	
020	2	1,85	0,4	180	630	1,55
	3	3,15	0,2	209	1000	
025	2	1,3	0,01	60	630	0,2
030	2	3,1	0,08	31,5	1040	0,42
035	2	0,15	0,01	124	1590	0,45
040	2	1,7	0,07	33,2	1050	11,5
	3	3,9	0,07	31,3	987	
	4	0,5	0,08	81,5	2000	
	5	0,6	0,08	73,4	1840	
	6	0,5	0,08	80,1	2000	
045	2	0,9	0,16	157	800	0,5
	3	1,75	0,09	224	1150	
	4	4,25	0,16	145	630	
	5	1,75	0,09	220	1000	
050	2	3,25	0,15	21,9	630	1
	4	3,25	0,15	21,9	630	
055	2	2,35	0,16	111	750	0,9
	3	1,5	0,09	215	1250	
	4	1,25	0,09	215	1250	
060	2	1	0,08	100	1250	0,5
	3	1,25	0,06	50	630	
065	2	0,7	0,02	20	450	4
070	2	0,25	0,01	124	1590	0,38
075	2	0,25	0,01	124	1590	0,52
080	2	0,25	0,01	124	1590	0,45
085	2	-	0,1	49	630	1,2

2.12. Технічне нормування операцій

Нормування технологічних операцій у серійному та масовому виробництві здійснюється переважно розрахунково-аналітичним методом, який базується на детальному аналізі структури операції, параметрів технологічного процесу та характеристик застосовуваного обладнання. Даний метод дозволяє визначити технічно обґрунтовані норми часу з урахуванням режимів різання, конструктивних особливостей деталі, рівня механізації та автоматизації виробництва, а також організаційних умов виконання операцій.

Розрахунок норм часу передбачає визначення основного, допоміжного, оперативного, підготовчо-завершального часу та часу на обслуговування робочого місця й відпочинок оператора. Основний час визначається безпосередньо параметрами процесу різання та залежить від довжини обробки, режимів різання, кількості проходів і кінематичних характеристик обладнання. Допоміжний час включає витрати часу на встановлення та зняття заготовки, зміну інструменту, контроль параметрів обробки та виконання допоміжних переходів.

У межах даного технологічного процесу виконується розрахунок норм часу для операції 010 токарної обробки з числовим програмним керуванням деталі Ротор. Розрахунок здійснюється з урахуванням технічних характеристик токарного верстата з ЧПК, прийнятих режимів різання, конструктивних параметрів деталі та особливостей виконання технологічних переходів. Особлива увага приділяється визначенню тривалості основного часу для чистових і напівчистових переходів, оскільки саме вони значною мірою визначають загальну трудомісткість операції та продуктивність технологічного процесу.

Отримані результати нормування дозволяють оцінити ефективність прийнятого технологічного маршруту, визначити виробничу продуктивність обладнання, розрахувати собівартість механічної обробки та забезпечити техніко-економічне обґрунтування розробленого технологічного процесу.

Штучний час:

$$T_{\text{шт}} = (T_{\text{ца}} + T_{\text{ДОП}} \cdot K_{\text{тв}}) \cdot \left(1 + \frac{t_{\text{ТО}} + t_{\text{орг}} + t_{\text{від}}}{100} \right),$$

де: $T_{\text{ца}}$ – час циклу автоматичної роботи верстату за програмою, хв:

$$T_{\text{ца}} = t_{\text{О}} + T_{\text{МД}}$$

де: $t_{\text{О}}$ – основний час на обробку однієї деталі, хв;

$T_{\text{МД}}$ – машинно-допоміжний час за програмою:

час на зміну інструмента – 0,0025 хв;

час на підведення та відведення інструмента – 0,034 хв;

- час технологічних пауз: перевстановлення деталі в контршпінделі – 0,3 хв. і т.п.), хв;

- поворот деталі на заданий кут (переходи 10, 13, 16, 26, 28, 31) – 0,017 хв.

$$T_{\text{МД}} = 0,0025 \cdot 15 + 0,067 \cdot 24 + 0,3 + 0,017 \cdot 6 = 2,05 \text{ хв.}$$

$$T_{\text{ца}} = 15,86 + 2,05 = 17,91 \text{ хв.}$$

$T_{\text{ДОП}}$ – допоміжний час, хв:

$$T_{\text{ДОП}} = T_{\text{Д.В.}} + T_{\text{Д}} + T_{\text{Д.ВИМ.}}$$

де: $T_{\text{Д.В.}}$ – час на встановлення та зняття деталі (стор. 55 [18]), $T_{\text{Д.В.}} = 0,26$ хв;

$T_{\text{Д}}$ – допоміжний час, пов'язаний із операцією (стор. 79 [18]), хв;

$$T_{\text{Д}} = 0,32 + 0,15 + 0,03 = 0,5$$

$T_{\text{Д.ВИМ.}}$ – допоміжний неперекриваємий час на вимірювання (стор. 80, карта 15 [19]), хв;

$$T_{\text{Д.ВИМ.}} = 0,16 \cdot 5 + 0,1 + 0,13 \cdot 2 = 1,16$$

$$T_{\text{ДОП}} = 0,26 + 0,5 + 1,16 = 1,92$$

$K_{\text{тв}}$ – поправочний коефіцієнт на час виконання ручної допоміжної праці в залежності від партії оброблюваних деталей (стор. 50 [19]) $K_{\text{тв}} = 0,71$;

$t_{\text{ТО}}$ – час на технічне обслуговування робочого місця (стор. 90 [19]);

$t_{\text{орг}}$ – час на організаційне обслуговування робочого місця;

$t_{\text{від}}$ – час на відпочинок.

$$t_{TO} + t_{opz} + t_{vid} = (T_{ца} + T_{доп}) \cdot 0,14 = (17,91 + 1,92) \cdot 0,14 = 2,78 \text{ хв.}$$

$$T_{шт} = (17,91 + 1,92 \cdot 0,71) \cdot \left(1 + \frac{2,78}{100}\right) = 20,3$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт.к} = t_o + T_{доп} + t_{TO} + t_{opz} + \frac{T_{пз}}{n}$$

де: $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, (стор. 98 [19]) хв.

$$T_{пз} = 4 + 2 + 4 + 0,3 + 7 + 0,3 \cdot 16 + 1 + 0,3 = 24 \text{ хв.}$$

n - розмір партії, $n = 625$ шт.

$$T_{шт.к} = 15,86 + 1,92 + 2,78 + \frac{23,4}{625} = 20,59$$

Результати розрахунків норм часу по всім операціям механічної обробки деталей гвинт гайка зводимо в таблицю 2.18.

Таблиця 2.18

Норми часу на обробку деталей

№ операції	t_o , хв.	$t_{доп}$, хв.	t_{TO} , хв.	$t_{орг.об.}$, хв.	$t_{від}$, хв.	$T_{шт}$, хв.	$T_{пз}$, хв.	$T_{шт.к}$, хв.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ротор УЯИШ.716624.003М								
005	0,1	0.5	0.02	0.03	0,04	0,7	12	0,82
010	1,7	0.5	0.02	0.03	0,04	2,89	12	3,01
015	1,56	0.5	0.02	0.03	0,04	3,02	12	3,14
020	1,55	0.5	0.03	0.05	0,04	2,97	12	3,09
025	0,2	0.3	0.03	0.05	0,01	0,41	8	0,7
030	0,42	0.3	0.03	0.05	0,01	0,84	8	0,96
035	0,45	0.5	0.02	0.04	0,04	1,07	8	1,15
040	11,5	1,63	0.19	0.38	0,09	25,9	14	26,04
045	1	0.73	0.04	0.08	0,04	1,07	10	1,17
050	1	0.5	0.03	0.05	0,01	1,9	8	1,98
055	0,9	0.73	0.02	0.03	0,02	1,17	10	1,27
060	1,53	0.5	0.03	0.04	0,04	2,14	8	2,22
065	4	1.18	0.09	0.18	0,02	6,34	8	6,42
070	0,38	0.5	0.03	0.05	0,01	1,7	8	1,78
075	0,52	0.5	0.03	0.05	0,01	1,35	8	1,43
080	0,45	0.5	0.03	0.05	0,01	0,9	8	0,98
085	1,2	0.5	0.03	0.05	0,01	2,3	8	2,38

Висновки

В кваліфікаційній роботі на тему: «Розробка технології механічної обробки деталі ротора УЯИШ.716624.702

Спроектовані технологічні процеси механічної обробки забезпечують гарантоване досягнення встановлених технічних вимог до виробу, зокрема нормативних показників точності лінійних і діаметральних розмірів, параметрів геометричної форми, взаємного розташування поверхонь та характеристик мікрогеометрії поверхневого шару. Розроблена технологічна структура процесу базується на застосуванні високоточного металорізального обладнання з числовим програмним керуванням, що дозволяє забезпечити стабільність параметрів механічної обробки, повторюваність результатів та мінімізацію впливу випадкових технологічних похибок.

Використання прецизійного автоматизованого обладнання забезпечує високу операційну гнучкість виробничої системи та її адаптивність до зміни номенклатури продукції. Завдяки можливості оперативного переналагодження програм керування та автоматизованого регулювання режимів різання створюються умови для ефективної реалізації інтенсифікованих режимів механічної обробки при збереженні нормативної стійкості різального інструменту. Крім того, застосування багатоопераційної обробки за одне встановлення деталі дозволяє суттєво знизити похибки, пов'язані з перебазуванням заготовки, та забезпечити підвищення точності взаємного розташування функціональних поверхонь виробу.

Застосування багатоцільових верстатів із числовим програмним керуванням сприяло структурній оптимізації виробничої системи підприємства. Завдяки концентрації значної кількості технологічних переходів у межах одного автоматизованого циклу стало можливим скорочення кількості одиниць металорізального обладнання, зменшення кількості переустановлень деталей та оптимізація чисельності виробничого персоналу без зниження продуктивності дільниці. Такий підхід дозволяє раціонально використовувати виробничі площі,

підвищити рівень автоматизації технологічних процесів і створити передумови для подальшої модернізації та технічного переоснащення виробництва.

Економічна ефективність застосування систем числового програмного керування проявляється у зниженні собівартості виготовлення продукції за рахунок підвищення точності позиціонування виконавчих органів верстатів, скорочення підготовчо-завершального часу, мінімізації втрат на переналагодження та зменшення кількості технологічного браку. Висока стабільність режимів різання та автоматизація процесів керування дозволяють забезпечити стійку продуктивність виробництва й ефективне використання матеріальних та енергетичних ресурсів.

Запропонований підхід повністю відповідає сучасним принципам високоточного ресурсоефективного машинобудування та концепції Industry 4.0, яка передбачає інтеграцію цифрових технологій, автоматизованих систем керування та інтелектуалізованих виробничих процесів у структуру сучасного промислового виробництва.

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. Єрьомін, В.А. Мажара // Центральнотериторіальний 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. Дослідження впливу процесу зубохонінгування алмазними черв'ячними хонами на параметри шоркості зубчатих коліс / А.В. Кривошея, Є.О. Пащенко, В.Є. Мельник, К.К. Щербина // Опір матеріалів і теорія споруд. – Київ: КНУБА, 2021. – Вип. 106. – С. 296-311.

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.