

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

«Допущено до захисту»
Завідувач кафедри ММіР
к.т.н., доцент
_____ Андрій ГРЕЧКА
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:

**«Дослідження силових навантажень захватних
пристроїв роботів у верстатних комплексах»
«Research on the force loads of robot gripping
devices in machine tool complexes»**

Виконав здобувач вищої освіти ІІ-го
курсу групи ПМ-24М-З
ОПП «Прикладна механіка»
спеціальності 131 «Прикладна механіка»
_____ Богдан БОТОВ

Керівник роботи к.т.н., доцент
_____ Максим ГОДУНКО

Рецензент:

Кропивницький 2025

Центральноукраїнський національний технічний університет	
Факультет	Механіко-технологічний
Кафедра	Машинобудування, мехатроніки і робототехніки
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Галузь знань	13 Механічна інженерія
Спеціальність	131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Богдана БОТОВА**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження силових навантажень захватних пристроїв
роботів у верстатних комплексах

2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Максим ГОДУНКО

3. Строк подання роботи до захисту « ____ » _____ 2025 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:

Метою роботи є:

дослідження ефективності інтеграції промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі типу вал-шестерня. Особливу увагу приділено обґрунтуванню доцільності використання робота на одній із технологічних операцій із подальшим підтвердженням цього рішення шляхом економічних розрахунків.

Завдання:

- визначити ключові аспекти ефективності впровадження промислових роботів.
- розробити технологічну операцію з інтеграцією робота у виробничий процес.
- провести економічне оцінювання доцільності використання робота.
- виконати силовий розрахунок для оптимізації роботи захватного пристрою.
- сформулювати узагальнюючі висновки та практичні рекомендації.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 2	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 3	Максим ГОДУНКО		
РОЗДІЛ 4	Ірина ЖУРИЛО		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п / п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1	Загальна частина	01.10.2025	вик.
2	Дослідна частина	15.10.2025	вик.
3	Технологічна частина	02.11.2025	вик.
4	Економічна частина	18.11.2025	вик.
5	Розробка презентації	01.12.2025	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи _____ Максим ГОДУНКО
(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2025 р.

Здобувач _____ Богдан БОТОВ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

на випускню кваліфікаційну роботу здобувача гр. ПМ-24М-3

Ботова Богдана Анатолійовича

Кваліфікаційну роботу виконано відповідно до теми «Дослідження силових навантажень захватних пристроїв роботів у верстатних комплексах». До її складу входить пояснювальна записка обсягом ____ аркушів та графічна частина, що містить 8 листів формату А4.

У ході дослідження проведено аналіз базового технологічного процесу, за результатами якого обґрунтовано доцільність переходу від традиційного обладнання до верстатів із числовим програмним керуванням. Застосування ЧПК-обладнання забезпечує підвищення продуктивності обробки та покращення точності виготовлення деталей.

Відповідно до поставленої тематики виконано дослідження силових навантажень, що виникають у захватному пристрої промислового робота під час його функціонування у складі роботизованого верстатного комплексу. Розроблено розрахункові схеми для визначення сил затиску, створено відповідні аналітичні залежності, побудовано відповідні графіки та обґрунтовано формування практичних рекомендацій.

Графічні матеріали включають схеми механічної обробки, аналіз базового та модернізованого технологічних процесів, а також ілюстрації наукових аспектів, що відповідають темі дослідження.

Запропоновані зміни технологічного процесу підтверджені інженерними розрахунками та мають економічне обґрунтування.

Ключові слова: промислові роботи, захватні пристрої, сили затиску, технологічний процес.

ABSTRACT

for the final qualification work of the student of group PM-24M-3

Botov Bohdan Anatoliiovych

The qualification work has been completed in accordance with the topic “Investigation of Force Loads on Robot Gripping Devices in Machine Tool Complexes.” The work includes an explanatory report consisting of ____ pages and a graphic section containing 8 sheets of A4 format.

Within the research, an analysis of the basic technological process was carried out. Based on the obtained results, the feasibility of replacing traditional equipment with CNC machine tools has been substantiated. The use of CNC equipment ensures higher machining productivity and improved accuracy of manufactured parts.

In accordance with the stated topic, an investigation of the force loads arising in the gripping device of an industrial robot during its operation as part of a robotic machining complex was performed. Calculation schemes for determining clamping forces were developed, and an experimental setup was created to verify the analytical dependencies, construct the corresponding graphs, and formulate practical recommendations.

As part of the work, a prototype of the proposed robotic gripping device was manufactured, and its design is presented in the graphic section. The graphical materials also include machining schemes, analysis of the basic and modernized technological processes, as well as illustrations of scientific aspects relevant to the research topic.

The proposed modifications to the technological process are supported by engineering calculations and have economic justification.

Keywords: industrial robots, gripping devices, clamping forces, technological process.

Вступ	7
1. Загальна частина	
1.1. Постановка задачі та методи її вирішення	8
1.2. Роботизовані верстатні комплекси. Основні визначення	10
2. Дослідна частина	
2.1. Загальна методика визначення сил затиску в захватних пристроях робіт	21
2.2. Дослідження сил затиску для циліндричних деталей	25
2.3. Визначення мінімально необхідних сил затиску	33
2.4. Залежності сил затиску від конструктивних параметрів захватних пристроїв робіт	45
3. Технологічна частина	
3.1. Аналіз точності та технологічності заданої деталі	51
3.2. Аналіз діючого технологічного процесу	54
3.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення	57
3.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі	59
3.5. Розробка маршрутів виготовлення деталі	64
3.6. Вибір технологічних баз	68
3.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій	69
3.8. Вибір затискних пристроїв	80
3.9. Вибір ріжучих інструментів	81
3.10. Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів	82
3.11. Визначення припусків та операційних розмірів деталі	84
3.12. Визначення режимів різання	90
3.13. Технічне нормування операцій	98
4. Економічна частина	
4.1. Загальні вихідні дані	102
4.2. Визначення експлуатаційних витрат (собівартості обробки)	104
4.3. Розрахунок показників економічної ефективності	108
4.4. Аналіз варіантів технологічного процесу	108
4.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі	116
4.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників	119
Література	

Вступ

Автоматизоване виробництво є однією з ключових складових сучасної промисловості, оскільки забезпечує підвищення продуктивності, покращення якості продукції та оптимізацію виробничих процесів. Основні компоненти автоматизованих виробничих систем наведено нижче.

Промислові роботи. Робототехнічні системи виконують широкий спектр операцій — від зварювання, складання та фарбування до транспортування й пакування виробів. Роботи можуть функціонувати автономно або взаємодіяти з іншими елементами виробничих комплексів.

Системи управління виробництвом (MES). Такі системи забезпечують координацію та контроль процесів у режимі реального часу, охоплюючи планування, моніторинг ресурсів, управління якістю та аналіз продуктивності.

CAD/CAM-системи. Програмні комплекси CAD/CAM застосовуються для проєктування виробів і автоматизованого створення керуючих програм для верстатів із числовим програмним керуванням.

Переваги автоматизації: підвищення продуктивності, використання автоматизованих систем значно скорочує тривалість виробничих операцій і мінімізує простої, покращення якості продукції, висока точність та повторюваність операцій дозволяють зменшити кількість дефектів і стабілізувати параметри якості, зниження витрат, оптимізація використання матеріалів, ресурсів та зменшення частки ручної праці сприяють скороченню собівартості продукції, підвищення рівня безпеки, виконання небезпечних або шкідливих операцій передається автоматизованим системам, що зменшує ризики для працівників, нучкість виробництва. Автоматизоване виробництво є визначальним фактором підвищення конкурентоспроможності сучасних підприємств. Незважаючи на значні початкові витрати та складність інтеграції, впровадження таких систем забезпечує суттєве зростання ефективності, стабільності та гнучкості виробничих процесів.

1. Загальна частина

1.1. Постановка задачі та методи її вирішення

Мета роботи. Метою кваліфікаційної роботи є дослідження ефективності інтеграції промислових роботів у виробничий процес на прикладі виготовлення деталі типу вал-шестерня. Особливу увагу приділено обґрунтуванню доцільності використання робота на одній із технологічних операцій із подальшим підтвердженням цього рішення шляхом економічних розрахунків.

Актуальність теми. Промислові роботи є ключовим елементом сучасних автоматизованих виробництв, забезпечуючи виконання широкого спектра технологічних операцій і суттєво підвищуючи загальну ефективність підприємств. Основні напрями їх застосування включають:

1. Автоматизацію виробничих процесів. Складання вузлів - виконання високоточних операцій зі збирання механічних і електромеханічних систем. Зварювання - забезпечення стабільної якості швів, що є критичним для автомобільної, авіаційної та машинобудівної галузей. Фарбування - реалізацію рівномірного нанесення покриттів із мінімізацією відходів та поліпшенням якості поверхні.

2. Підвищення продуктивності та ефективності: забезпечення безперервного режиму роботи; зменшення кількості браку завдяки високій точності позиціонування та повторюваності операцій.

3. Скорочення виробничих витрат: оптимізацію витрат на робочу силу у довгостроковій перспективі; раціональне використання матеріалів завдяки точному дозуванню та контролю параметрів обробки.

4. Поліпшення умов праці: виконання роботом операцій, що пов'язані з ризиками для працівників; можливість роботи у важкодоступних, токсичних чи екстремальних середовищах.

5. Підвищення гнучкості виробництва: швидке переналагодження обладнання для виконання нових виробничих завдань; адаптація до змін попиту та номенклатури продукції.

6. Моніторинг і контроль якості: автоматизований контроль параметрів процесу; використання систем збору та аналізу даних для оптимізації виробничих режимів.

Інтеграція промислових роботів у машинобудівне виробництво сприяє підвищенню техніко-економічних показників, конкурентоспроможності та стабільності технологічних процесів.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт дослідження: промислові роботи, роботизовані технологічні комплекси та захватні пристрої. Предмет дослідження: економічні передумови та технічна ефективність використання промислових роботів, а також раціональність застосування захватних пристроїв.

Завдання роботи:

1. Визначити ключові аспекти ефективності впровадження промислових роботів.
2. Розробити технологічну операцію з інтеграцією робота у виробничий процес.
3. Провести економічне оцінювання доцільності використання робота.
4. Виконати силовий розрахунок для оптимізації роботи захватного пристрою.
5. Сформулювати узагальнюючі висновки та практичні рекомендації.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань застосовано методи обчислювальної математики, теорії автоматичного керування, робототехнічних систем, а також положення теоретичної та прикладної механіки.

Наукова новизна. Наукова новизна роботи полягає в комплексному аналізі технічної та економічної ефективності інтеграції промислового робота у виробничий процес, а також у дослідженні силових характеристик захватних пристроїв як одного з ключових факторів підвищення технологічної надійності та продуктивності.

Практична цінність. Створена методика дозволяє визначати мінімально допустимі сили затиску для надійного утримування деталей, оптимізувати конструкцію та масо-габаритні параметри захватного пристрою, забезпечуючи як економічну, так і технічну ефективність виробництва.

Апробація результатів. Основні результати та положення кваліфікаційної роботи були представлені на студентсько-викладацькій науковій конференції Центральноукраїнського національного технічного університету (ЦНТУ).

2.1. Роботизовані верстатні комплекси. Основні визначення

Роботизований верстатний комплекс (РВК) — це автоматизована виробнича система, яка об'єднує один або кілька металорізальних верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) та промислового робота, а також допоміжне обладнання (транспортні пристрої, накопичувачі, системи контролю, інструментальне господарство тощо), що забезпечує безперервне виконання технологічного процесу обробки деталей у автоматичному режимі.

До складу РВК зазвичай входять:

- металорізальні верстати з ЧПК, які виконують технологічні операції (токарні, фрезерні, свердлильні тощо);
- промисловий робот, що виконує операції завантаження, розвантаження, орієнтації та транспортування деталей;
- система керування, яка координує роботу всіх елементів комплексу;
- підсистеми забезпечення: системи подачі заготовок і відведення готових деталей, змащування, охолодження, діагностики, а також засоби контролю точності.

Основні визначення:

- автоматизований виробничий модуль (АВМ) — складова частина РВК, що об'єднує верстат з ЧПК та промислового робота з локальною системою керування.

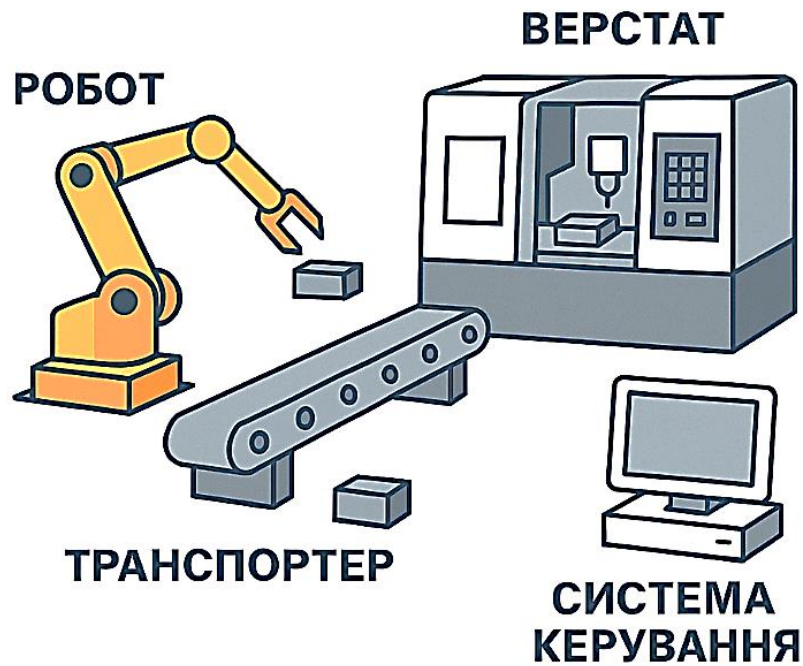


Рис.1.1. Загальна будова РВК

- робототехнічна система (РТС) — сукупність взаємопов’язаних роботів, технологічного обладнання та засобів керування, призначена для виконання комплексу виробничих операцій.

- автоматизована дільниця — група РВК або АВМ, об’єднаних у спільну систему керування для виконання взаємопов’язаних технологічних процесів.

Принципи функціонування РВК:

- автоматизація технологічних і транспортних операцій — усі дії з переміщення, обробки й контролю виконуються автоматично.

- програмне керування — основою роботи є система ЧПК і мікропроцесорне керування роботами.

- уніфікація і гнучкість — можливість переналаштування комплексу під різні типи деталей без суттєвих змін у конструкції.

- інтеграція з системами CAD/CAM/CAE — забезпечує єдиний інформаційний простір для проєктування, керування й аналізу виробничих процесів.

РВК застосовуються у серійному та дрібносерійному виробництві для:

- підвищення продуктивності праці;
- зменшення часу простоїв;
- забезпечення стабільної якості продукції;
- скорочення участі оператора у виробничому процесі;
- підвищення рівня безпеки праці.

РВК поділяють за кількома основними ознаками:

1. За кількістю верстатів

- одноверстатні РВК — складаються з одного верстата з ЧПК та одного промислового робота. *Приклад:* робот завантажує заготовку, подає її на обробку і знімає готову деталь.

- багатоверстатні РВК — один або кілька роботів обслуговують групу верстатів, організованих у виробничу комірку. *Приклад:* робот подає заготовки на три фрезерні верстати послідовно, забезпечуючи повний цикл обробки.

2. За рівнем автоматизації

- напіваавтоматичні РВК — частина операцій (наприклад, заміна інструменту або контроль) виконується вручну.

- повністю автоматичні РВК — усі операції, включаючи обробку, транспортування, контроль і складування, виконуються без участі оператора.

- гнучкі РВК (ГВК) — можуть швидко переналагоджуватися на виготовлення різних деталей завдяки зміні програми керування.

3. За типом промислового робота

- РВК з координатними роботами (портального типу);

- РВК з шарнірно-важільними роботами (антропоморфні, SCARA тощо);

- РВК з мобільними роботами (роботи на колісних або рейкових візках для транспортування між верстатами).

4. За функціональним призначенням

- токарні комплекси — для обробки тіл обертання;

- фрезерні комплекси — для площинної або просторової обробки;

- свердлильно-розточувальні комплекси — для формування отворів;
- універсальні комплекси — для виконання різних типів операцій з переналагодженням.

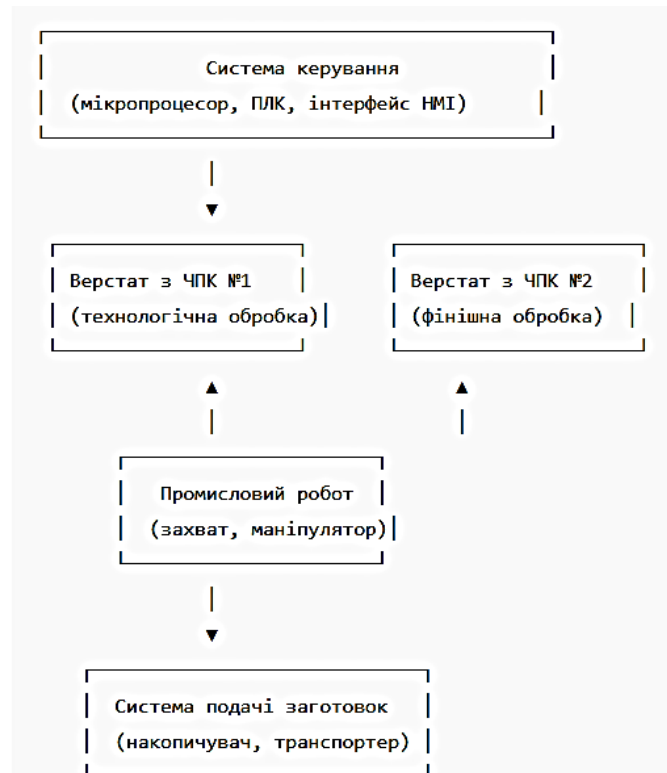


Рис.2.1. Структурна схема РВК

Порівняння РВК і традиційних автоматизованих ліній

Параметр	Роботизований верстатний комплекс (РВК)	Автоматизована лінія (АЛ)
Гнучкість	Висока, можливість переналагодження	Низька, розрахована на один тип деталей
Кількість верстатів	1–5 (локальна комірка)	10 і більше (послідовна структура)
Система транспорту	Роботи або маніпулятори	Конвеєри, транспортери
Програмування	Мікропроцесорне, адаптивне	Жорстке, рідко змінюване
Призначення	Серійне, дрібносерійне виробництво	Масове виробництво
Вартість переналагодження	Невелика, програмна зміна	Значна, механічна перебудова
Ефективність використання часу	Висока (робот працює безперервно)	Середня, простої через наладку

Розвиток і вдосконалення засобів автоматизації у машинобудуванні доцільно розглядати як процес, що відбувається у двох взаємопов'язаних напрямках. Перший із них передбачає створення систем автоматизації для

існуючого технологічного обладнання, яке експлуатується у промисловості, з метою підвищення ефективності його функціонування, зниження трудомісткості допоміжних операцій та стабілізації якісних показників виготовлюваної продукції.

Другий напрям пов'язаний із розробленням нових автоматизованих технологічних комплексів, у яких на системному рівні вирішуються питання підвищення продуктивності, точності, надійності та ступеня автоматизації технологічних операцій. При цьому особлива увага приділяється забезпеченню необхідної та економічно обґрунтованої гнучкості таких комплексів, що забезпечує можливість швидкої переналагоди під змінні виробничі умови і структуру номенклатури деталей.

Відомо, що на базі сучасних промислових роботів (ПР) створено значну кількість роботизованих технологічних комплексів (РТК), призначених для автоматизації процесів механічної обробки. Такі комплекси відрізняються значною конструктивною різноманітністю, яка визначається не лише типом і розмірами обслуговуваного верстата, а й характеристиками робота, видом допоміжних пристроїв, їх конструкційними особливостями, компоновальними схемами та вимогами до технологічного середовища. Доцільно зазначити, що правильне компоновальне рішення РТК безпосередньо впливає на продуктивність, точність позиціонування та зручність експлуатації комплексу.

Як приклад, на рис. 3.1 наведено схему токарного роботизованого технологічного комплексу, виконаного на базі порталного промислового робота з двозахватним пристроєм і накопичувачем заготовок, розміщеним із торцевого боку верстата. Така компоновка характеризується раціональним використанням виробничої площі, зручним доступом до обладнання для технічного обслуговування та підвищеним рівнем ергономічності робочої зони. Практичний інтерес становить також можливість застосування подібних схем у гнучких виробничих системах, де забезпечується висока адаптивність технологічного процесу до змін у виробничому середовищі.



Рис.3.1. Токарний
роботизований технологічний
комплекс SL-20APL



Рис.4.1. Роботизований комплекс
АТМ 003

На рис. 4.1 наведено варіант роботизованого технологічного комплексу (РТК), у складі якого застосовано промисловий робот «Fanuc-1», що здійснює обслуговування двох токарних верстатів. Робот встановлено на підлозі виробничої дільниці, що забезпечує його стійкість, зручність доступу та оптимальну траєкторію переміщення маніпулятора між робочими позиціями. Заготовки та готові деталі розміщуються у спеціальному багатопозиційному пристрої, який забезпечує упорядковане зберігання та подачу елементів у зону обслуговування.

Інший приклад конструктивного рішення представлено на рис. 5.1, де показано роботизований токарний комплекс із промисловим роботом «Електроніка НЦТМ-01», змонтованим безпосередньо на шпиндельній коробці верстата. Таке компоновальне рішення є технічно доцільним і раціональним, оскільки не потребує додаткової виробничої площі, водночас забезпечує зручність спостереження за роботою обладнання та його оперативне налагодження. Подача заготовок і відведення оброблених деталей здійснюється за допомогою спеціальної касети, яка автоматично подається в робочу зону верстата, що сприяє підвищенню рівня автоматизації та стабільності технологічного процесу.

Оригінальним прикладом конструктивного виконання є роботизований технологічний комплекс (РТК), у складі якого промисловий робот «РБ-242» закріплений на передній частині станини верстата (рис. 6.1). Така компоновка

забезпечує компактність, скорочення довжини робочих переміщень та зручність інтеграції робота у структуру верстата.



Рис.5.1. Токарний
роботизований технологічний
комплекс



Рис.6.1. Токарний
роботизований комплекс

Робот здійснює два обертальні та один поступальний рух руки, за допомогою яких переміщується двозахватний пристрій для маніпулювання заготовками й готовими деталями. Заготовки та оброблені вироби розташовуються на позиціях тактового столу, що забезпечує їх послідовну подачу у зону обробки та відведення після виконання технологічної операції. Така конструкція сприяє підвищенню компактності, точності позиціонування і зменшенню часу допоміжних переміщень, що в цілому покращує ефективність функціонування комплексу.

Одним із прикладів спеціалізованих роботизованих технологічних систем є комплекс, виконаний на базі круглошліфувального верстата з порталним дворуком промисловим роботом (рис. 7.1). Така компоновка забезпечує високий рівень продуктивності, оскільки кожна рука робота функціонує незалежно та обслуговує власний накопичувач заготовок, розташований по торцях верстата. Це дозволяє здійснювати безперервне завантаження і розвантаження деталей, мінімізуючи допоміжний час між операціями. Спільною особливістю наведених та інших типів роботизованих верстатних технологічних комплексів (РТК) із промисловими роботами є те, що переважна більшість з них призначена для роботи з деталями обертання, які становлять

основну частку номенклатури продукції машинобудівного виробництва. Такий підхід зумовлений як технологічною доцільністю, так і економічною ефективністю автоматизації операцій обробки тіл обертання, що відзначаються повторюваністю форм, стабільністю розмірів і широким розповсюдженням у різних галузях промисловості.

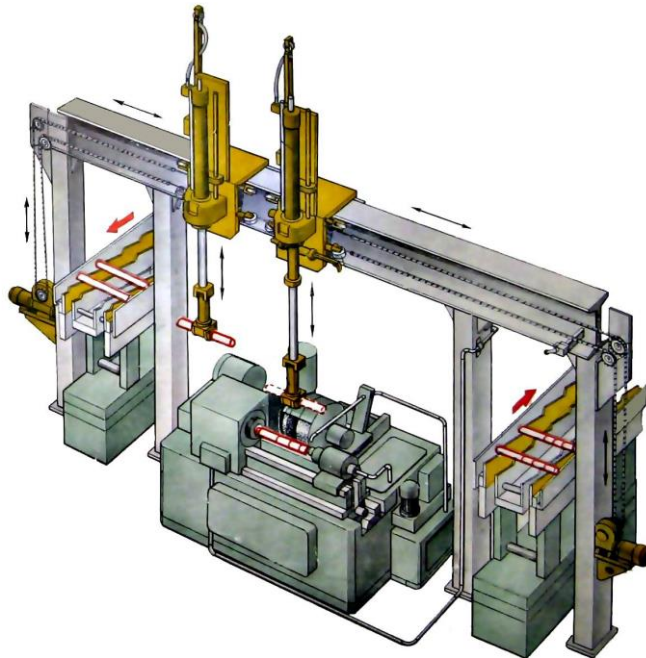


Рис.7.1. Шліфувальний роботизований комплекс

З іншого боку, при завантаженні та розвантаженні металорізальних верстатів у переважній більшості випадків застосовуються промислові роботи з механічними захватними пристроями, що є найбільш поширеним типом виконавчих систем для подібних технологічних завдань. Простота конструкції, надійність і універсальність механічних захватів забезпечують їх широке використання в автоматизованих виробничих комплексах різних галузей машинобудування.

Суттєвих досягнень у створенні, серійному виробництві та впровадженні промислових роботів досягли провідні технічно розвинені країни, де роботизація промислового виробництва набуває масового характеру. Так, у Сполучених Штатах Америки активно експлуатуються такі відомі моделі роботів, як «Versatran», «Unimate», «Prab-4200H», «Mark II», «S-900» та інші. Особливо інтенсивно процес упровадження робототехнічних систем

відбувається у Японії, де провідними є компанії-виробники «*Fanuc*», «*Kuka*», «*Mitsubishi*», «*Unimate Ltd*», «*Tokye Keiki*», «*AM-3*», «*Robitus-RS*» та ін. Серед європейських розробок варто відзначити «*ABB*» і «*Bosch*» (Німеччина), «*Electrolux*» (Швеція), «*Hawker Siddeley*» (Велика Британія), «*Tralffa*» (Норвегія), «*Пирин*» (Болгарія), «*Sigma*» (Італія) та інші.

На рис. 8.1–11.1 наведено приклади деяких із зазначених моделей промислових роботів, які знайшли широке застосування у складі роботизованих верстатних технологічних комплексів різного призначення.



Рис.8.1. Промисловий робот RV6L «Reis» (Німеччина)



Рис.9.1. Промисловий робот MX-420L «Kawasaki» (USA)



Рис.10.1. Промисловий робот Kuka KR-10 «Scara robots» (Японія)

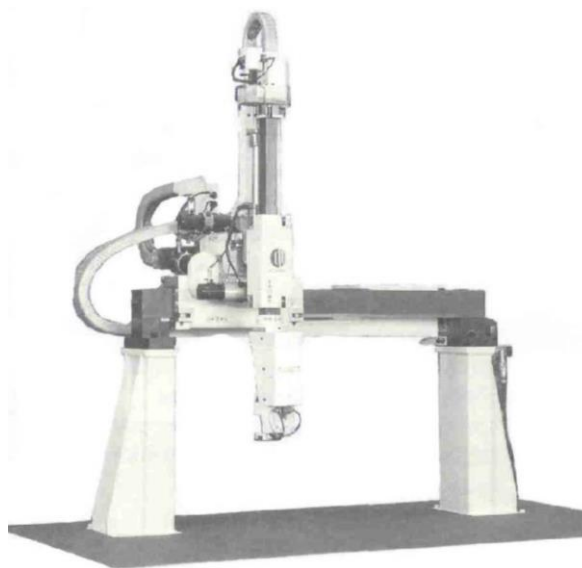


Рис.11.1. Промисловий робот MAST CV0.06 (Італія)

Сучасні конструкції промислових роботів відзначаються значною різноманітністю за виконанням і компоновальними схемами. Залежно від технологічного призначення та умов експлуатації, роботи можуть встановлюватися на підлозі з різних боків верстата, який вони обслуговують (рис. 8.1, 9.1), монтуватися безпосередньо на самому верстаті (рис. 10.1) або розташовуватися над ним у вигляді порталних систем (рис. 11.1). Переважна більшість таких роботів конструктивно виконана з однією рукою та одним захватним пристроєм (рис. 8.1 та ін.). Водночас останніми роками все більшого поширення набувають дворукі та багаторукі роботи, оснащені двозахватними або багатозахватними механізмами, що дає змогу істотно підвищити продуктивність їх функціонування.

Промислові роботи також розрізняються за типом системи координат, у межах якої вони здійснюють рухи, а також за основними технічними характеристиками — вантажопідйомністю, типом приводу, системою керування, кількістю ступенів рухомості, швидкістю позиціонування та точністю виконання операцій. Така варіативність дозволяє ефективно адаптувати робототехнічні системи до широкого спектра технологічних процесів.

Ефективність автоматизації виробництва за рахунок упровадження промислових роботів може бути досягнута лише за умови комплексного підходу до створення та впровадження роботизованих систем, який передбачає узгоджену розробку оброблювального устаткування, засобів керування, допоміжних механізмів і пристроїв. Проведення масштабних організаційно-технологічних заходів для одиничного впровадження промислового робота є економічно недоцільним. Тільки широкомасштабне використання роботів у складі комплексних роботизованих систем може бути технічно, економічно та соціально виправданим.

Порівняно з традиційними засобами автоматизації, застосування промислових роботів забезпечує вищу гнучкість технічних і організаційних рішень, скорочує терміни підготовки та введення у дію гнучких

автоматизованих систем. У результаті підвищення продуктивності праці відбувається зниження собівартості виготовлення деталей, що безпосередньо сприяє зменшенню їх ринкової вартості.

Використання роботизованих технологічних комплексів (РТК) на всіх етапах технологічного процесу обробки деталей дозволяє досягти максимальної продуктивності та мінімальної собівартості виготовлення продукції. Крім того, впровадження таких систем сприяє усуненню важкої ручної праці оператора, замінюючи її функцією контролю та керування роботою комплексу, що істотно покращує умови праці та підвищує її безпеку.

Роботизовані верстатні комплекси є ключовою складовою сучасних гнучких виробничих систем. Вони поєднують високу точність і швидкодію верстатів з ЧПК із автономністю та адаптивністю промислових роботів. Такі комплекси створюють основу “розумного виробництва” (Smart Factory) у концепції Індустрії 4.0, де людина виконує переважно функції контролю й аналітики, а основні операції виконуються автоматично.

2. Дослідна частина

2.1. Загальна методика визначення сил затиску в захватних пристроях роботів

Методика визначення сил затиску в двосторонньому призматичному захватному пристрої для циліндричних деталей

1. Призначення. Призматичні захватні пристрої промислових роботів призначені для затиску, утримання та транспортування циліндричних деталей. У випадку горизонтального розташування руки робота деталь утримується двома симетричними призматичними губками, що контактують із деталлю з протилежних боків. Така схема забезпечує:

- осьове вирівнювання деталі;
- стабільне положення під час транспортування;
- рівномірний розподіл сил затиску.

2. Вихідні дані. Для розрахунку сил затиску необхідно задати:

- масу деталі (m);
- прискорення переміщення (a);
- кут призми (2α) (зазвичай $90^\circ \rightarrow \alpha = 45^\circ$);
- коефіцієнт тертя між деталлю і губками (μ);
- коефіцієнт запасу міцності ($k = 1,5 \dots 3$);
- силу інерції ($F_{\text{ін}} = m a$);
- можливу технологічну силу ($F_{\text{тех}}$);
- розташування деталі у просторі — горизонтальне.

3. Розрахункова схема та принцип дії. У горизонтальному положенні робота призми обох губок симетрично затискають деталь із боків. Сили діють наступним чином:

- кожна губка прикладає силу затиску (F_z);
- у місцях контакту виникають нормальні реакції (N_1) і (N_2);
- сила тертя ($F_{\text{тр}} = \mu N$) протидіє спробі деталі вислизнути вниз;
- зовнішня сила ($F_{\text{зовн}}$) діє вертикально (вага або інерційне навантаження під час руху).

4. Умова рівноваги. Для утримання деталі сила тертя на обох призмах повинна компенсувати дію ваги та інерційних сил:

$$2F_{\text{тр}} \cos \alpha \geq k F_{\text{зовн}}$$

Підставивши $F_{\text{тр}} = \mu F_z \cos \alpha$:

$$2\mu F_z \cos^2 \alpha \geq k F_{\text{зовн}}$$

5. Розрахункова формула

Мінімальна сила затиску однієї губки:

$$F_z \geq \frac{k F_{\text{зовн}}}{2\mu \cos^2 \alpha}$$

де

- $F_{\text{зовн}} = m(g+a) + F_{\text{тех}}$;
- μ — коефіцієнт тертя;
- α — половина кута призми;
- k — коефіцієнт запасу.

6. Переваги двостороннього призматичного захвату

- забезпечує надійну фіксацію циліндричних деталей з можливістю самоцентрування;
- мінімізує перекося й забезпечує високу точність позиціонування;
- конструкція придатна для робіт із горизонтальною віссю маніпулятора (наприклад, підйом/переміщення деталей між верстатами).

7. Уточнена методика розрахунку захватного пристрою з пневмоприводом, призматичними губками та горизонтальним розташуванням

7.1. Конструктивна характеристика

Показаний на рисунку (рис.1.2) захватний пристрій складається з трьох основних функціональних вузлів:

1. Пневмопривід (1–6) — створює осьове зусилля від тиску стисненого повітря.

2. Передавальний механізм (7–11) — перетворює поступальний рух поршня у кутове переміщення затискних важелів (12–15).

3. Захоплювальні губки — мають призматичну форму, призначену для надійного затиску циліндричних деталей.

Таким чином, робоче зусилля пневмоприводу передається через систему важелів і проміжних передач на обидві губки, які симетрично охоплюють деталь із протилежних сторін.

7.2. Схема сил і принцип дії

У момент затиску циліндричної деталі між двома призматичними губками створюються сили:

- F_z — сила затиску, прикладена до деталі з боку кожної губки;
- N — нормальна реакція площини призми, напрямлена до центра деталі;
- $F_{тр} = \mu N$ — сила тертя, що протидіє переміщенню деталі;
- $F_{зовн}$ — зовнішнє навантаження (вага, інерція, технологічні сили).

Для горизонтально розташованого захвату умова рівноваги має вигляд:

$$2\mu F_z \cos 2\alpha \geq k F_{зовн}$$

а звідси:

$$F_z \geq \frac{k F_{зовн}}{2\mu \cos^2 \alpha}$$

де α — половина кута призми (зазвичай 45°), $\mu=0,15\dots0,3$.

7.3. Передача зусилля від пневмоприводу до губок

Пневмоциліндр створює силу:

$$F_p = pA$$

де p — тиск повітря в пневмосистемі,

A — ефективна площа поршня.

Через систему важелів (передаточне відношення i) отримуємо:

$$F_z = \eta i F_p$$

де

$\eta = 0,8\dots0,9$ — коефіцієнт корисної дії механічної передачі,

i — передаточне відношення механізму важелів (залежить від кута повороту та довжин ланок).

Отже, при проектуванні слід забезпечити:

$$\eta p A \geq \frac{k F_{\text{зовн}}}{2 \mu \cos^2 \alpha}$$

7.4. Особливості розрахунку для цієї конструкції

- Враховується зменшення ефективної сили через втрати в шарнірах і передачах.
- Якщо губки довгі (великий виліт), необхідно враховувати момент згину та пружну деформацію.
- Для утримання тонкостінних циліндричних деталей слід проводити перевірку за допустимими контактними напруженнями.

7.5. Переваги конструкції

- Компактність і симетричне розташування губок забезпечують стабільний захват у горизонтальному положенні.
- Пневмопривід дозволяє швидке спрацювання та регулювання сили затиску тиском повітря.
- Наявність проміжних важелів забезпечує підсилення зусилля при збереженні плавності руху.

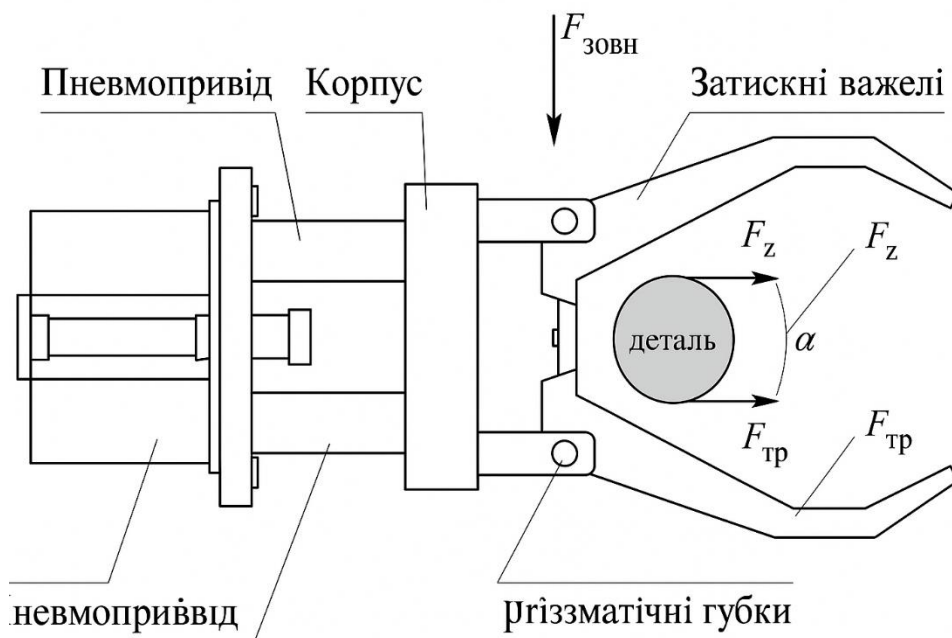


Рис.1.2. Розрахункова схема

2.2. Дослідження сил затиску для циліндричних деталей

2.2.1. Особливості затиску циліндричних деталей призматичними захватними пристроями

Призматичні (V-подібні) губки дуже зручні для роботи з циліндричними деталями, бо вони самоцентрують деталь у площині захоплення. Але це самоцентрування є умовним і коректно працює лише тоді, коли діаметр деталі відповідає закладеному (номінальному) для цього захвата. Якщо ж фактичний діаметр відрізняється від номінального, то відбувається зміщення осі деталі відносно розрахункового положення, і це може давати похибку установа.

1. Номінальний діаметр

Коли в захват подається деталь номінального діаметра (d_n), її циліндрична поверхня спирається на обидві площини призми в розрахункових точках. Вершини (ребра) обох призм при цьому мають одне й те саме положення, а вісь деталі проходить по проєктній (розрахунковій) лінії. У цьому випадку похибка по висоті не виникає або є мінімальною (тільки від зазорів і пружних деформацій).

2. Діаметр менший за номінальний

Якщо деталь має діаметр менший за номінальний ($d < d_n$), її циліндрична поверхня “провалюється” глибше між площинами призми. Геометрично це означає, що вершини призм відносно осі деталі зміщуються донизу, або, що те саме, — вісь деталі опускається нижче розрахункової. Чим менший діаметр (за фіксованого кута призми), тим нижче сяде деталь. Це важливо для робіт, які подають деталь у верстат або в кондуктор: заниження осі призводить до того, що деталь може не співпасти з патроном/отвором/центром.

3. Діаметр більший за номінальний

Якщо деталь має діаметр більший за номінальний ($d > d_n$), то циліндр зачіпає призматичні площини вище, ближче до їх вершин. У цьому випадку вісь деталі зміщується уверх відносно розрахункового рівня. Для точних

операцій це так само небажано, бо робот “думає”, що він тримає деталь на нульовій висоті, а насправді вона піднята.

4. Чому це дає похибку

- призматичний захват у цій схемі не є ідеальним самоцентратором по висоті, він фіксує тільки кутове положення;
- зміна діаметра → зміна глибини посадки → зміна координати осі;
- при роботизованій подачі деталі в пристрої з жорстким розташуванням осі це дає систематичну похибку;
- чим більший кут призми (90°) — тим виразніший ефект.

Тому для роботизованих комплексів, які працюють з номенклатурою діаметрів, часто:

- або роблять змінні вкладиші (втулки) у призмах;
- або застосовують еластичні накладки, що частково компенсують різницю;
- або переміщують сам захват/робота по висоті за даними датчиків.

Що з цим робити в розрахунку

1. Увести допуск на діаметр деталі у вхідні дані.
2. Розрахувати зміщення осі як функцію діаметра і кута призми: що менший діаметр → тим ближче точка дотику до вершини → тим нижче центр.
3. Перевірити допустиму похибку позиціонування для операції (наприклад, подача в патрон токарного верстата має свій допуск).
4. Якщо зсув перевищує допустимий — застосувати центрувальну втулку / підкладку / змінну призму.

Визначення відзначених сил повинно базуватися на врахуванні всіх особливостей утримування транспортованих деталей при призматичному конструктивному виконанні захватного пристрою. Додатковою умовою розрахунку є просторове його розміщення. Найбільш типові варіанти – це вертикальне та горизонтальне розміщення. На прикладі вертикального розміщення захвату розглянемо дане питання. При складанні розрахункової

схеми необхідно також враховувати особливості утримування деталей захватним пристроєм. Найбільш прийнятним є затиск деталі такого розміру, коли вершини затискних призм співпадають з віссю деталі (рис.2.2,а).

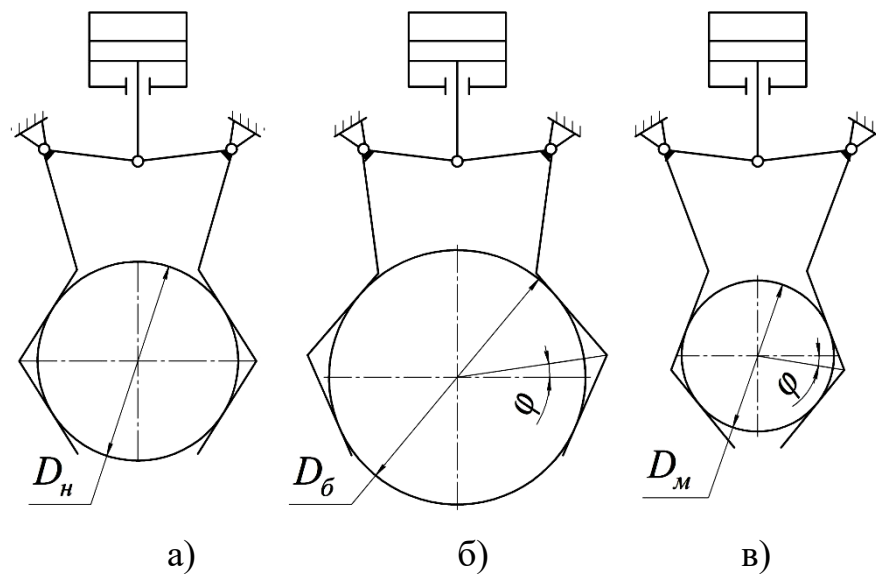


Рис.2.2. Типові умови затиску деталі

2.2.2. Особливості визначення сил затиску при призматичному утриманні циліндричних деталей

Визначення діючих сил у призматичних захватних пристроях повинно виконуватися з урахуванням усіх особливостей утримання транспортованих циліндричних деталей, а також просторової орієнтації самого захвату. Це пов'язано з тим, що напрямки сили тяжіння, інерційні сили, а також положення осі деталі відносно губок змінюють умови рівноваги та величину необхідної сили затиску.

1. Просторове розміщення захватного пристрою

У практиці робототехнічних систем найчастіше зустрічаються два варіанти розташування призматичних захватів:

- вертикальне: коли вісь деталі збігається або паралельна напрямку сили тяжіння;
- горизонтальне: — коли деталь утримується в площині, перпендикулярній силі тяжіння.

У кожному випадку напрям дії зовнішніх сил (зокрема, ваги та інерційних) відносно площин призми буде іншим, що впливає на розрахункову схему.

2. Приклад вертикального розташування

Розглянемо випадок вертикального розміщення захвату, який є типовим для роботів, що виконують завантаження або розвантаження деталей у патрони верстатів.

При складанні розрахункової схеми необхідно враховувати:

- положення осі деталі відносно вершин призм;
- напрямок сили тяжіння;
- симетричність прикладення зусиль від губок;
- можливий нахил або зміщення осі деталі при різних діаметрах.

Для номінального діаметра деталі (тобто такого, під який спроектований захват) вершини обох призм збігаються з віссю деталі. Це положення вважається еталонним (базовим), оскільки забезпечує мінімальну похибку позиціонування та рівномірний розподіл контактних зусиль між губками.

3. Вплив відхилення діаметра на умови утримання

Якщо фактичний діаметр відрізняється від номінального:

- при меншому діаметрі деталь “провалюється” у призми: вершини призм зміщуються вниз, а вісь деталі опускається;
- при більшому діаметрі губки розходяться — вершини призм зміщуються вгору, а вісь деталі піднімається.

У результаті змінюється не лише геометричне положення деталі, а й напрямок та величина сил нормального тиску і тертя, які утримують деталь у рівновазі.

Це може призвести до похибки у позиціонуванні під час передачі деталі між роботизованим захватом і пристроєм верстата.

4. Висновок

Такі зміщення особливо критичні у випадках:

- коли деталь має малу довжину або високі вимоги до співвісності (наприклад, при подачі валів, гільз, підшипників у верстат);
- при високих прискореннях переміщення робота, коли навіть невелике зміщення осі викликає динамічні коливання деталі.

Для компенсації цих ефектів у промислових роботах часто застосовують:

- еластичні або змінні накладки на призмах;
- самоцентрувальні механізми у затискних вузлах;
- або сенсорні системи контролю діаметра перед захопленням.

5. Приклад практичного застосування

На виробництві, наприклад, при завантаженні токарного верстата робот може працювати з деталями різних діаметрів ($\varnothing 30 \dots \varnothing 40$ мм). Якщо захват розрахований на $\varnothing 35$ мм, то при захопленні деталі $\varnothing 30$ мм центр зміститься вниз приблизно на 2,5–3 мм, що достатньо, щоб викликати зміщення осі при подачі в патрон.

Щоб цього уникнути, у налаштування програми робота вводиться корекційне значення по осі Z, або використовуються губки з пружними компенсаторами.

Таким чином, під час визначення сил затиску та побудови розрахункової схеми для призматичних захватних пристроїв необхідно враховувати не лише дію зовнішніх сил, а й вплив геометричних і кінематичних відхилень — особливо при вертикальному розташуванні.

Найбільш надійним вважається положення, коли вершини призм співпадають з віссю деталі, що забезпечує стабільність контакту та мінімальні похибки у позиціонуванні.

2.2.3. Геометрична модель зміщення осі

Візьмемо призматичний (V-подібний) затиск з кутом між площинами 2α і циліндричну деталь діаметром D (радіус $r = D/2$), що спирається на вершину призми.

Для такого контакту висота центра деталі над вершиною призми дорівнює

$$h = \frac{r}{\sin \alpha} = \frac{D/2}{\sin \alpha} = \frac{D}{2 \sin \alpha}$$

Це базова формула. Якщо захват спроектований на номінальний діаметр (D_n), то “розрахункова” висота центра буде

$$h_n = \frac{D_n}{2 \sin \alpha}$$

Якщо фактичний діаметр відрізняється від номінального (більший чи менший), то нова висота центра:

$$h_f = \frac{D}{2 \sin \alpha}$$

Тоді зміщення осі дорівнює:

$$\Delta h = h_f - h_n = \frac{D - D_n}{2 \sin \alpha}$$

- якщо ($D > D_n \rightarrow \Delta h > 0$) $\rightarrow$ центр піднявся;

- якщо ($D < D_n \rightarrow \Delta h < 0$) $\rightarrow$ центр опустився.

Тобто формула проста й дуже зручна: зміна висоти прямо пропорційна різниці діаметрів і обернено пропорційна ($\sin \alpha$). Чим більший кут призми (менший α), тим сильніше відчутно навіть малу зміну діаметра.

2.2.4. Приклад розрахунку

Нехай:

- кут призми: $2 \alpha = 90^\circ \rightarrow \alpha = 45^\circ$;

- $\sin 45^\circ = 0,7071$;

- номінальний діаметр: $D_n = 50 \text{ мм}$.

1) Номінальний випадок

$$h_n = \frac{50}{2 \cdot 0,7071} \approx \frac{50}{1,4142} \approx 35,36 \text{ мм}$$

2) Деталь менша: $D = 46 \text{ мм}$

$$\Delta h = \frac{46 - 50}{2 \cdot 0,7071} = \frac{-4}{1,4142} \approx -2,83 \text{ мм}$$

Отже, вісь деталі опустилась приблизно на 2,8 мм.

3) Деталь більша: $D = 54 \text{ мм}$

$$\Delta h = \frac{54 - 50}{2 \cdot 0,7071} = \frac{4}{1,4142} \approx 2,83 \text{ мм}$$

Тут вісь, відповідно, піднялась на ті ж $\sim 2,8 \text{ мм}$.

2.2.5. Як це врахувати в розрахунку сил

Формула сили затиску для призми ми вже виводили:

$$F_z \geq \frac{k F_{\text{зовн}}}{2 \mu \cos^2 \alpha},$$

але вона припускає, що лінія дії сил від губок проходить так, як у розрахунковій схемі. Якщо ж вісь деталі змістилась на Δh , то: 1) змінюється плече зовнішньої сили відносно точки опори губок $\rightarrow$ може з'явитися додатковий момент; 2) змінюється кут контакту $\varphi \rightarrow$ фактично змінюється проєкція нормальної сили на напрямок утримання.

Тому для точного розрахунку можна зробити так: 1). обчислити Δh за формулою вище; 2) за геометрією визначити новий кут дотику φ ; 3) у формулу замість $\cos \alpha$ підставити $\cos (\alpha \pm \varphi)$ — залежно від того, у який бік розвернулась призма.

У спрощеному вигляді (коли відхилення діаметра невелике) достатньо: врахувати Δh як похибку позиціонування; а силу затиску залишити з запасом $k = 2 \dots 3$, щоб компенсувати зміну проєкції сил.

3.6. Висновки

Слід зазначити, що при призматичному затиску циліндричних деталей навіть незначне відхилення фактичного діаметра від номінального призводить до зміни висоти розташування осі деталі над вершиною призми. Величину цього зміщення можна визначити з простої геометричної залежності

$$\Delta h = \frac{D - D_n}{2 \sin \alpha},$$

де (D) — фактичний діаметр деталі, (D_n) — номінальний діаметр, α — половина кута призми. Позитивне значення Δh відповідає підвищенню осі деталі, негативне — її заниженню. Отже, при проектуванні роботизованих захватів для роботи з деталями різних діаметрів доцільно або обмежувати допуск на діаметр, або вводити компенсуючі пристрої (змінні вкладиші, еластичні накладки, регульований захват), що забезпечують сталість положення осі.

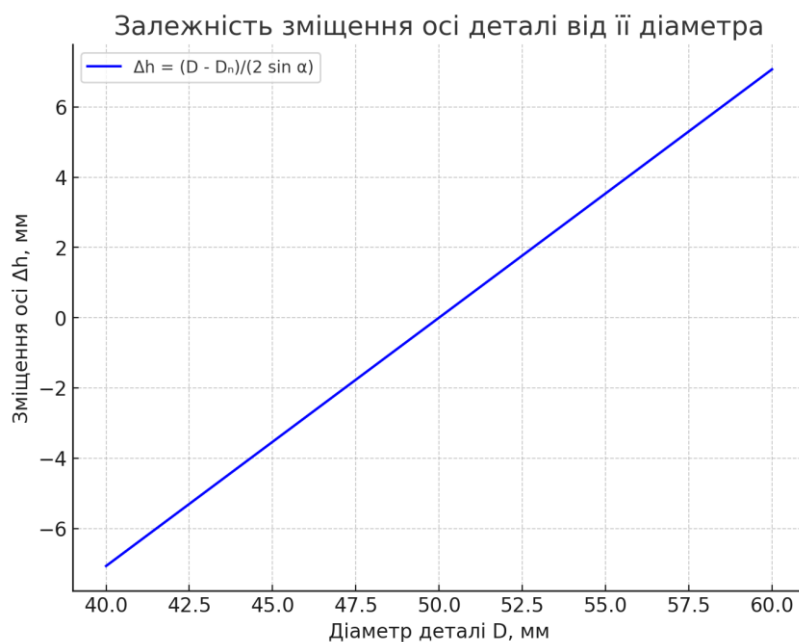


Рис.2.3. Вплив зміни діаметра деталі на її зміщення у захватному пристрої
робота

Графік (рис.2.3.) демонструє лінійний характер зміни висоти осі циліндричної деталі при відхиленні її фактичного діаметра від номінального. При збільшенні діаметра вісь деталі піднімається, при зменшенні — опускається. Похибка зростає зі зменшенням кута призми.

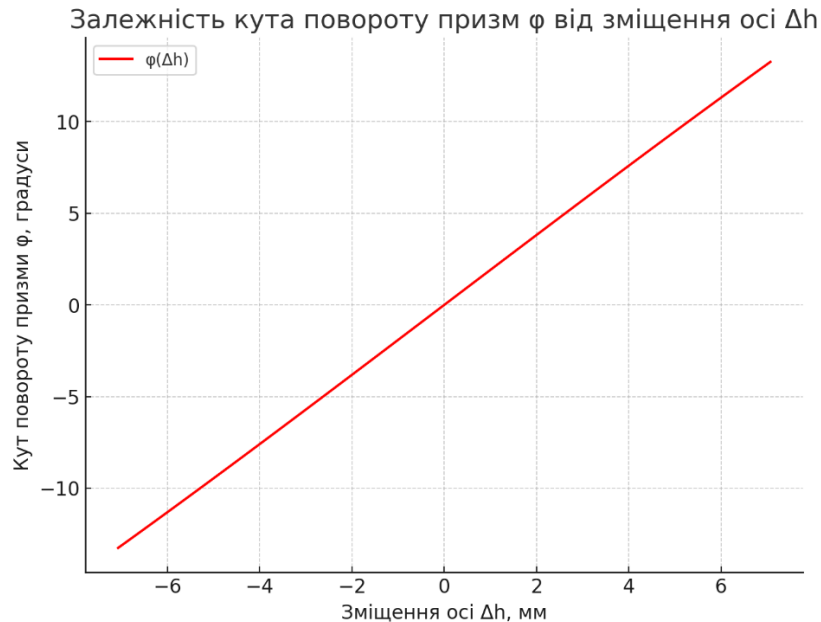


Рис.2.4. Вплив кута повороту вершини затискної призми на зміщення деталі в захватному пристрої

При зміщенні осі деталі вгору або вниз відносно розрахункового положення змінюється положення затискних важелів. Залежність носить близький до лінійного характер, що свідчить про пряму кінематичну відповідність між зміщенням центра деталі та кутом повороту призми.

2.3. Визначення мінімально необхідних сил затиску

2.3.1. Поняття мінімальних сил затиску

Актуальність дослідження процесів затиску в захватних пристроях промислових роботів зумовлена зростанням вимог до точності, надійності та стабільності виконання технологічних операцій у сучасних автоматизованих виробництвах. Саме захватний пристрій є ключовою ланкою між маніпуляційною системою робота та об'єктом праці — деталлю, яку необхідно утримувати, позиціонувати або переміщати в просторі. Неправильне визначення або недооцінка сил затиску може призвести до зриву деталі, пошкодження її поверхні, зниження точності позиціонування, а в окремих випадках — до виходу з ладу всього технологічного комплексу. Точний розрахунок сил затиску дозволяє забезпечити оптимальне співвідношення між надійністю утримання та мінімізацією деформацій деталі. Це особливо важливо

при роботі з тонкостінними або крихкими заготовками, де надлишкові сили затиску можуть спричинити їхню втрату форми чи появу залишкових напружень. З іншого боку, недостатня сила затиску створює ризик втрати контакту деталі із захватом під дією інерційних навантажень, вібрацій або змін положення в процесі виконання операцій. Визначення мінімально необхідних сил затиску дозволяє не лише підвищити точність і якість роботи промислових роботів, а й оптимізувати енергоспоживання їхніх приводів. Зменшення надлишкових сил веде до економії енергії, зниження навантажень на конструктивні елементи захвату, збільшення ресурсу роботи пружних елементів і виконавчих механізмів. Такі розрахунки є основою для створення інтелектуальних систем керування захватами, які автоматично адаптують силу затиску до маси, геометрії та властивостей поверхні деталі.

Отримані результати дослідження можуть бути використані при проектуванні нових типів захватних пристроїв, розрахунку виконавчих механізмів приводів затиску, а також при моделюванні динамічних процесів у системі «робот – захват – деталь». Таким чином, задача визначення сил затиску є невід’ємною складовою інженерного забезпечення ефективної та безпечної роботи робототехнічних комплексів, що виконують транспортно-технологічні, монтажні або обробні операції.

2.3.2. Огляд існуючих способів визначення та контролю сил затиску

Аналіз сучасних публікацій і технічних рішень показує, що в промисловій робототехніці застосовується кілька підходів до вимірювання й підтримання сили затиску, які відрізняються складністю, точністю та сферою застосування.

Пряме датчикове вимірювання сили на пальцях/призмах (рис.2.5)

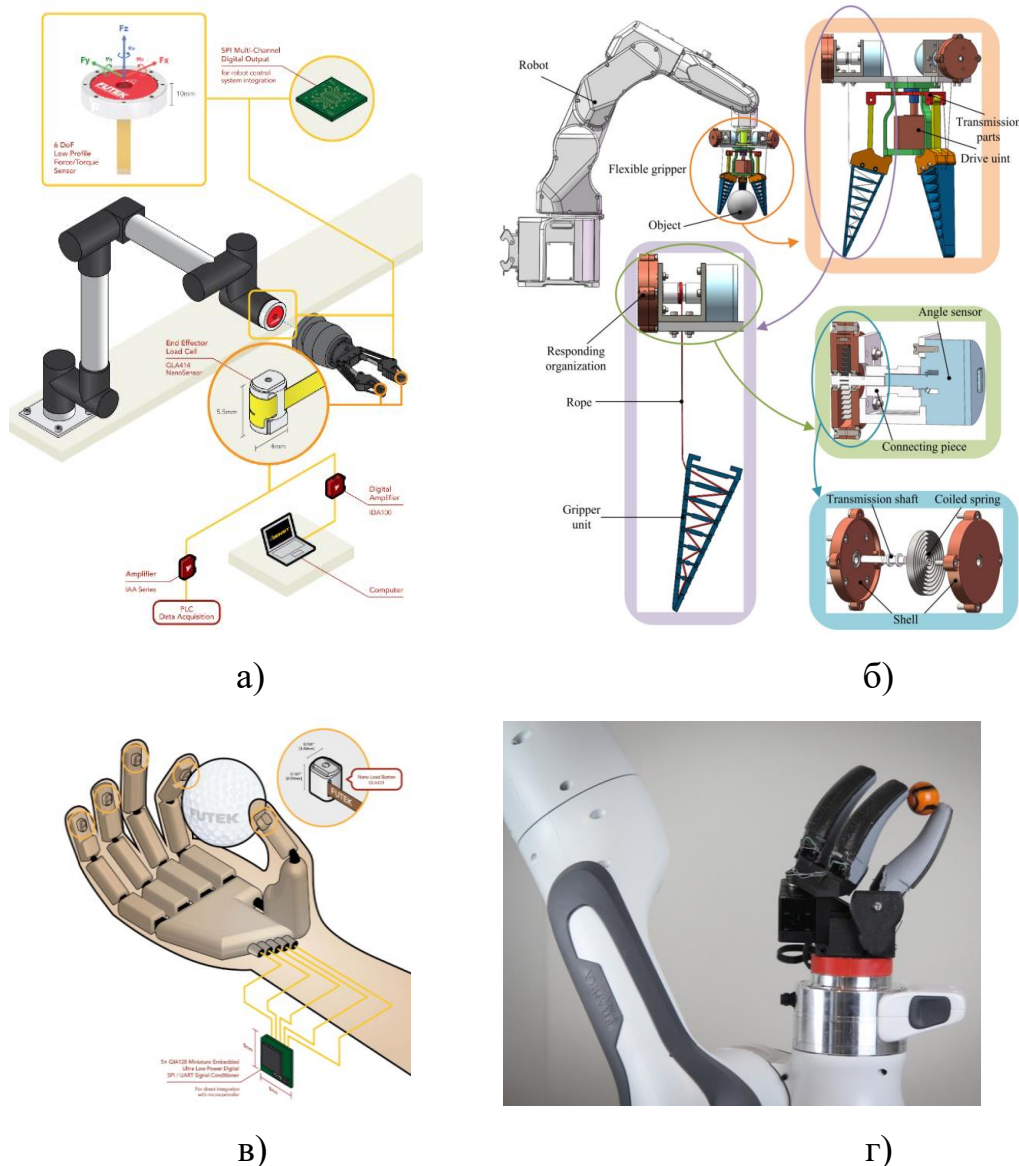


Рис.2.5. Вимірювання сил затиску датчиками безпосередньо на затискних елементах

Найочевидніший шлях — встановлення тензодатчиків або силових комірок безпосередньо в пальцях або призмах захвату. Такі системи вимірюють прикладену силу в момент затиску й передають її в систему керування, що дозволяє адаптувати зусилля під конкретну деталь. Це підходить, коли об'єкт чутливий (крихкий) або при високій змінності геометрії. ([Sensors & Gauges][1])

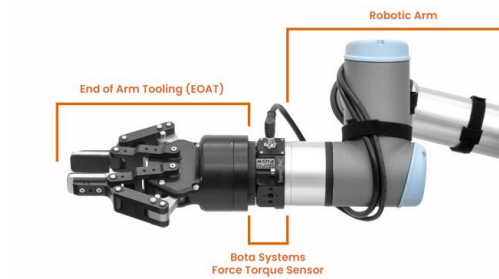
Вимірювання сили/моменту на зап'ясті робота (6-осьові F/T-сенсори) (рис.2.6).



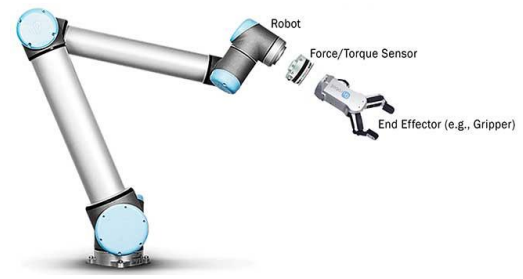
a)



б)



в)

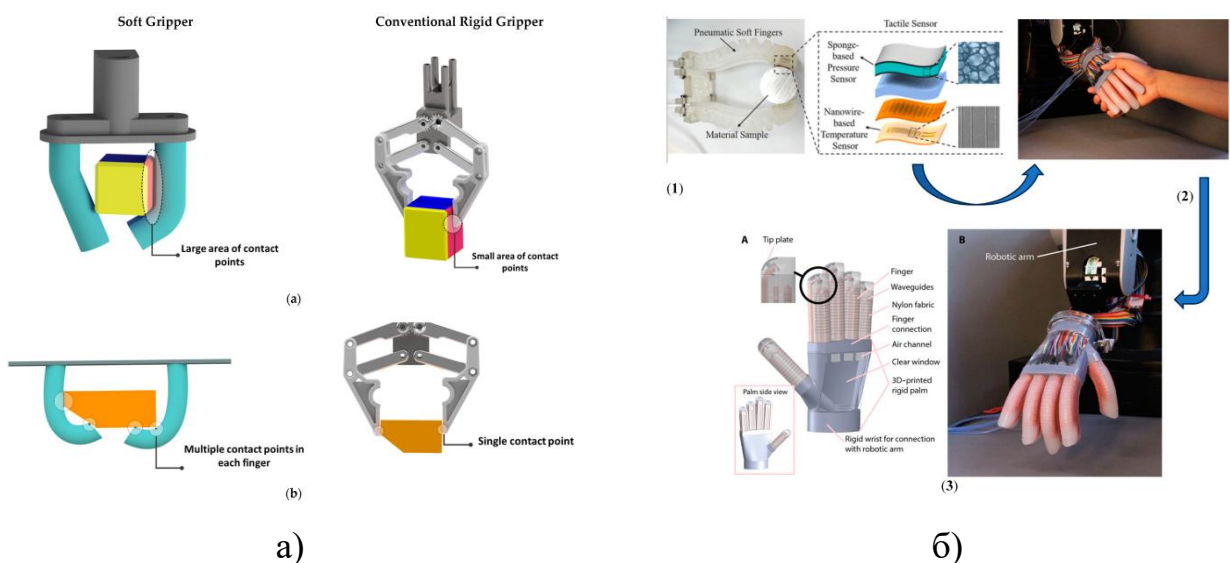


г)

Рис.2.6. Системи вимірювання сил на кисті (зап'ясті) руки робота

Іншим поширеним рішенням є монтаж 6-осьового датчика сили/моменту між маніпулятором і захватом. Він не вимірює саме силу затиску, але дає змогу контролювати навантаження в процесі контакту, що дозволяє коригувати силу затиску або положення у реальному часі. Цей підхід особливо актуальний для високоточних або колаборативних систем. ([ATI Industrial Automation][2])

Тактильні / “м’які” сенсори та адаптивне управління:

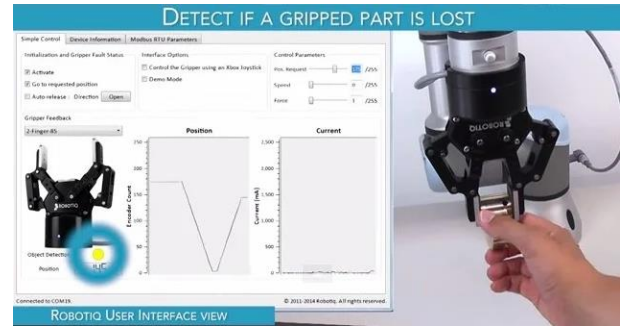


a)

б)



в)

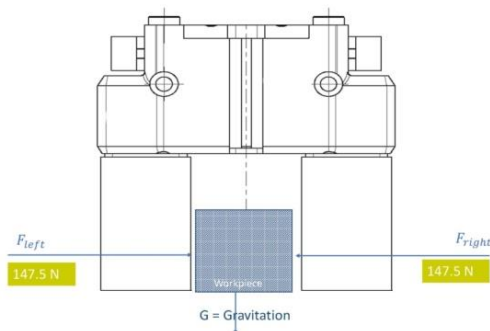


г)

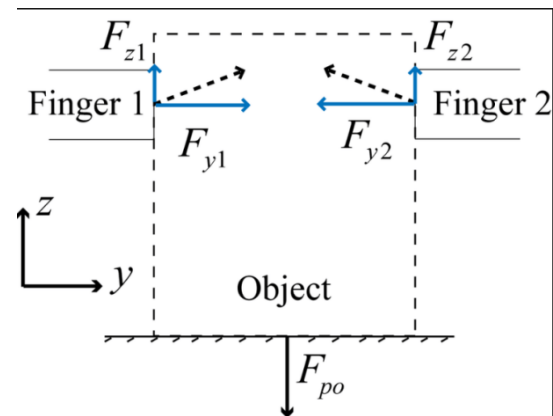
Рис.2.7. Системи адаптивного управління силами затиску

Для захватів, які працюють з нестандартними або м'якими об'єктами, застосовують сенсори тертя, слип-детектори, а також адаптивні алгоритми. Приклад: гріпер із вбудованим датчиком ковзання та силовим датчиком, що дозволяє змінювати силу затиску до того, як деталь почне вислизати. Такий підхід дозволяє працювати з нестандартними формами або матеріалами. ([SciSpace][3])

Розрахунково-аналітичні методи (рис.2.8):



а)



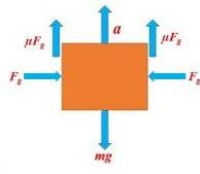
б)

Gripper Force Calculation Example

Q. A 5Kg rectangular block is gripped in the two finger gripper and lifted vertically at a velocity 1m/s. If acceleration is 27.5 m/s² and the coefficient of friction between gripping pads and block is 0.48, calculate the minimum force that would prevent slippage.

Solution:

mass (m) = 5 kg
acceleration of gravity (g) = 9.8 m/s²
acceleration of handling (a) = 27.5 m/s²
coefficient of friction (μ) = 0.48
Considering the free body diagram,



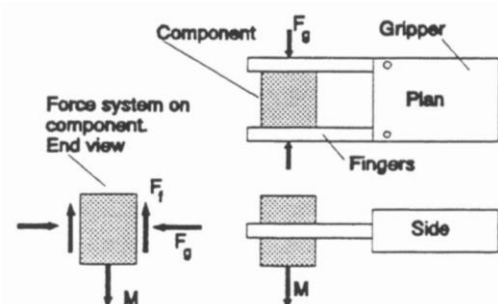
$$2\mu F_x - mg = ma$$

$$F_x = m(a + g) / 2\mu$$

$$F_x = 5(27.5 + 9.8) / 2 \times 0.48 = 194.3 \text{ N}$$

This is the minimum amount of required force that would prevent slippage.

в)

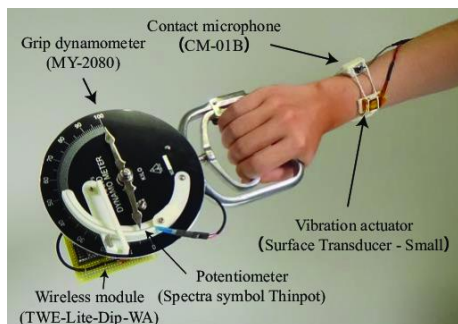


г)

Рис.2.8. Розрахункові методи визначення сил затиску

Цей підхід базується на математичних моделях: визначаються зовнішні навантаження (вага, інерція), геометрія контакту (кут призми, положення контакту), коефіцієнт тертя, після чого через рівняння рівноваги отримують мінімально допустиму силу затиску. Підходить для проектування — саме це і є основою для твоєї роботи. ([blog.robotiq.com][4])

Експериментально-калібрувальні засоби (рис.2.9):



а)



б)



в)

Рис.2.9. Експериментальні методи визначення сил затиску

У машинобудуванні та для захватних пристроїв часто використовують переносні індикатори затискної сили – силові комірки чи гідравлічні вимірювачі, щоб перевірити, що реальна сила затиску відповідає розрахованій. Це дозволяє налаштувати/відкалібрувати механізм перед експлуатацією. ([en.pm-instrumentation.com][5])

Огляд вище наведених систем та методів визначення сил затиску дозволяє показати, що:

- дане питання актуальне і також існує багато сучасних технологій контролю та вимірювання сил затиску;
- розрахунковий підхід, який було запропоновано, обґрунтований як логічне продовження/доповнення датчикових рішень;
- дана методика має свою “нішу” — коли сенсори можуть бути дорогими або непридатними для проектування, а планування конструкції захвату потребує аналітики з оцінкою мінімальної сили.

2.3.3. Розрахунок мінімально необхідних сил затиску циліндричної деталі

У даному розділі наведено послідовну методику визначення мінімально необхідних сил затиску для утримання циліндричної деталі призматичним захватним пристроєм промислового робота. Методика враховує вертикальну орієнтацію захвату, дію сили ваги деталі, довільний напрямок сили інерції, а також геометричні параметри контактних призм (кут α) і їх кутове зміщення (φ). Подається розрахункова схема, формулюються рівняння рівноваги, виконується покрокове виведення формул і наводяться графічні залежності.

Розрахункова схема. На рис.2.10 показано розрахункову схему утримання циліндричної деталі. Схема відображає взаємодію деталі з двома парами призматичних затискних елементів, розташованих симетрично відносно вертикальної осі, але з урахуванням можливого кутового зміщення точок контакту.

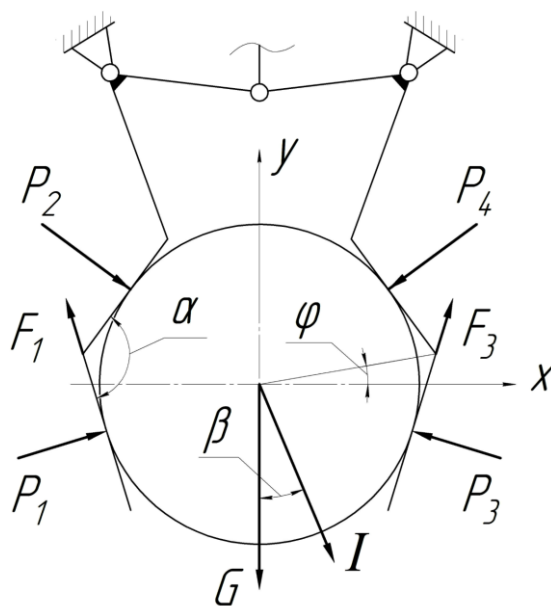


Рис.2.10. Розрахункова схема утримання циліндричної деталі захватним пристроєм

Схема включає такі сили та позначення:

Позначення	Пояснення
x, y	Стаціонарна система координат: вісь y – вертикальна вгору, вісь x – горизонтальна.
G	Сила ваги циліндричної деталі, прикладена до її центра мас і напрямлена вниз.

I	Сила інерції, що діє на деталь при переміщенні/гальмуванні робота; її напрямок описується кутом β .
β	Кут між напрямком сили інерції I та вертикаллю (віссю y).
α	Кут нахилу робочої поверхні призми відносно горизонталі.
φ	Кут зміщення вершини призми (кутове положення точки контакту на поверхні деталі).
P_1, P_2, P_3, P_4	Нормальні реакції від лівої та правої пари призм, спрямовані до центра деталі.
F_1, F_3	Сили тертя в місцях контакту лівої та правої призм відповідно.
$\alpha/2 \pm \varphi$	Робочі кути, що визначають фактичне положення точок контакту відносно осі x.
Підвісні елементи	Умовно зображені ланки механізму, через який від приводу передається зусилля на призми.

Деталь утримується чотирма нормальними реакціями P_1 – P_4 та силами тертя F_1, F_4 . Зовнішні сили G та I мають на меті вивести деталь з рівноваги, тому наступним кроком є складання рівнянь рівноваги.

Рівняння рівноваги. Для забезпечення статичної рівноваги деталі в захваті необхідно, щоб суми проєкцій усіх діючих сил на осі X та Y дорівнювали нулю. При цьому враховується довільний напрямок сили інерції та кутове зміщення контактних призм.

По осі X :

$$I \cdot \sin\beta - P_3' \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi) - P_4' \cdot \sin(\alpha/2 - \varphi) = 0$$

По осі Y :

$$-G - I \cdot \cos\beta + P_1'' \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi) + P_3'' \cdot \cos(\alpha/2 + \varphi) + F_1 \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi) + F_3 \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi) = 0.$$

Тут позначено: P_3', P_4' – нормальні складові реакцій у правих точках контакту, що врівноважують горизонтальну складову інерційного навантаження; P_1'', P_3'' – нормальні складові реакцій у нижніх точках контакту, що врівноважують вагу та вертикальну складову інерції; $F_1 = f \cdot P_1'', F_3 = f \cdot P_3''$ – сили тертя, пропорційні нормальним реакціям; f – коефіцієнт тертя.

Покрокове виведення формул для сил затиску

Крок 1. Визначення реакцій з рівняння по осі X.

Із рівняння по осі X отримуємо окремі вирази для реакцій у правих точках контакту. З урахуванням однакової відстані до центра та геометрії контакту одержимо:

$$P_3' = \frac{[I \cdot \sin\beta \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} - \varphi)]}{\sin\alpha}$$

$$P_4' = \frac{[I \cdot \sin\beta \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + \varphi)]}{\sin\alpha}$$

Крок 2. Визначення реакцій з рівняння по осі Y.

Приймаємо симетрію нижніх точок контакту: $P_1'' = P_3'' = P''$.

Сили тертя: $F_1 = F_3 = f \cdot P''$.

Тоді рівняння по осі Y набуває вигляду:

$$-G - I \cdot \cos\beta + 2P''[\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)] = 0$$

Звідси нормальна складова затиску в нижніх точках:

$$P'' = \frac{(G + I \cdot \cos\beta)}{\{2 [\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]\}}$$

Крок 3. Визначення фактичних сил у точках контакту.

Оскільки у правій нижній точці одночасно діють горизонтальна складова (P_3') і вертикальна складова (P''), сумарна сила у цій точці дорівнює

$$P_3 = P_3' + P''$$

Для лівої нижньої точки сила затиску дорівнює: $P_1 = P''$

Для правої верхньої точки: $P_4 = P_4'$

Для лівої верхньої точки в даній схемі: $P_2 = 0$ (точка не навантажена).

Фінальні вирази для мінімально необхідних сил затиску

Таким чином, мінімально необхідні сили затиску в окремих точках контакту визначаються за формулами:

$$P_1 = \frac{(G + I \cdot \cos\beta)}{\{2 [\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]\}}$$

$$P_3 = \frac{[I \cdot \sin\beta \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} - \varphi)]}{\sin\alpha} + \frac{(G + I \cdot \cos\beta)}{\{2 [\cos(\alpha/2 + \varphi) + f \cdot \sin(\alpha/2 + \varphi)]\}}$$

$$P_4 = \frac{[I \cdot \sin\beta \cdot \cos(\frac{\alpha}{2} + \varphi)]}{\sin\alpha}$$

Оскільки деталь має бути гарантовано утримана у всіх можливих режимах, за розрахункову силу затиску приймається максимальне з отриманих значень:

$$P_{\min} = \max(P_1, P_3, P_4).$$

5. Графічні залежності

Нижче подано приклади графіків зміни сили затиску від основних параметрів захвату (рис.2.11, 2.12, 2.13).

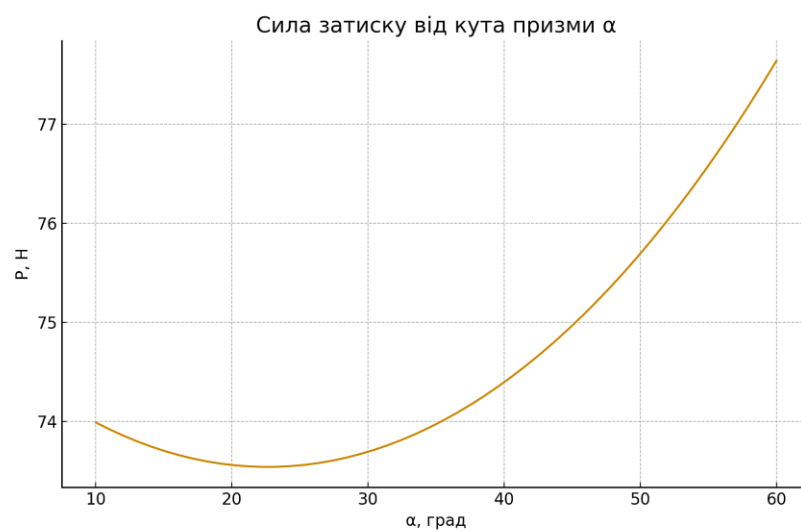


Рис.2.11. Залежність сили затиску від кута призми α

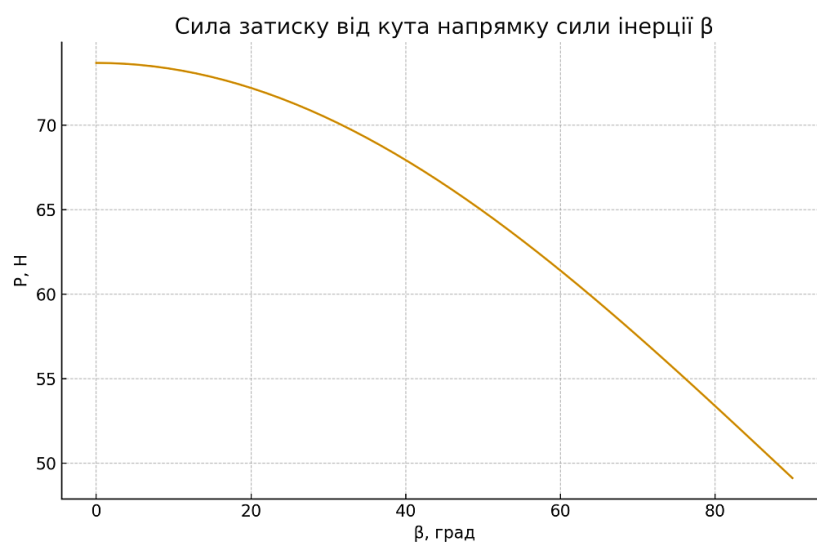


Рис.2.12. Залежність сили затиску від кута напрямку сили інерції β

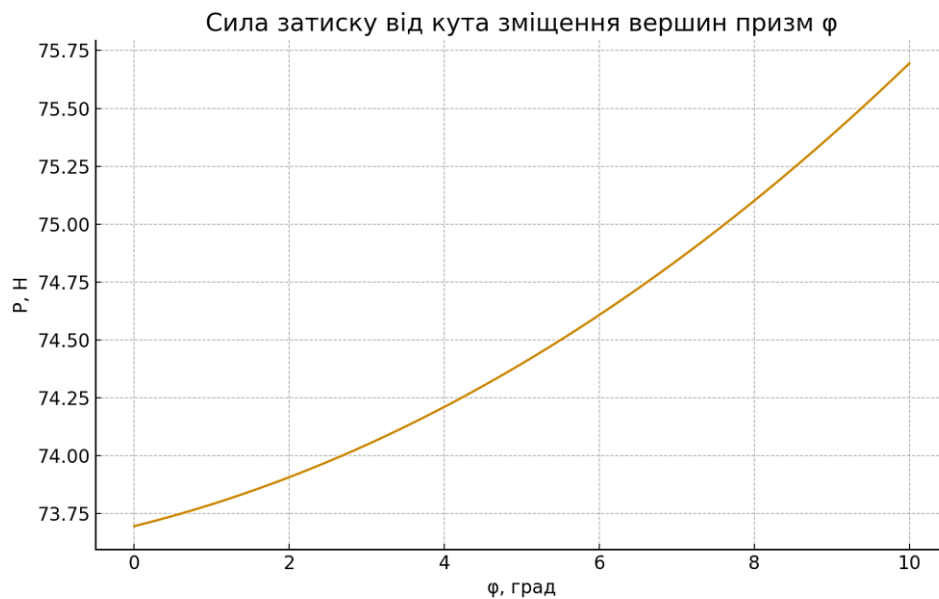


Рис.2.13. Залежність сили затиску від кута зміщення вершин призми ϕ

6. Аналіз отриманих результатів

6.1. Із зростанням кута призми α сила затиску зростає, оскільки зменшується нормальна складова реакції, що сприймає навантаження.

6.2. При збільшенні кута β (наближення до горизонтального напрямку) зростає її горизонтальна складова, що приводить до збільшення сил P_3' та P_4' .

6.3. Зростання кута зміщення ϕ викликає несиметричність розташування точок контакту, що потребує дещо більших сил затиску для збереження рівноваги деталі.

7. Порядок визначення сил затиску (прийнята методика)

7.1. Задати вихідні дані: G , I , β , коефіцієнт тертя f , кути α та ϕ .

7.2. Ввести зв'язок сил тертя з нормальними реакціями: $F_1 = f \cdot P_1''$, $F_3 = f \cdot P_3''$.

7.3. Скласти рівняння рівноваги по осі X та визначити P_3' і P_4' .

7.4. Скласти рівняння рівноваги по осі Y , врахувавши симетрію: $P_1'' = P_3'' = P''$, отримати вираз для P'' .

7.5. Визначити фактичні сили в точках контакту: P_1 , P_3 , P_4 .

7.6. Прийняти розрахункову силу затиску як $P_{\min} = \max(P_1, P_3, P_4)$.

8. Розрахунок сумарних сил затиску

Окремі сили затиску P_1 , P_2 , P_3 та P_4 діють у різних точках контакту та мають різні напрямки відносно осей координат. Для оцінки фактичного навантаження, яке сприймають ліві та праві пари призм, визначають сумарні сили затиску як геометричну (векторну) суму відповідних сил.

- Для лівої сторони захвату (пара призм 1–2):

$$P_{\Sigma\text{Л}} = \sqrt{(P_1^2 + P_2^2 + 2 \cdot P_1 \cdot P_2 \cdot \cos(2\varphi))}$$

де P_1 та P_2 — сили в точках контакту лівої пари призм; φ — кут зміщення вершин призм.

Якщо $P_2 = 0$ (у разі відсутності контакту у верхній лівій точці), то $P_{\Sigma\text{Л}} = P_1$.

- Для правої сторони захвату (пара призм 3–4):

$$P_{\Sigma\text{П}} = \sqrt{(P_3^2 + P_4^2 - 2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot \cos(2\varphi))}$$

де $P_3 = P_3' + P''$, $P_4 = P_4'$, а φ — кут зміщення вершини призми.

Отримані результуючі сили $P_{\Sigma\text{Л}}$ та $P_{\Sigma\text{П}}$ характеризують сумарне навантаження, що діє на відповідні сторони захватного пристрою. Їх доцільно використовувати при подальшому розрахунку міцності елементів, перевірці жорсткості та підборі приводу для створення необхідного зусилля затиску. Сумарні сили затиску - це результуючі сили, що утворюються внаслідок одночасної дії двох або більше окремих сил у точках контакту деталі з поверхнями захватного пристрою. Іншими словами, це векторна сума всіх сил, які утримують деталь з певного боку захвату (наприклад, лівої або правої пари призм). Сумарна сила показує фактичне навантаження, яке сприймає сторона захвату, тобто є еквівалентом єдиної сили, що замінює дію декількох точкових сил у межах однієї контактної зони. Її напрям і величина визначаються геометрично - за правилом паралелограма або косинусів.

Наприклад:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + 2P_1P_2 \cos(2\varphi)}$$

де (P_1) і (P_2) — сили, прикладені у двох точках контакту, а (2φ) — кут між ними.

Якщо сили діють симетрично, то напрямок сумарної сили збігається з віссю симетрії захвату. Знання сумарної сили затиску є необхідним при визначенні **необхідного зусилля приводу** (пневматичного, гідравлічного або електромеханічного), оскільки саме ця сила визначає реальне навантаження, яке має створити привід для забезпечення надійного утримання деталі.

Під час проектування виконується такий логічний ланцюг:

1. Визначаються окремі сили затиску (P_1 , P_2 , P_3 , P_4) за умовами рівноваги.
2. Обчислюються сумарні сили ($P_{\Sigma L}$) і ($P_{\Sigma P}$) для лівої та правої сторін.
3. Обирається **більша** з них як розрахункова - саме її має створювати привід.
4. Додається запас міцності (коефіцієнт 1.3-1.5) для урахування втрат у кінематичних ланках і можливих коливань тертя.
5. Отримане значення переводиться у відповідний тиск або момент (залежно від типу приводу).

Таким чином, сумарні сили затиску є **основним розрахунковим параметром**, що визначає необхідне зусилля приводу, а отже — його потужність, діаметр поршня або передатне число механізму затиску.

2.4. Залежності сил затиску від конструктивних параметрів захватних пристроїв роботів

У наведених вище дослідженнях проаналізовано основні підходи до визначення сил затиску деталі захватним пристроєм. На основі отриманих рівнянь проведено оцінку впливу конструктивних параметрів захватного механізму, умов затиску та напрямків переміщення утримуваних деталей на необхідну величину сил затиску. Нижче подано результати дослідження окремих сил затиску для випадку вертикального розташування захватного пристрою. Вихідні дані, використані для побудови відповідних графіків, наведено у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1.

Вихідні дані для побудови залежностей сил затиску (P) від кута призми (α) та від напрямку сили інерції (β)

№ вар.	№ кривої	Сили затиску	Умови затиску							
			для $P(\alpha)$				для $P(\beta)$			
			φ	I	β	f	φ	I	α	f
1	1	P_1	10°	G	90°	0,1	10°	G	120°	0,1
	2	P_3								
	3	P_4								
2	4	P_1	10°	G	90°	0,1	10°	G	120°	0,1
	5	P_2								
	6	P_3								
3	7	P_1	10°	G	90°	0,1	10°	G	120°	0,1

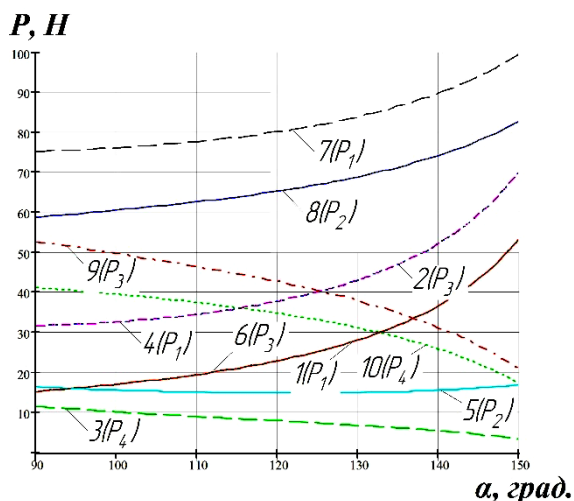


Рис.2.14. Графіки впливу кута затискних призм (α) на сили затиску (P)

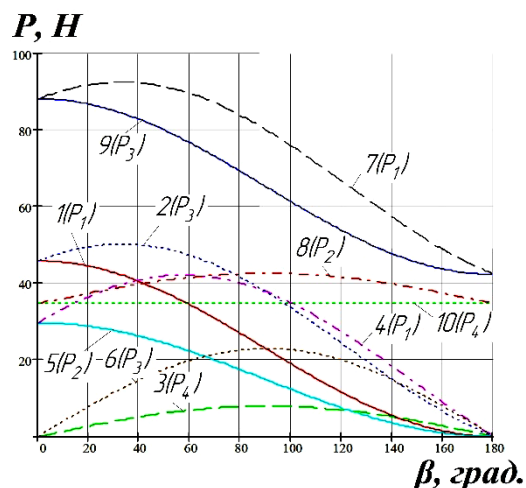


Рис.2.15. Графіки впливу напрямку сили інерції (β) на сили затиску (P)

Таблиця 2.2.

Вихідні дані для побудови залежностей P від φ

№ вар.	№ крив. на графіку	Зміщення вершин затискних призм	Сили затиск у	Умови затиску для $P(\varphi)$			
				β	I	α	f
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	в сторону до захватного пристрою	P_1	90°	G	120°	0,1
	2		P_3				
	3		P_4				
2	4		P_1	0°	G	120°	0,1
	5		P_2				

робототехнічного комплексу. Виведені залежності дають можливість проводити кількісну оцінку силової взаємодії між деталлю та затискними елементами грипера в умовах, коли на деталь діють одночасно інерційні, технологічні та реакційні сили, а також сили тертя у контактних зонах.

Особливу увагу приділено впливу таких факторів:

1. Геометричні параметри захвату: кут розкриття призм α безпосередньо впливає на векторний розподіл нормальних та тангенціальних складових сили затиску:

$$F_n = F_z \cos \varphi, F_t = F_z \sin \varphi,$$

що дозволяє оцінювати контактні напруження за критерієм Герца для криволінійного контакту:

$$p_{max} = \sqrt{\frac{6F_n E'}{\pi d}}$$

Така оцінка є критичною при роботі з тонкостінними деталями.

2. Ексцентриситет положення деталі. Показано, що зміщення осі деталі відносно осі симетрії грипера викликає: нерівномірний розподіл сил по важелях, появу додаткових моментів, які можуть зменшувати фактичну силу затиску на одній зі сторін.

Ця залежність визначається рівнянням моментної рівноваги:
 $F_{z1}a_1 = F_{z2}a_2$,

де (a_1, a_2) – плечі сил при зміщенні.

3. Вплив коефіцієнта тертя. У дослідженні враховано зміну коефіцієнта тертя μ залежно від наявності МОР. Це дозволяє визначати мінімальну силу затиску:

$$F_{min} = \frac{P_{інерц} + P_{зовн}}{\mu}$$

При низьких значеннях μ (0,05–0,1) затискні пристрої потребують збільшення сили затиску на 30–60%.

4. Динамічні режими руху робота

При прискореному транспортуванні деталі маніпулятором, на деталь діють інерційні сили:

$$P_{\text{інерц}} = ma ,$$

які можуть багаторазово перевищувати власну вагу деталі. Побудовані залежності дозволяють передбачати критичні режими та знижувати ризик прослизання.

5. Оцінка жорсткості системи

Залежності дають змогу виконати попередню оцінку пружних деформацій елементів захватного пристрою та переміщення деталі за умовою:

$$\Delta x \leq \Delta x_{\text{доп}} ,$$

що є ключовим для забезпечення точності подачі деталі у технологічні позиції.

Критерії оптимізації захватного пристрою

Отримані залежності дозволяють виконувати параметричну оптимізацію конструкції за критеріями:

1. **Мінімальна сила затиску при забезпеченні умови:**

$$F_z \geq F_{\text{min}}$$

2. **Мінімальний контактний тиск:**

$$P_{\text{max}} \leq [p]_{\text{mat}}$$

3. **Максимальна жорсткість системи:**

$$k = \frac{F_z}{\Delta x} \rightarrow \max$$

4. **Мінімальна маса та інерційність рухомих елементів, що напряму впливає на швидкодію робота.**

Поглиблений підсумок. Таким чином, отримані залежності є не лише ілюстрацією розрахункових формул, але й потужним інструментом конструкторсько-технологічного аналізу. Вони дозволяють:

- моделювати поведінку грипера в різних просторових орієнтаціях (вертикальній, горизонтальній, комбінованій);

- оцінювати безпечність транспортування деталей різної міцності та геометрії;
- забезпечувати оптимальний баланс між силою затиску, надійністю та ризиком пошкодження;
- підвищувати ефективність роботи маніпулятора шляхом зменшення простоїв, аварійних відмов і похибок позиціонування.

Детальні рекомендації щодо практичного застосування отриманих моделей та оптимізаційних критеріїв наведено у висновках до розділу.

3.Технологічна частина

3.1. Аналіз точності та технологічності заданих деталей

Оцінювання точності геометричних параметрів деталі виконується з метою встановлення її відповідності вимогам механічної обробки, чинним нормативам та експлуатаційному призначенню. Точність механічної обробки характеризується сукупністю параметрів, до яких належать: розмірна точність, точність форми поверхонь, точність взаємного розташування елементів та параметри шорсткості. Перелічені характеристики визначаються величиною відхилення фактичних розмірів і геометричних форм поверхонь від значень, заданих у робочому кресленні.

Завищені вимоги до точності призводять до підвищення собівартості виготовлення за рахунок ускладнення технології та збільшення обсягу контролю. Натомість занижкі вимоги можуть зумовити появу браку та зниження надійності виробу при подальшій експлуатації. Тому важливо забезпечити однозначність трактування параметрів точності, їх відповідність нормативній документації та достатність для забезпечення функціональності деталі.

Для здійснення аналізу точності необхідно побудувати ескіз деталі з нумерацією оброблюваних поверхонь та занести результати оцінювання до відповідної таблиці.

Аналіз креслення досліджуваної шестерні підтверджує, що всі розміри та допуски задано коректно і в обсязі, достатньому для виконання механічної обробки. Вимоги до точності та шорсткості поверхонь повністю узгоджені з функціональним призначенням елемента, відповідають нормативним документам та умовам роботи в складі механізму.

Разом із тим, для забезпечення оброблюваності на верстатах із ЧПК необхідно узгодити систему розмірних прив'язок креслення з координатною системою використовуваного обладнання. Це потребує попередньої технологічної підготовки креслення, що включає перенесення базових прив'язок і перерахунок координат поверхонь від єдиного початку координат.

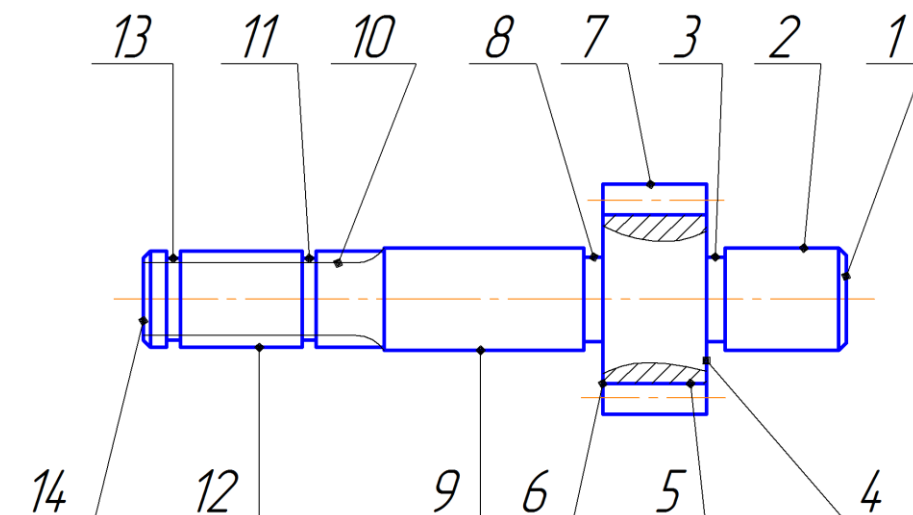
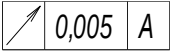
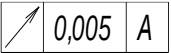


Рис. 3.1. Поверхні що обробляються в деталі

Таблиця 3.1.

Параметри точності деталі

№	Найменування поверхні	Розміри з відхиленням	Квалітет	Точність відносно поворотів	Точність форми	R _a
1	2	3	4	5	6	7
1, 14	Торці	113 ^{-0,4}	H12	-	-	6,3
2	Зовнішня циліндрична	Ø17 ^{-0,08} _{-0,095}	e6	0,005 A	0,005	0,16
3	Канавка	Ø16,85 ^{-0,43}	h9	0,008 A	-	3,2
4, 6	Торці	16 ^{-0,02}	h8	-	0,006	0,63
5	Зубці	Ø24,7 ^{-0,33}	h8	0,01 A	-	2,5
7	Зовнішня циліндрична	Ø38,1 ^{-0,04} _{-0,055}	e6	-	-	1,25
8	Канавка	Ø16,85 ^{-0,43}	h9	-	-	3,2
9	Зовнішня циліндрична	Ø17 ^{-0,08} _{-0,095}	e6	0,005 A	0,005	0,16
10	Шліці	3,5 ^{-0,1} _{-0,2}	-	-	-	3,2
11	Канавка	Ø15 ^{-0,27} 1,4 ^{+0,25}	h13 H14	-	-	3,2
12	Зовнішня циліндрична	Ø16 ^{-0,032} _{-0,075}	e6	0,01 A	-	1,25
13	Канавка	Ø15 ^{-0,27} 1,4 ^{+0,25}	h13 H14	-	-	3,2

Подальший аналіз параметрів точності, наведених у таблиці 4.1, свідчить, що окремі поверхні шестерні мають підвищені вимоги до точності. Зокрема, для шийок $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$  нормується радіальне биття відносно осі деталі; циліндричність шліцьової поверхні $\varnothing 16^{-0,032}_{-0,075}$ контролюється відповідно до вимог щодо радіального биття; торці зубчастого вінця є відповідальними поверхнями, поверхнева точність яких повинна забезпечувати мінімальне радіальне биття та високий ступінь прямолінійності (точність $16_{-0,02}$, ).

Шорсткість окремих критичних поверхонь становить 0,16 мкм, що зумовлено їх ключовою роллю у функціонуванні деталі.

Отже, ведуча шестерня є відповідальною деталлю шестеренного насоса, що пояснює високий рівень вимог до її геометричної точності та параметрів шорсткості.

Аналіз технологічності деталі. Технологічність конструкції визначається ступенем її пристосованості до економічного та якісного виготовлення. На неї впливають конструктивні особливості деталі, зручність вибору баз, доступність оброблюваних поверхонь для інструмента та можливість забезпечення необхідної точності. Деталь за своєю формою належить до класу «вали» й характеризується простою геометрією, що полегшує механічну обробку та забезпечує використання стандартного ріжучого інструменту і технологічного оснащення.

Конструкція шестерні дозволяє здійснювати зручне базування, забезпечує вільний доступ інструмента до всіх поверхонь та створює умови для здійснення прямих вимірювальних контролів. З огляду на це, шестерня є технологічною для умов серійного виробництва.

При подальшій обробці на верстатах із ЧПК необхідно адаптувати креслення до координатної системи верстата, забезпечивши узгодження технологічних баз з інструментальними нульовими точками.

3.2. Аналіз діючого технологічного процесу

Аналіз технологічного процесу механічної обробки ведучої шестерні, що використовується на підприємстві ПАТ НВП «Радій», виконується з метою оцінювання рівня його відповідності сучасним вимогам машинобудівного виробництва. Основними завданнями аналізу є:

- визначення відповідності процесу вимогам точності, шорсткості та геометричної якості поверхонь, установленим чинними нормативами та стандартами;
- оцінка рівня автоматизації, технологічного оснащення та ефективності застосовуваного обладнання;
- виявлення недоліків у структурі та послідовності операцій, зокрема можливих перевитрат часу, матеріалів або енергоносіїв, а також виявлення операцій, що створюють «вузькі місця» процесу;
- розробка рекомендацій щодо модернізації, включно з оптимізацією технологічних операцій, оновленням устаткування та впровадженням інструментів і методів, спрямованих на підвищення продуктивності.

У процесі аналізу встановлено, що діюча технологія забезпечує високий рівень точності та стабільності обробки. На підприємстві застосовується сучасне металорізальне обладнання: токарні автомати та напівавтомати, зубообробні та шліфувальні верстати, а також затискні пристрої з гідравлічними й пневматичними приводами. Для виготовлення деталі використовують як стандартний, так і спеціальний ріжучий та вимірювальний інструмент, який відповідає вимогам точності, зносостійкості та продуктивності.

Водночас виявлено істотний недолік діючого процесу - низьку гнучкість технології, яка в основному орієнтована на багатосерійне або масове виробництво. У реальних умовах підприємства обсяг виготовлення ведучих шестерень відповідає серійному типу, що зумовлює потребу у більш адаптивній системі обробки.

Базовий технологічний процес обробки деталі

№ операції	Найменування операції	Обладнання	T _{шт} , хв
005	Фрезерно-центрувальна	МР-76	0,58
010	Токарно-копіювальна	СА 022Л	0,48
015	Токарно-копіювальна	СА 022Л	0,96
020	Токарно-копіювальна	СА 023	0,95
025	Токарно-копіювальна	СА 023	0,69
030	Токарно-копіювальна	СА 023	0,70
035	Зубофрезерна	5В312	2,57
040	Зубодовбальна	5122	2,97
045	Зубошевінгувальна	5702В	2,76
050	Шліцефрезерна	5350А	1,43
055	Круглошліфувальна	3А151	0,59
060	Круглошліфувальна	3А151	0,70
065	Круглошліфувальна	3М151	0,99
070	Шліфувальна	АД15-700 ЕР45	1,63
075	Шліфувальна	АД15-700 ЕР45	1,63
080	Суперфінішна	3879	0,50
085	Доводочна	020-011	0,35

Пропозиції щодо модернізації. Для підвищення ефективності та гнучкості виробничого процесу пропонується впровадити такі заходи:

1. Оптимізація токарної обробки.

Доцільно замінити п'ять токарно-копіювальних операцій та одну токарно-гвинторізну на єдину операцію, виконувану на вертикальному двошпиндельному токарному центрі Hessapp DVT 320 (Німеччина). Завдяки застосуванню такого центру стає можливим одночасне оброблення довгої та короткої частин шестерні в межах однієї технологічної операції, що значно скорочує загальний час виготовлення та підвищує точність.

2. Раціоналізація шліфування торців зубчастого вінця.

Замість виконання чотирьох послідовних торцешліфувальних операцій пропонується перейти до технології, що передбачає двоступеневе оброблення - чорнове та чистове шліфування. Застосування двох шліфувальних кругів одночасно дозволяє прискорити процес, забезпечити рівномірність знімання припуску та підвищити загальну якість оброблених поверхонь.

3. Удосконалення круглого шліфування.

Рекомендується замінити три окремі операції на різних круглошліфувальних верстатах 3A151 одним етапом обробки на універсальному верстаті з ЧПК 3M151Ф2. Це обладнання має ширші технологічні можливості, що дозволяє виконувати шліфування довгої цапфи, зовнішнього діаметра зубчастого вінця та шліцевих поверхонь у рамках однієї операції з підвищенням точності та стабільності результатів.

Очікувані результати модернізації

Реалізація запропонованих заходів дозволить:

- скоротити загальну кількість технологічних операцій;
- зменшити потребу у виробничих площах та чисельності обслуговувального персоналу;
- знизити витрати часу на міжопераційне транспортування;
- забезпечити підвищення точності обробки;

- підвищити гнучкість виробництва завдяки використанню верстатів із числовим програмним керуванням, придатних до швидкої переналадки під зміну номенклатури.

У цілому модернізований технологічний процес відповідає сучасним вимогам до ефективності, адаптивності й точності машинобудівного виробництва.

3.3. Вибір заготовок та способу їх виготовлення

Аналіз матеріалу деталей. Вибір способу виготовлення заготовки для деталей машин визначається комплексом взаємопов'язаних факторів: функціональним призначенням деталі, її конструктивними особливостями, вимогами до механічних властивостей матеріалу, типом виробництва, економічною доцільністю та технологічністю процесу. Для коректного обґрунтування способу отримання заготовки необхідно одночасно враховувати всі зазначені умови, оскільки зміна одного параметра може суттєво вплинути на вибір технологічного маршруту.

Аналіз конструкції насоса, умов експлуатації та особливостей роботи ведучої шестерні дозволяє визначити оптимальний матеріал для її виготовлення. На базовому підприємстві, з урахуванням практичного досвіду експлуатації аналогічних виробів, для цієї деталі застосовують леговану сталь 18ХГТ відповідно до ГОСТ 4543–71. Її механічні властивості наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

Механічні властивості матеріалу деталі шестерня

Марка матеріалу	$\sigma_{\text{в}}$, МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ_s , %	Твердість НВ
1	2	3	4	6
18ХГТ	1700	1450	7	890

Хімічний склад сталі 18ХГТ відповідає вимогам до матеріалу деталей, що працюють під навантаженням та зазнають термічної обробки. Діапазони вмісту основних легуючих елементів наведено в таблиці 3.4.

Хімічний склад матеріалу деталі

Марка матеріалу	C	Cr	Cu	Si	Mn	Ni	Ti	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9
18ХГТ	1,5-1,8	1.2-1.6	-	0.1-0.12	1.1-1.5	0.2-0.25	1.3-1.6	до 0,02

В межах даної магістерської роботи прийнято, що обрана марка сталі є оптимальним матеріалом для виготовлення ведучої шестерні з урахуванням типу виробництва, вимог до міцності та зносостійкості, а також специфіки її конструкції. Тому зміна матеріалу не розглядається як доцільна.

У базовому технологічному процесі отримання заготовки здійснюється методом **об'ємного штампування**, що має суттєві переваги порівняно з альтернативними способами, зокрема куванням. До головних переваг об'ємного штампування належать:

- можливість отримання заготовок складної форми з мінімальними припусками;
- висока якість поверхні (шорсткість Rz 80...20);
- значна продуктивність (десятки або сотні поковок за годину);
- стабільність геометрії та властивостей матеріалу.

Після штампування заготовки піддаються термічній обробці типу відпалу, метою якої є:

- зняття залишкових напружень, що виникають у процесі нагрівання та пластичної деформації;
- зниження твердості для поліпшення оброблюваності різанням;
- покращення однорідності структури;
- підготовка металу до подальшої термічної обробки.

Для полегшення контролю якості поверхні та зменшення зношування ріжучого інструмента поковки перед механічною обробкою очищають від окалини на дробоструминних установках.

Після завершення механічної обробки деталь проходить кінцеву термічну обробку, що включає дифузійне насичення поверхневого шару неметалами. Зокрема, виконується цементація на глибину $h = 0,7...1,3$ мм з отриманням твердості поверхневого шару 57...63 HRC та твердості серцевини 25...45 HRC, що забезпечує:

- високу зносостійкість;
- підвищену контактну міцність;
- стійкість до динамічних навантажень.

Для вибору способу виготовлення заготовки також здійснюється економічний аналіз. Основні характеристики заготовки, отриманої методом об'ємного штампування, наведені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5.

Характеристика заготовки деталі шестерня ведуча.

Метод	Маса деталі, кг	Маса заготовки, кг	Коефіцієнт використання матеріалу
Об'ємна штамповка	0,241	0,466	0,52

3.4. Вибір методів та маршрутів обробки поверхонь деталі

Сучасна теорія технології машинобудування розглядає формування оптимального технологічного процесу виготовлення деталі як цілеспрямований багатоетапний пошук, що враховує широкий спектр конструктивних, експлуатаційних, економічних та організаційно-виробничих чинників. Одним із ключових елементів цього процесу є визначення раціональних маршрутів обробки окремих поверхонь, що в сукупності формують загальний технологічний маршрут виготовлення деталі.

Оптимальний маршрут обробки встановлюється на основі аналізу:

- вимог до точності та шорсткості поверхонь;
- точності вихідної заготовки;

- можливостей технологічного устаткування;
- закономірностей копіювання похибок у процесах механічної обробки;
- типових маршрутів обробки та даних про економічну точність різних методів різання.

Зокрема, закон копіювання похибок дозволяє встановити, які методи обробки забезпечать досягнення необхідної точності з мінімальними витратами. Таким чином, підмножина можливих маршрутів формується з урахуванням як вимог до кінцевої якості поверхонь, так і початкової геометрії заготовки.

Вирішення задачі вибору обробних маршрутів виконується послідовно за такою схемою:

1. аналіз функціонального призначення та умов роботи поверхонь;
2. визначення вимог до точності та параметрів шорсткості;
3. встановлення точності та форми поверхонь, отриманих на стадії виготовлення заготовки;
4. порівняння вимог до кінцевої якості поверхні з можливостями типових методів механічної обробки;
5. формування варіантів маршрутів обробки;
6. оцінка вартості, трудомісткості та технологічності кожного маршруту;
7. вибір найбільш раціонального маршруту з урахуванням умов серійного виробництва та доступного обладнання.

Вирішуємо поставлену задачу:

- 1) розраховуємо величину необхідного загального уточнення :

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{\delta_o}$$

де: $\delta_z; \delta_o$ - відносний допуск на розмір заготовки та деталі по заданій поверхні;

- 2) вибираємо маршрут обробки поверхні:

$$Ei = \delta i_{-1} / \delta i$$

де: δ_{i-1} , δ_i відповідно допуск на розмір поверхні для попереднього та послідуєчих переходів;

3) визначаємо загальне дійсне уточнення розміру поверхні:

$$E_d = E_1 \cdot E_2 \cdot E_3 \cdot E_4 \dots \cdot E_M;$$

де: M – число переходів обробки поверхні деталі.

4) виконуємо перевірку доцільності вибору маршруту обробки:

$$E_d \geq E_z;$$

Перевагу віддаємо тому варіанту, який ближче відповідає рівності: $E_d = E_z$. Наведемо вибір маршруту обробки найбільш точної поверхні деталі шестерня $\varnothing 17^{+0,08}_{-0,095}$. Обираємо два можливі маршрути обробки зовнішньої циліндричної поверхні. Розраховуємо загальне уточнення:

$$\varepsilon_z = \frac{\delta_z}{\delta_o};$$

$$\varepsilon_z = \frac{2.2}{0,015} = 146.67$$

де: δ_z – допуск на розмір заготовки; δ_d – допуск на розмір деталі.

Можливі два варіанти маршрутів обробки:

- обробка за 5 переходів:

1. Точіння чорнове.
2. Точіння чистове.
3. Шліфування чорнове.
4. Шліфування чистове.
5. Шліфування тонке.

- обробка за 4 переходи:

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

Проведемо порівняння по кожному проміжному методу обробки із таблиць економічної точності вибираючи допуски на обробку і розраховуючи частинні уточнення.

- Точіння чорнове:

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

- Точіння чистове:

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

- Шліфування чорнове:

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

- Шліфування чистове:

$$\varepsilon_4 = \frac{0,033}{0,021} = 1.571;$$

- Шліфування тонке:

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

Частинне уточнення для другого маршруту обробки:

- Точіння чорнове:

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

- Точіння чистове:

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

- Шліфування:

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

- Суперфініш:

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

Достатність і економічну доцільність вибору маршруту обробки перевіряємо за умовою фактичного уточнення:

$$\varepsilon_{\text{заг}} \leq \varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3;$$

1 маршрут

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 \cdot \varepsilon_5 = 10.48 \cdot 2.5 \cdot 2.55 \cdot 1.571 \cdot 1.4 = 146.94 > \varepsilon_{\text{заг}} = 146,67$$

умова виконується.

2 маршрут

$$\varepsilon_{\phi} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \cdot \varepsilon_4 = 10.48 \cdot 2.5 \cdot 2.55 \cdot 2.2 = 146.94 > \varepsilon_{\text{заг}} = 146,94$$

умова виконується.

Таким чином більш прийнятним є маршрут по другому варіанту, бо він містить меншу кількість переходів.

Вибір маршрутів обробки інших поверхонь наведені в таблиці 3.6. Номери поверхонь приведені на рис.3.1.

Таблиця 3.6

Зведена таблиця технологічних маршрутів обробки поверхонь шестерні

№ пов	Допуск на поверхню $\delta_{\text{д}}$ мм	Допуск на заготовку $\delta_{\text{з}}$ мм	Загальне уточнення, E_3	Можливі варіанти маршрутів обробки		Допуск на методи обробки	Уточнення по кожному переходу
				№	Зміст маршруту		
1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,4	1,2	3,0	1	Фрезерування одноразове	0,4	3,0
2	0,015	0,8	53,3	1	Точіння чорнове	0,18	4,45
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,018	2,39
					Суперфініш	0,015	1,2
3	0,43	-	-	1	Точіння канавки	0,43	-
4	0,02	0,6	30	1	Точіння чорнове	0,18	3,33
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,027	1,59
					Доводка	0,02	1,35
5	0,33	-	-	1	Довбання зубців	0,33	-
					Шевінгування зубців	0,33	1
6	0,02	0,6	30	1	Точіння чорнове	0,18	3,33
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
					Шліфування чистове	0,027	1,59
					Доводка	0,02	1,35
7	0,015	0,8	53,3	1	Точіння чорнове	0,13	6,15

8	0,43	-	-	1	Точіння чистове	0,052	2,5
9	0,015	0,8	53,3	1	Шліфування	0,015	3,47
					Точіння канавки	0,43	-
					Точіння чорнове	0,18	4,45
					Точіння чистове	0,07	2,57
					Шліфування чорнове	0,043	1,63
10	0,1	-	-	1	Шліфування чистове	0,018	2,39
11	0,27	-	-	1	Суперфініш	0,015	1,2
12	0,043	0,8	18,6	1	Фрезерування шліців	0,1	-
					Точіння канавки	0,27	-
					Точіння чорнове	0,18	4,44
					Точіння чистове	0,11	1,64
					Шліфування чорнове	0,07	1,57
					Шліфування чистове	0,043	1,63
13	0,27	-	-	1	Точіння канавки	0,27	-
14	0,4	1,2	3,0	1	Фрезерування одноразове	0,4	3,0

3.5 Розробка маршрутів виготовлення деталі

Досягнення заданих параметрів точності та шорсткості поверхонь є одним із ключових завдань технологічного процесу виготовлення деталі. У серійному машинобудівному виробництві якість поверхні формується поетапно, шляхом послідовного використання різних методів механічної обробки, кожен з яких забезпечує певний рівень точності й характерну величину шорсткості.

Початкове формування геометрії та видалення основного припуску здійснюється методами чорнової обробки — переважно токарним різанням і чорновим шліфуванням. Ці операції забезпечують необхідну форму поверхні, але не дозволяють досягти високих показників точності. Тому чорнові етапи завжди доповнюються чистовими методами.

До чистових способів обробки належать: чистове точіння, чистове шліфування, калібрування, суперфінішування та доводка. Усі ці методи застосовуються з урахуванням копіювання залишкових похибок від попередніх етапів та можливостей інструмента забезпечити зменшення мікронерівностей поверхні. Наприклад, чистове шліфування дозволяє досягати Ra 0,63–0,32 мкм, а суперфінішування — Ra до 0,16 мкм і нижче.

Таким чином, якість поверхні формується як результат сукупного впливу всіх технологічних операцій, а правильний вибір їх послідовності є визначальним фактором забезпечення точності.

У рамках розробленого технологічного процесу виготовлення ведучої шестерні обрані такі типові методи обробки поверхонь:

- точіння - для отримання базових геометричних форм і забезпечення розмірної точності на чорнових і проміжних етапах;
- фрезерування - для формування специфічних профільних елементів, зокрема шліців;
- шліфування - для досягнення високої точності діаметрів, відхилень форми та взаємного розташування поверхонь;
- доводка та суперфінішування - як завершальні операції, що забезпечують мінімальні значення шорсткості та високу стабільність геометричних параметрів.

Маршрут обробки деталі будують з урахуванням обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, типу виробництва, технологічних можливостей вибраних металорізальних верстатів, технічних вимог та розмірних зв'язків на кресленні деталі.

001 Заготівельна

1. Заготовку отримуємо поковкою на ГKM

002 Транспортна

1. Транспортувати заготовки на ділянку механічної обробки.

005 Фрезерно-центрувальна

Верстат фрезерно центрувальний MP-76AM

1. Фрезерувати два торці 1, 11 одночасно.
2. Сверлити центровочні отвори одночасно.

010 Токарна з ЧПУ

Токарний обробний центр Hesapp DVT-320

1. Встановити, зняти деталь.
2. Точити довгий кінець шестерні начорно.

3. Точити довгий кінець шестерні начисто.
4. Точити канавку 2,3 мм.
5. Точити дві канавки 1,4 мм.
6. Перевстановити, зняти деталь.
7. Точити короткий кінець шестерні начорно.
8. Точити короткий кінець шестерні начисто.
9. Точити канавку 2,3 мм.

015 Кругло шліфувальна

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати коротку шийку.

020 Кругло шліфувальна.

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати шийку.

025 Торцешліфувальна

Верстат торцешліфувальний 3Б153

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шліфувати два торці одночасно.

030 Зубодовбальна

Верстат зубодовбальний 5122

1. Встановити, зняти деталь.
2. Довбати зубці

035 Зубошевінгувальна

Верстат зубошевінгувальний 5702В

1. Встановити, зняти деталь.
2. Шевінгувати зубці.

040 Шліцефрезерна

Верстат шліцефрезерний 5Б31ОП

1. Встановити, зняти деталь.

2. Фрезерувати шліці.

045 Слюсарна

Верстак слюсарний

1. Спиляти задирки.

050 Кругло шліфувальна з ЧПК

Верстат круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати зубчатий вінець.

3. Шліфувати зовнішню поверхні шліців.

4. Шліфувати довгу шийку.

055 Кругло шліфувальна

Верстат круглошліфувальний 3А151

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати коротку шийку.

060 Торце-кругло шліфувальна

Верстат торцешліфувальний 3Б153

1. Встановити, зняти деталь.

2. Шліфувати два торці одночасно.

065 Суперфінішна

Верстат суперфінішний 3Д879

1. Встановити, зняти деталь.

2. Суперфінішувати одночасно дві шийки

070 Доводочна

Верстат доводочний 020087

1. Встановити, зняти деталь;

2. Довести два торці одночасно

075 Слюсарна

Верстак

1. Спиляти заусенці.

080 Промивка

1. Промити деталь.

081 Протирка

1. Протерти всі поверхні деталі.

085 Контрольна

1. Перевірити розміри.

090 Контрольна

1. Розділити деталі по групах селективності.

Згідно з результатами аналізу, наведені методи та їх послідовність повністю забезпечують виконання вимог до точності та параметрів шорсткості поверхонь шестерні, що підтверджує їх доцільність у прийнятому технологічному процесі.

3.6. Вибір технологічних баз

Правильний вибір технологічних баз є одним із ключових факторів, що визначає точність виготовлення деталі на всіх етапах її механічної обробки. Технологічні бази забезпечують встановлення деталі у фіксованому положенні відносно інструмента та робочих органів верстата, а також визначають характер копіювання та передачі похибок у процесі обробки.

На відміну від вимірювальних і складальних баз, які застосовуються лише під час контролю або складання, технологічні бази використовуються у виробничому процесі багаторазово — на різних операціях та переходах. Саме тому узгодження та стабільність вибору базових поверхонь напряму впливають на точність деталі та економічність усього технологічного маршруту.

Основним принципом при виборі баз є правило поєднання технологічних і конструкторських баз, тобто бажано забезпечити обробку відповідальних поверхонь від тих баз, від яких деталь працюватиме в складі виробу. Це дозволяє мінімізувати сумарні похибки, пов'язані з повторними установленнями.

У випадку ведучої шестерні технологічні бази повинні забезпечувати: надійне та жорстке закріплення деталі при мінімальній кількості установлень; можливість обробки максимальної кількості поверхонь за одну установку; зменшення похибок співвісності та радіального биття; забезпечення стабільного орієнтування деталі на токарних, шліфувальних і зубообробних верстатах.

У процесі обробки доцільно використовувати:

- циліндричну поверхню цапфи як установчу базу під час токарної та шліфувальної обробки; торцеву поверхню зубчастого вінця як опорну базу під час фрезерування та шліфування торців; внутрішній діаметр шліцьової частини як допоміжну базу при контролі співвісності.

Використання обраних базових поверхонь дозволяє проводити основні операції в мінімальній кількості установлень, що значно підвищує точність та повторюваність обробки.

Отже, обґрунтований вибір технологічних баз забезпечує досягнення вимог до точності геометричних параметрів шестерні, сприяє зниженню накопичення похибок та підвищує ефективність технологічного процесу.

3.7. Розробка структури та змісту технологічних операцій

Ефективність та точність механічної обробки значною мірою визначається правильним вибором технологічного оснащення, яке забезпечує надійне установлення, закріплення та орієнтування деталі при виконанні всіх технологічних операцій. До складу оснащення входять універсальні та спеціальні пристрої, ріжучий інструмент, контрольно-вимірювальні прилади, а також допоміжні елементи, що забезпечують стабільність процесу на кожному етапі виготовлення.

Основними вимогами до технологічного оснащення є: достатня жорсткість і міцність конструкції, що запобігає виникненню деформацій під дією сил різання; забезпечення повторюваності установлення деталі з мінімальними похибками; сумісність із верстатами та технологічними базами,

обраними для обробки; можливість оперативної переналагоди при серійному виробництві; зручність у роботі, надійність і довговічність.

Під час обробки ведучої шестерні раціонально застосовувати такі засоби оснащення:

1. Універсальні токарні патрони (трьох- і чотирьохкулачкові), які забезпечують надійне закріплення циліндричних поверхонь та допускають регулювання співвісності заготовки.

2. Центри та люнети, що забезпечують жорстку підтримку довгих заготовок і зменшують прогин під дією сил різання під час токарної та шліфувальної обробки.

3. Шліфувальні патрони та спеціальні оправки, що дозволяють точно орієнтувати деталь під час чистового шліфування цапф і зовнішніх діаметрів.

4. Пристрої для фрезерування шліців, зокрема ділильні головки та спеціальні фіксатори, які забезпечують фіксацію деталі з високою точністю кутового положення.

5. Зубообробне оснащення - різцеві головки, шевінгувальні інструменти та калібри — для формування профілю зубців та їх подальшої доводки.

6. Вимірювальні прилади - мікрометри, індикаторні головки, скоби та калібри-пробки, що забезпечують контроль розмірних параметрів як у процесі обробки, так і після її завершення.

Вибір оснащення виконується з урахуванням типу виробництва (серійне), конструктивних особливостей шестерні, вимог до точності, а також особливостей маршруту обробки. Ретельно підібране оснащення дозволяє мінімізувати похибки установа, забезпечити стабільність геометричних параметрів та знизити трудомісткість операцій, що в кінцевому результаті сприяє підвищенню ефективності та економічності технологічного процесу.

Структура технологічного процесу

Операція 005. Фрезерно-центрувальна

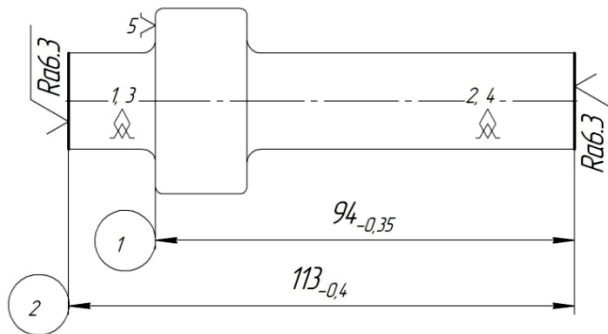
Верстат:

Фрезерно-центрувальний МР-76АМ

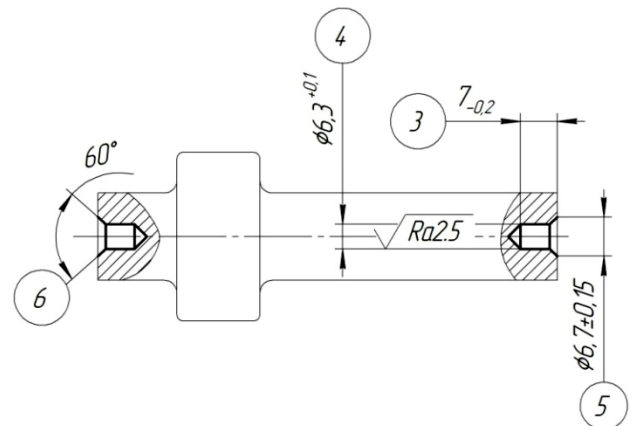
Зміст операції:

- Встановити деталь у пристрій та після виконання обробки зняти її.
- Виконати фрезерування торців згідно з розмірами 1 і 2.
- Просвердлити центрові отвори відповідно до розмірів 3, 4, 5 та 6.

Перехід 1



Перехід 2



Операція 010. Токарна з ЧПУ

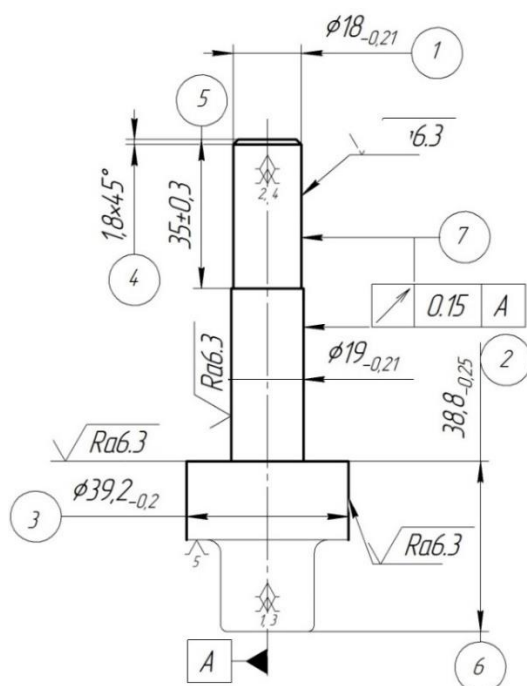
Верстат:

Вертикальний токарний

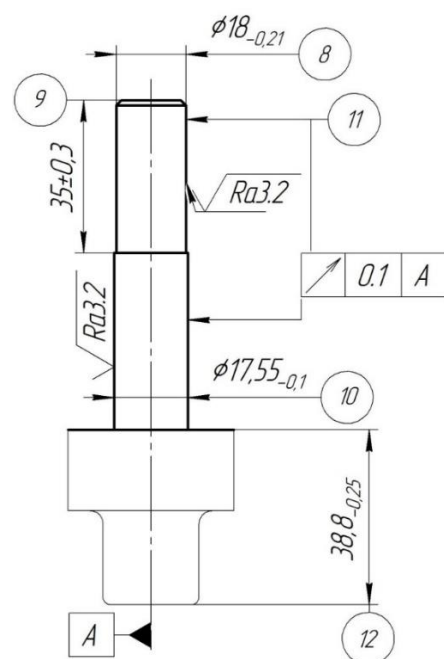
обробний центр HESSAPP DVT-320

Ескіз / переходи:

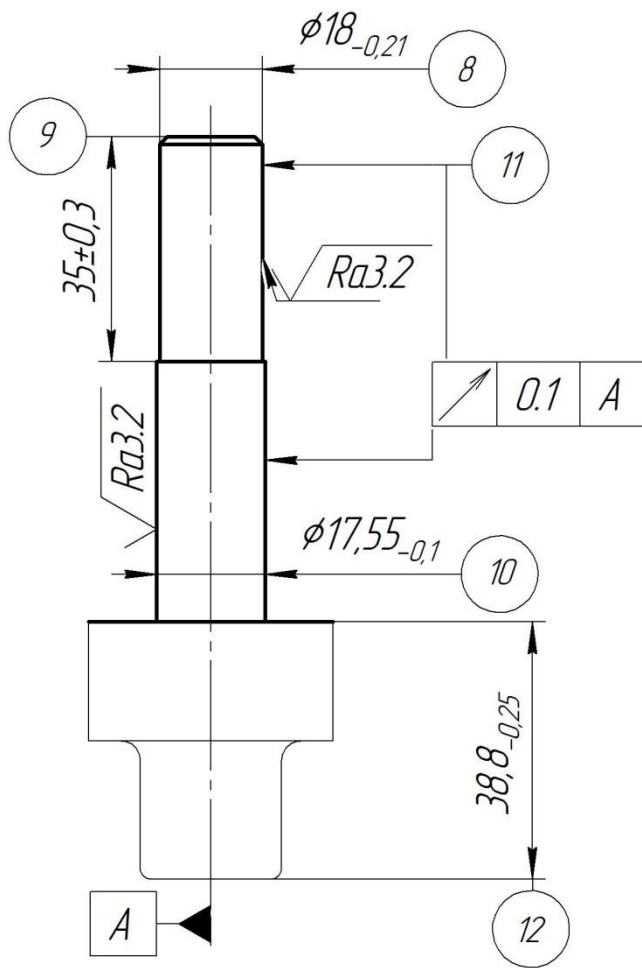
Перехід 2



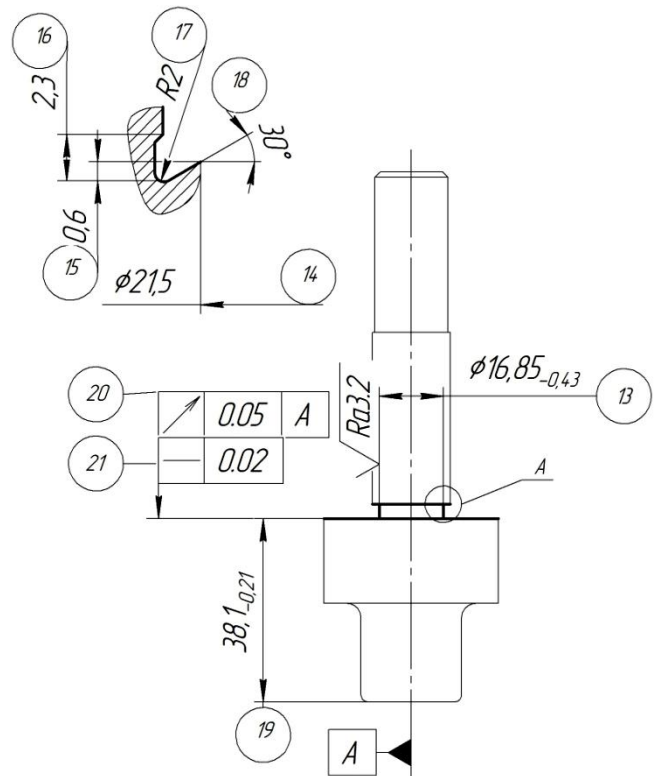
Перехід 3



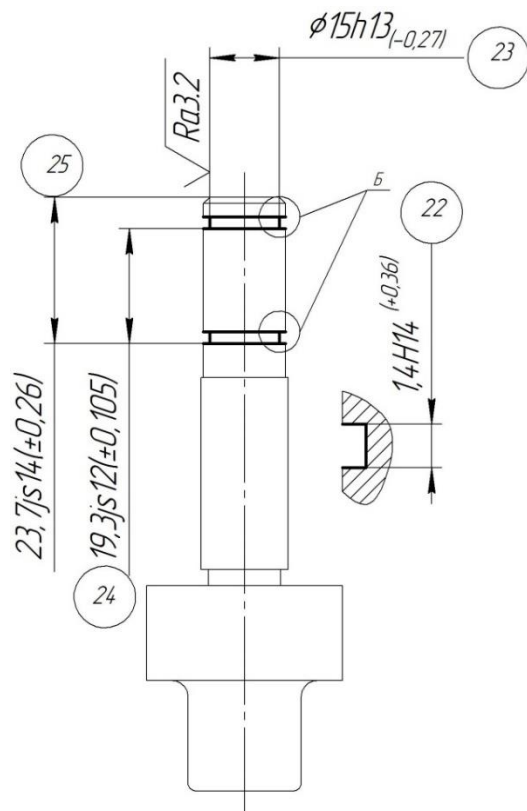
Перехід 3



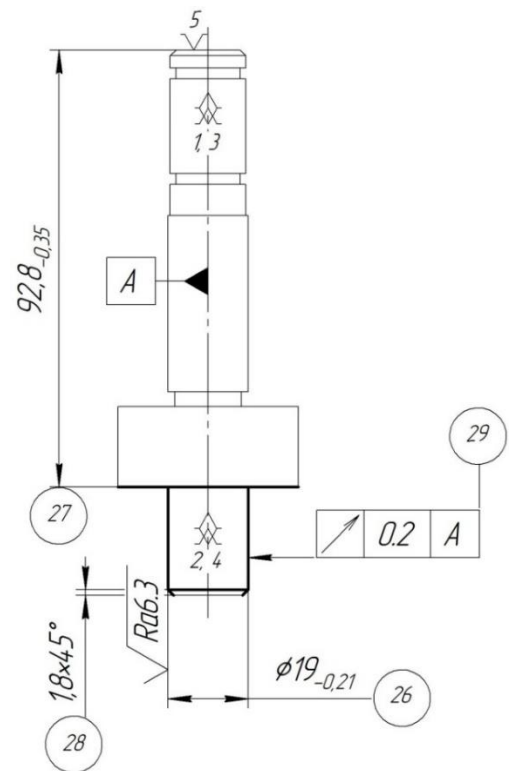
Перехід 4

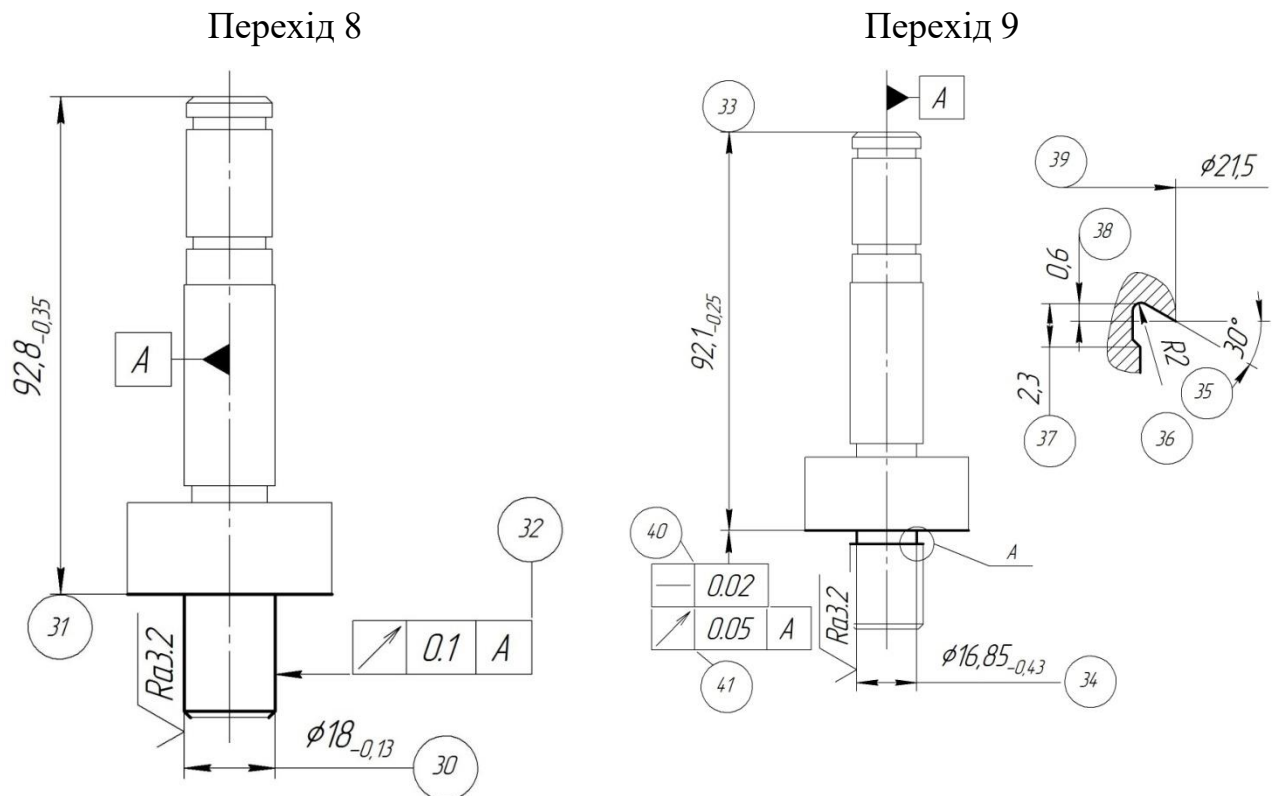


Перехід 5



Перехід 7





Зміст операції:

- Встановити деталь та надійно закріпити її в патроні.
- Обточити довгий кінець валу відповідно до розмірів 1–7.
- Виконати подальше точіння довгого кінця валу за розмірами 8–12.
- Обробити канавку, дотримуючись розмірів 13–21.
- Виконати точіння двох канавок згідно з розмірами 22–25.
- Перевстановити деталь у верхній контршпіндель для подальшої обробки.
- Обточити короткий кінець валу відповідно до розмірів 26–29.
- Здійснити точіння короткого кінця валу за розмірами 30–32.
- Обробити канавку відповідно до розмірів 33–41.

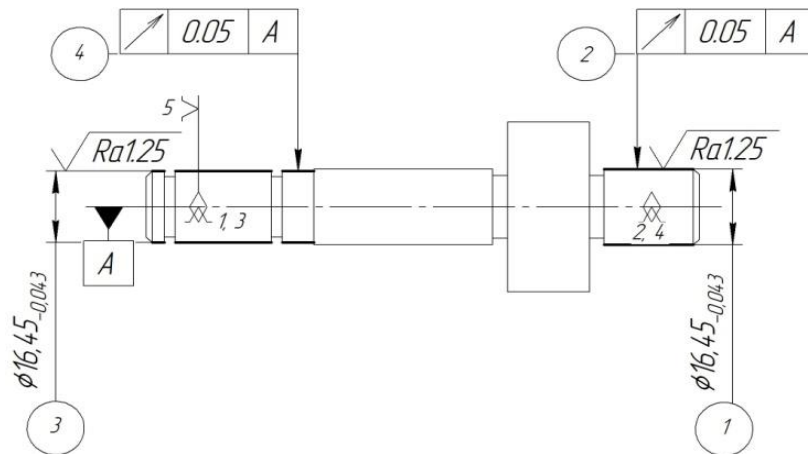
Операція 015. Круглошліфувальна з ЧПУ

Верстат:

Круглошліфувальний з ЧПУ 3М151Ф2

Ескіз / переходи:

Перехід 2



Зміст операції:

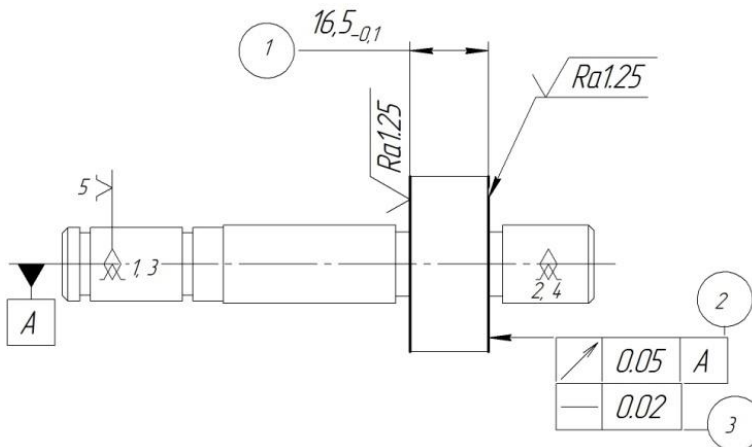
- Закріпити деталь перед обробкою та зняти її після завершення.
- Виконати шліфування шийки згідно з розмірами 1 і 2.

Операція 020. Торцешліфувальна

Верстат:

Торцешліфувальний 3Б153

Перехід 2



Зміст операції:

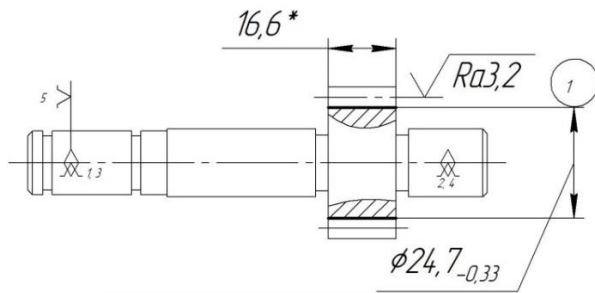
- Встановити та зняти деталь після виконання обробки.
- Одночасно обробити шліфуванням два торці, дотримавшись розмірів 1–3.

Операція 025. Зубодовбальна

Верстат:

Зубодовбальний 5122

Перехід 2



Модуль		m	3
Кількість зубців		z	10
Вихідний контур		-	ГОСТ 13755-81
Коеф. зміщення вихідного контура		x	+0,3458
Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E''_{as}	+0,11
	Нижнє	E''_{ai}	+0,02
Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За одерт	F''_i	0,070
	На зуб	f''	0,040
Допуск на похибку направлення зуба		F_β	0,02
Довжина нормалі		W	$14,52^{+0,21}_{-0,26}$

Зміст операції:

- Встановити деталь для довбання та зняти її після виконання переходу.
- Обробити зубці відповідно до розміру 1.

Операція 030. Зубошевінгувальна

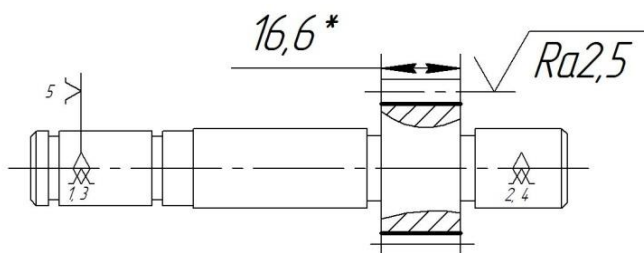
Верстат:

Зубошевінгувальний 5702В

Зміст операції:

- Встановити деталь у пристрій та зняти її після операції.
- Виконати шевінгування зубців для покращення їх точності

Перехід 2



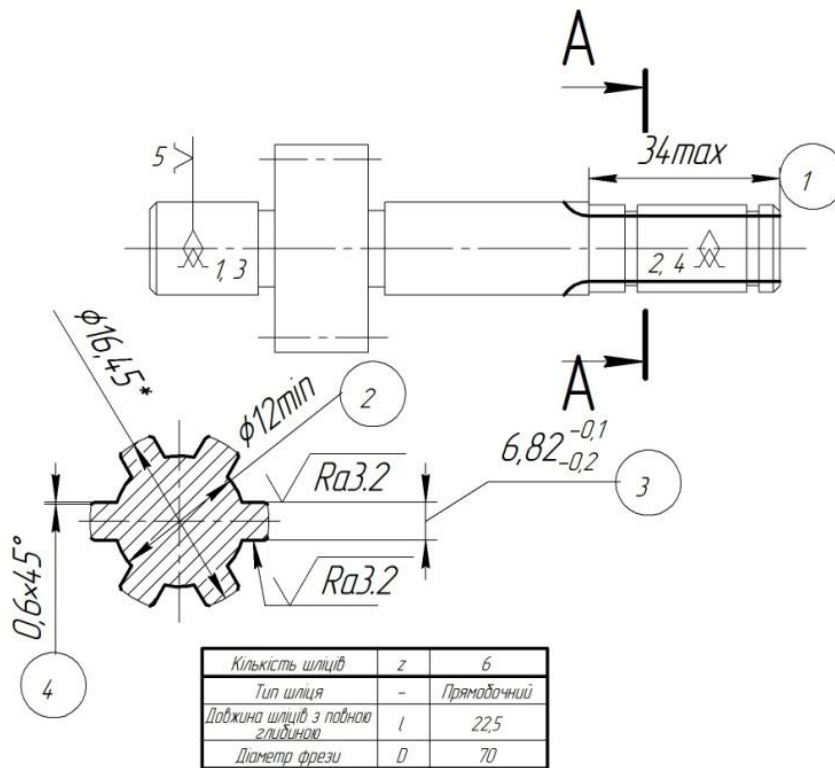
Модуль	m	z	
Кількість зубців	z	10	
Вихідний контур	-	ГОСТ 13755-81	
Коеф. зміщення вихідного контура	x	+0,3458	
Граничне відхилення міжцентрової відстані	Верхнє	E''_{as}	+0,01
	Нижнє	E''_{ai}	-0,08
Допуск на вимірювання міжцентрової відстані	За одерт	F''_i	0,045
	На зуб	f''	0,022
Допуск на похибку направлення зуба		F_β	0,015
Довжина нормалі	W		$14,415^{+0,21}_{-0,26}$

Операція 035. Шліцефрезерна

Верстат:

Шліцефрезерний 5В310П

Перехід 2



Зміст операції:

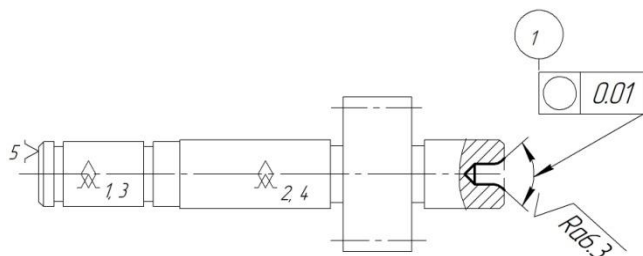
- Встановити деталь та зняти її після завершення процесу.
- Виконати фрезерування шліців згідно з розмірами 1–4.

Операція 040. Круглошліфувальна

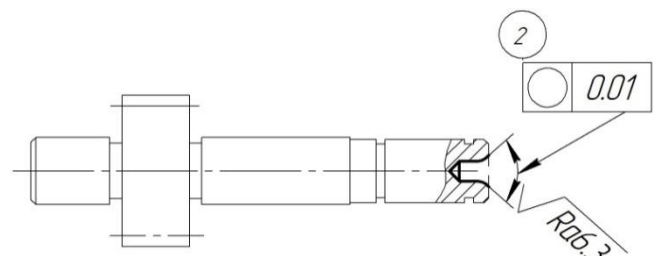
Верстат:

Круглошліфувальний 3А151

Перехід 2



Перехід 3



Зміст операції:

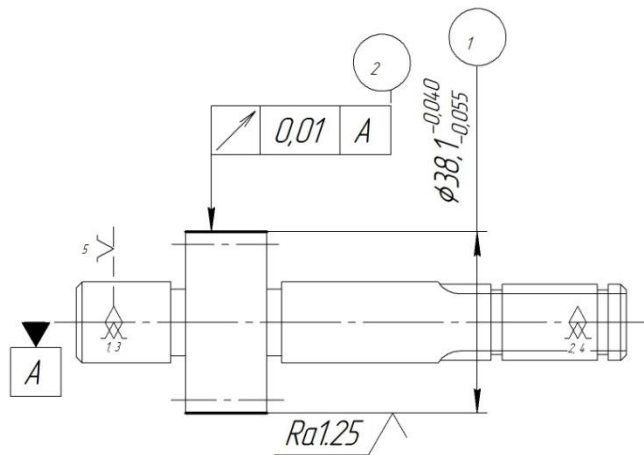
- Встановити деталь перед шліфуванням та зняти після його завершення.
- Виконати розкатування центрального отвору за розміром 1.

- Перевстановити деталь для наступного переходу.
- Розкатати центровий отвір відповідно до розміру 2.

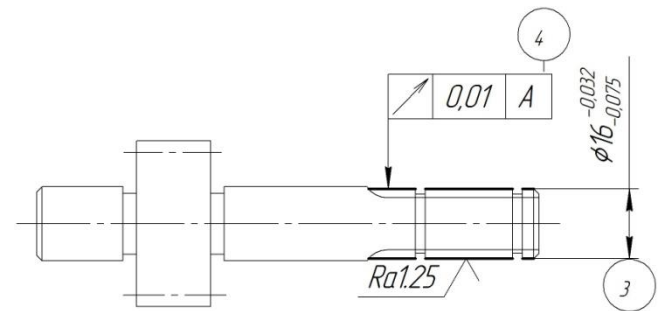
Операція 045. Круглошліфувальна з ЧПК

Верстат: Круглошліфувальний з ЧПК 3М151Ф2

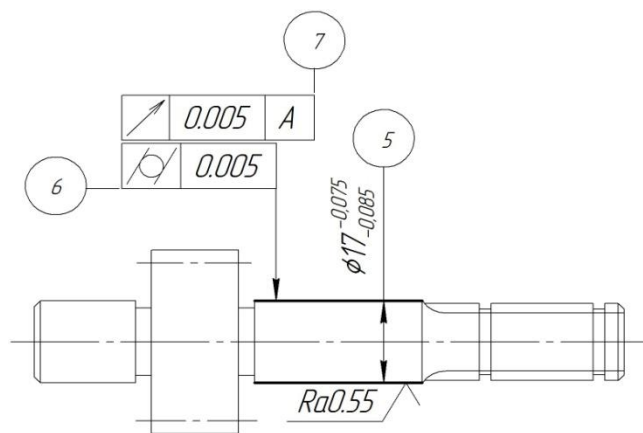
Перехід 2



Перехід 3



Перехід 4



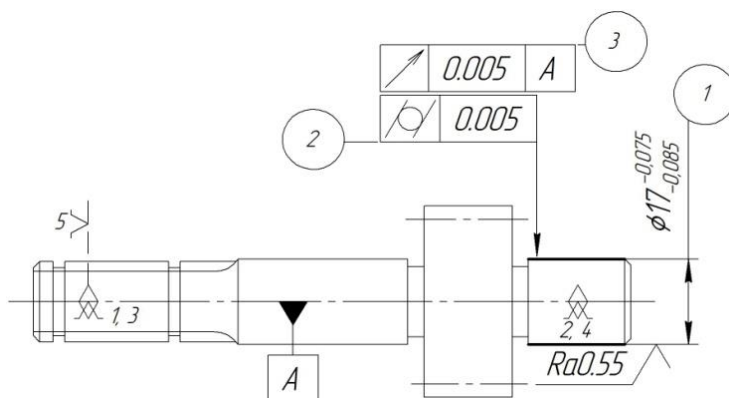
Зміст операції:

- Закріпити деталь перед обробкою та зняти після її завершення.
- Виконати шліфування зубчастого вінця відповідно до розмірів 1 і 2.
- Обробити зовнішню поверхню шліців згідно з розмірами 3 та 4.
- Виконати шліфування довгої цапфи відповідно до розмірів 5–7.

Операція 050. Круглошліфувальна

Верстат: Круглошліфувальний 3А151

Перехід 2



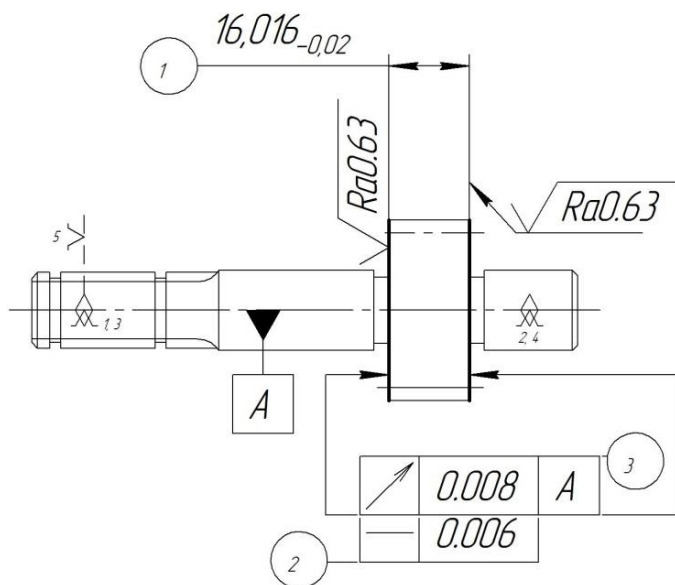
Зміст операції:

- Встановити деталь перед шліфуванням та зняти після операції.
- Виконати шліфування короткої цапфи згідно з розмірами 1–3.

Операція 055. Торцешліфувальна

Верстат: Торцешліфувальний 3Б153

Перехід 2



Зміст операції:

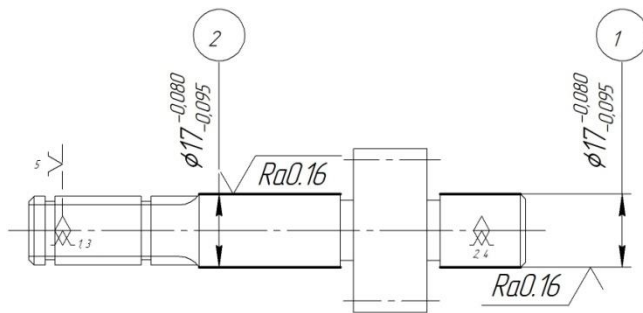
- Закріпити деталь та зняти після виконання обробки.
- Одночасно шліфувати торці зубчастого вінця відповідно до розмірів 1–3.

Операція 060. Суперфінішна

Верстат:

Суперфінішний 3Д879

Перехід 2



Зміст операції:

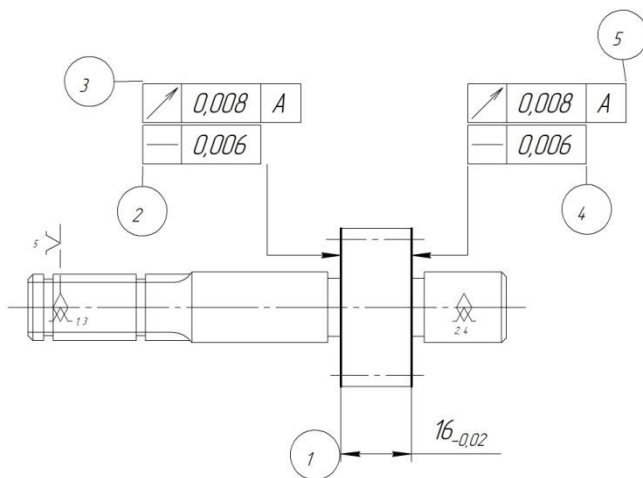
- Встановити деталь для суперфінішування та зняти її після завершення.
- Виконати одночасне суперфінішування двох шийок за розмірами 1 і 2.

Операція 065. Доводочна

Верстат:

Доводочний 020087

Перехід 2



Зміст операції:

- Встановити деталь у доводочний пристрій та зняти після операції.
- Виконати одночасне доведення двох торців згідно з розмірами 1–5.

Для реалізації технологічного процесу механічної обробки наведено перелік верстатів із зазначенням їх технічних характеристик. Таблиця містить основні параметри обладнання, що використовується під час обробки деталей.

Основне технологічне обладнання

№ операції	Найменування та модель верстату	Діапазон обертів шпинделя	Діапазон подач, мм/хв	Габарити (Д×Ш×В), мм	Маса, т	Потужність, кВт
005	Фрезерно-центрувальний МР-76М	270–1254	0,01–1,5	3300×1575	7	36
010	Токарний центр DVT-320	0–5000	0,16–1,6	4400×2400×3100	5	10
015	Круглошліфувальний 3М151Ф2	50–500	18–300	3400×1800×2170	4,5	–
020	Торцешліфувальний 3Б153	100–1500	0,63–5	3540×2010×1900	5,6	15
025	Зубодовбальний 5122	–	0,02–1,2	2000×1450×1965	4,4	18
030	Зубошівінгувальний 5702В	63–500	0,05–5	1820×1500×2120	5,3	14
035	Шліцефрезерний 5Б310П	80–250	0,02–1,2	2335×1550	4,7	15
040	Круглошліфувальний 3А151	50–500	0,01–1,5	3400×1800×2170	4,5	–
045	Круглошліфувальний 3М151Ф2	100–1500	3–45	5400×2400×2170	6,5	14
050	Круглошліфувальний 3А151	200–400	0,01–1,1	3400×1800×2170	4,5	–
055	Торцешліфувальний 3Б153	125–2500	–	3540×2010×1900	5,6	15
060	Суперфінішний 3Д879	20–400	–	4600×2170×2130	9,0	12
065	Доводочний 020087	30–75	–	2300×2200×1750	3,8	–

3.8. Вибір затискних пристроїв

Для забезпечення необхідної точності обробки ведучої шестерні деталь повинна бути надійно встановлена та закріплена. Вибір верстатних затискних пристроїв здійснюється з урахуванням теоретичної схеми базування, конструктивних особливостей деталі, застосовуваного методу обробки та типу виробництва. Пристрої для верстатів із ЧПК, як правило, не містять направляючих елементів для орієнтації ріжучого інструмента, але повинні забезпечувати швидке переналагодження на інші деталі подібної або близької форми. У таблиці 3.8 наведено узагальнену технічну характеристику вибраних затискних пристроїв.

Затискні пристрої

№ операції	Найменування пристосування	Стандарт	Вид приводу
005	Пристрій фрезерний	6490-6107	Пневматичний
010	Патрон 3-кулачковий самоцентруючий	2675-80	Пневматичний
015	Центр обертовий	8742-82	Механічний
020	Центр обертовий	2675-80	Механічний
025	Центр	7032-0032	Механічний
025	Поводок	1309-86	Механічний
030	Центр обертовий	8742-82	Механічний
030	Центр	7032-0032	Механічний
030	Поводок	1309-86	Механічний
035	Пристрій для зубодовбання	7520-6001	Механічний
035	Хомут	7520-4110	Механічний
040	Центр обертовий	8742-82	Механічний
040	Центр	7032-0032	Механічний
040	Поводок	1309-86	Механічний
045	Центр обертовий	8742-82	Механічний
045	Центр	7032-0032	Механічний
045	Поводок	1309-86	Механічний
050	Центр обертовий	8742-82	Механічний
050	Центр	7032-0032	Механічний
050	Поводок	1309-86	Механічний
055	Центр обертовий	8742-82	Механічний
055	Центр	7032-0032	Механічний
055	Поводок	1309-86	Механічний
060	Центр обертовий	8742-82	Механічний
060	Центр	7032-0032	Механічний
060	Поводок	1309-86	Механічний
065	Центр обертовий	8742-82	Механічний
065	Центр	7032-0032	Механічний
065	Поводок	1309-86	Механічний

3.9. Вибір ріжучих інструментів

Вибір ріжучих інструментів, для механічної обробки заданої деталі, здійснюється з врахуванням методу обробки, матеріалу деталі, різальних властивостей інструментального матеріалу і типу виробництва. Умови експлуатації інструментів на верстатах з ЧПК відрізняється від умов їх роботи

на універсальних верстатах, тому в основному застосовуються інструмент з механічним закріпленням різальних пластин. Вибір ріжучих інструментів здійснюється за довідниковими таблицями, а їх характеристика наведена в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9

Ріжучий інструмент

№ опер	№ пер.	Назва інструменту	Стандарт (код)	Ріжуча частина	
				Матеріал	ГОСТ
1	2	3	4	5	6
005	2	Фреза торцева Ø 100	19064-80	T15K6	3882-74
	3	Свердло центровочне Ø 3,15	14952-75	P6M5	19265-73
010	2	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	3	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	4	Різець канавочний	2126-4011	T5K10	3882-74
	5	Різець канавочний	2126-4054	T5K10	3882-74
	6	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	7	Різець прохідний	20872-80	T5K10	3882-74
	8	Різець канавочний	2126-4011	T5K10	3882-74
	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
020	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
025	2	Довбач дисковий m=3	9323-79	P6M5	19265-73
030	2	Шевер дисковий m=3	8570-80	P6M5	19265-73
035	2	Фреза шліцева	2520-4015	P6M5	19265-73
040	2	Розкатка	1417-6002	BK3M	3882-74
	4	Розкатка	1417-6002	BK3M	3882-74
045	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
050	2	Круг шліфувальний ПП60х50х305	2424-83	24A25PC2 CT16K8	-
055	2	Круг шліфувальний ЧК175х63х32	2424-83	24A25CM1 M3K8	-
060	2	АБС 125х80х5х20	106-87	СК-8-1-К	-

3.10. Вибір вимірювальних пристроїв

Під час вибору засобів технічного контролю для виконання вимірювальних операцій враховують такі ключові фактори: необхідну точність контролю, габаритні параметри деталі, стан та якість поверхні, що підлягає

вимірюванню, а також специфіку й масштаб виробництва. Для серійного та масового виробництва зазвичай обирають більш продуктивні та автоматизовані засоби контролю, тоді як у дрібносерійному застосовують універсальні вимірювальні прилади. Узагальнені дані щодо застосованих засобів технічного контролю наведено в таблиці 3.10. Засоби технічного контролю можуть бути поділені на три основні групи:

- універсальні вимірювальні інструменти - штангенциркулі, мікрометри, індикатори годинникового типу; застосовуються для широкого кола задач, особливо на підготовчо-налагоджувальних етапах.
- спеціальні та спеціалізовані пристрої - калібри, шаблони, призматичні та кутові контрольні пристрої; забезпечують високу швидкість контролю повторюваних операцій у серійному виробництві.
- автоматизовані системи контролю - координатно-вимірювальні машини (КВМ), лазерні сканери, оптичні системи; дозволяють виконувати високоточний багатовимірний контроль у режимі реального часу та інтегруються у виробничі лінії. Вибір конкретного засобу контролю має забезпечувати не тільки точність вимірювання, а й мінімальні витрати часу на операцію та відповідність вимогам системи управління якістю підприємства

Таблиця 3.10

Вимірювальний інструмент для контролю деталі

№ опер	№ пер.	Параметр деталі, що контролюється	Найменування інструменту	Стандарт (код)
1	2	3	4	5
005	2	Лінійний розмір 113 _{-0,4}	Калібр 113 _{-0,4}	8150-4806
010	3	Лінійний розмір 94 _{-0,35}	Калібр 94 _{-0,35}	8102-4455
		Діаметральні розміри Ø17,55 _{-0,1} Ø16 _{-0,21} Ø39,2 _{-0,2}	Калібр-пробка Ø17,55 _{-0,1} Ø16 _{-0,21} Ø39,2 _{-0,2}	8572-75
		Лінійні розміри 35±0,3 38,8 _{-0,25}	Шаблони 35±0,3 38,8 _{-0,25}	8384-4067 8384-4253
	4	Діаметральний розмір Ø16,85 _{-0,43}	Скоба 16,85 _{-0,43}	8551-75
	5	Діаметральний розмір	Скоба 15 _{-0,27}	8551-75

	6	Ø15 ^{-0,27} Лінійний розмір 92,8 ^{-0,35} Діаметральний розмір	Шаблон 92,8 ^{-0,35} Скоба 18 ^{-0,13}	8384-4449 8551-75
	7	Ø18 ^{-0,13} Діаметральний розмір	Скоба 16,85 ^{-0,43}	8551-75
015	2	Ø16,85 ^{-0,43} Діаметральний розмір	Скоба 16,45 ^{-0,043}	8551-75
		Ø16,45 ^{-0,043}		
020	2	Лінійний розмір 16,5 ^{-0,1}	Скоба 16,5 ^{-0,1}	8551-75
025	2	Допуск направлення зубців 0,02	Прибор для контролю	8532-4054
030	2	Допуск направлення зубців 0,015	Прибор для контролю	8532-4054
035	2	Ширина шліцу 3,5 ^{-0,1} ^{-0,2}	Скоба 3,5 ^{-0,1} ^{-0,2}	8551-75
040	2	Діаметральні розміри		
		Ø38,1 ^{-0,04} ^{-0,055}	Скоба 38,1 ^{-0,04} ^{-0,055}	8551-75
		Ø16 ^{-0,032} ^{-0,075}	Скоба 16 ^{-0,032} ^{-0,075}	8551-75
		Ø17 ^{-0,075} ^{-0,085}	Скоба 17 ^{-0,075} ^{-0,085}	8551-75
045	2	Діаметральний розмір	Скоба 17 ^{-0,075} ^{-0,085}	8551-75
		Ø17 ^{-0,075} ^{-0,085}		
050	2	Лінійний розмір 16,016 ^{-0,02}	Скоба 16,016 ^{-0,02}	8551-75
055	2	Діаметральний розмір	Скоба 17 ^{-0,08} ^{-0,095}	8551-75
		Ø17 ^{-0,08} ^{-0,095}		
060	2	Лінійний розмір 16 ^{-0,02}	Скоба 16 ^{-0,02}	8551-75

3.11. Розрахунок припусків

Після визначення плану обробки поверхонь та розроблення маршрутної технології виникає необхідність виконати розрахунок припусків на механічну обробку. Для зовнішньої циліндричної поверхні Ø17–0,08...–0,095 деталі *шестерня* припуски визначаємо згідно з класичною методикою професора Кована, яка широко застосовується у технологічному проєктуванні через свою надійність і достовірність.

Маршрут обробки обраної поверхні включає послідовність таких операцій:

1. Чорнове точіння – зняття основного шару припуску, формування базової геометрії.
2. Чистове точіння – уточнення профілю, досягнення більшої точності до шліфування.

3. Чорнове шліфування – усунення дефектів після різання, підвищення точності та зниження шорсткості поверхні.

4. Чистове шліфування – отримання необхідної точності та майже кінцевої шорсткості.

5. Суперфінішування – остаточне формування високоякісної поверхні з мінімальною шорсткістю, що суттєво впливає на довговічність роботи зубчастої передачі.

У якості заготовки застосовується **поковка**, для якої встановлено допуск: $\delta_x = 0,8$ мм (верхнє відхилення $+0,5$ мм, нижнє $-0,3$ мм).

Параметри припусків та елементи розмірного ланцюга для заготовки вибираємо згідно з табл. 3.3 [4], а нормативи та уточнені значення припусків для кожної операції механічної обробки – за табл. 3.5 [4].

Додаткова інформація:

- Методика Кована дозволяє врахувати всі складові припуску, зокрема похибки заготовки, деформації після попередніх операцій та технологічні погрішності кожного переходу.
- У разі застосування поковок припуски часто більші, ніж для литих заготовок, оскільки необхідно компенсувати можливі структурні нерівномірності та викривлення після термічної обробки.
- Послідовність “точіння → шліфування → суперфініш” характерна для поверхонь, що працюють у вузлах з підвищеними вимогами до контактної витривалості, таких як посадки під підшипники чи робочі циліндричні поверхні зубчастих коліс.
- Правильно підібрані припуски забезпечують не лише досягнення необхідної точності, але й оптимізацію витрат часу та ресурсу інструменту, що критично важливо у серійному та масовому виробництві.

Таблиця 3.12

Розрахунок припусків і граничних розмірів за технологічними переходами на обробку зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 17^{+0,08}_{-0,095}$.

Технологічні і переходи обробки отвору	Елементи припуску, мкм			Розрахунковий припуск	Розрахунковий розмір, d_p , мм	Допуск δ , мм	Граничний розмір, мм		Граничні відхилення, мкм	
	R_z	T	ρ				$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
Заготовка	700		1440		22,668	800	22,668	23,468		
Точіння чорн.	100	100	250	2x2140	18,388	180	18,388	18,568	4280	4900
Точіння чист.	50	50	58	2x450	17,488	70	17,488	17,558	900	1010
Шліф. чорн.	30	30	29	2x158	17,172	43	17,172	17,215	316	343
Шліф. чист.	10	20	14,4	2x89	16,994	18	16,994	17,012	178	203
Суперфініш	5	15	-	2x44,4	16,905	15	16,905	16,92	89	92

Для всіх технологічних переходів як установчі бази використовується вісь зовнішньої циліндричної поверхні та торцева база деталі. Оскільки деталь встановлюється в центрах, похибка позиціонування в радіальному напрямку дорівнює нулю, що є важливим фактором при визначенні кінцевого розміру поверхні.

Сумарне значення просторових відхилень ρ для деталі типу тіла обертання, встановленої в центрах із притисканням до торця, визначаємо за формулою згідно з табл. 3.7 [4]:

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}$$

де

$\rho_{зм}$ – зміщення форми заготовки (табл. 4.8 [4]),

$\rho_{кор}$ – величина короблення торцевої поверхні шестерні.

$$\rho_0 = \sqrt{0.8^2 + 1.2^2} = 1.44 \text{ мм} = 1440 \text{ мкм}$$

Залишкові просторові відхилення для кожного переходу оцінюємо за залежністю:

$$\rho_{зал} = k_y \times \rho_{кор};$$

де коефіцієнт k_y залежить від типу обробки.

Розраховані просторові відхилення становлять:

- чорнове точіння: $\rho_1 = 0,15 \times 1440 = \mathbf{250 \text{ мкм}}$
- чистове точіння: $\rho_2 = 0,04 \times 1440 = \mathbf{58 \text{ мкм}}$
- чорнове шліфування: $\rho_3 = 0,02 \times 1440 = \mathbf{29 \text{ мкм}}$
- чистове шліфування: $\rho_4 = 0,01 \times 1440 = \mathbf{14,4 \text{ мкм}}$

Мінімальні припуски визначають за формулою:

$$2z_{\text{мін}} = 2(R_{z-c-1} + T_{i-1} + \rho_{\text{кор}})$$

де ε_i – шорсткість або технологічна складова поточного переходу.

Отримані мінімальні припуски:

- під чорнове точіння
- під чистове точіння
- під чорнове шліфування
- під чистове шліфування
- під суперфініш

(числові значення збережені згідно з вихідними розрахунками)

Розрахункові розміри по переходах

Переходимо до визначення проміжних розмірів, починаючи з кінцевого розміру після суперфінішування (16,905 мм). Послідовно додаючи мінімальні припуски, отримуємо:

- чистове шліфування:
 $d_4 = 16,905 + 0,089 = \mathbf{16,994 \text{ мм}}$
- чорнове шліфування:
 $d_3 = 16,994 + 0,178 = \mathbf{17,172 \text{ мм}}$
- чистове точіння:
 $d_2 = 17,172 + 0,316 = \mathbf{17,488 \text{ мм}}$
- чорнове точіння:
 $d_1 = 17,488 + 0,9 = \mathbf{18,388 \text{ мм}}$
- розмір заготовки:
 $d_3 = 18,388 + 4,28 = \mathbf{22,668 \text{ мм}}$

Граничні припуски

Граничні розміри визначають, відштовхуючись від кінцевого розміру деталі. Формули:

$$Z_{\min}^{\text{пр}} = d_{\min i} - d_{\min i-1};$$

$$Z_{\max}^{\text{пр}} = d_{\max i} - d_{\max i-1};$$

Отримано:

- **Шевінгування:**

$$2Z_{\min 5} = 89 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 5} = 92 \text{ мкм}.$$

- **Чистове шліфування:**

$$2Z_{\min 4} = 178 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 4} = 203 \text{ мкм}.$$

- **Чорнове шліфування:**

$$2Z_{\min 3} = 316 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 3} = 343 \text{ мкм}.$$

- **Чистове точіння:**

$$2Z_{\min 2} = 900 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 2} = 1010 \text{ мкм}.$$

- **Чорнове точіння:**

$$2Z_{\min 1} = 4280 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\max 1} = 4900 \text{ мкм}.$$

Сумарні припуски:

- **$Z_{0\min} = 5763 \text{ мкм}$**

- **$Z_{0\max} = 6548 \text{ мкм}$**

Номінальний припуск:

$$Z_{0\text{ ном}} = Z_{0\min} + H_3 - H_d = 5763 + 300 - 15 = 6048 \text{ мкм};$$

Номінальний діаметр заготовки:

$$D_{3\text{ ном}} = D_{3,\text{ном}} + Z_{0\text{ ном}} = 16,905 + 6,048 = 22,953 \text{ мкм};$$

Припуски на інші поверхні визначають за нормативами і заносять у таблицю 3.13. На основі отриманих даних будується графічна схема розташування припусків та допусків для поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$

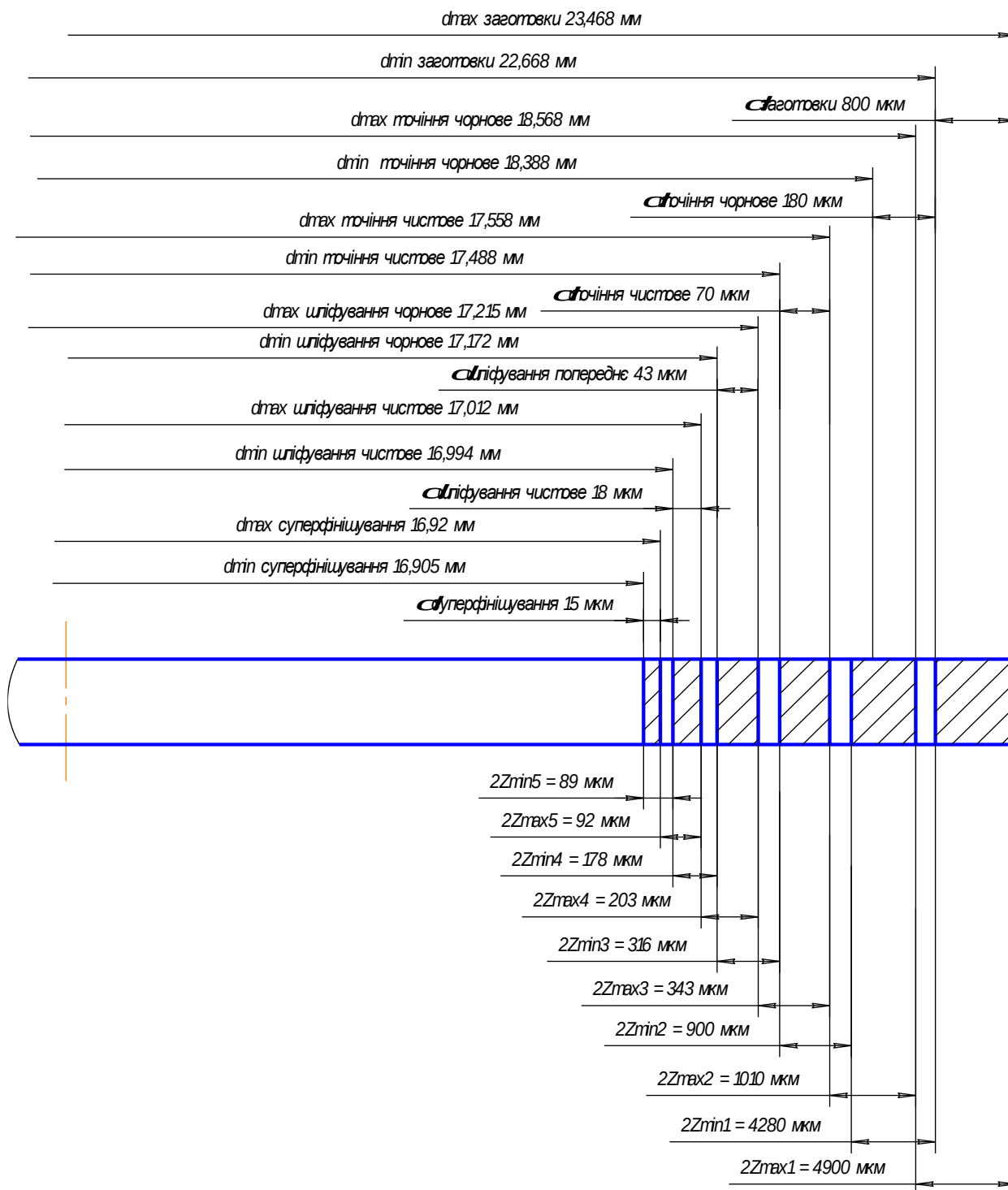


Рис. 3.3. Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку поверхні $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$ деталі

Зведена таблиця припусків на обробку шестерні

№ поверхні	Найменування поверхні та розмір	Припуск		Допуск
		Табличний	Визначений	
1	2	3	4	5
1, 14	Торці 113 _{-0,4}	2x2,5	-	+1,2 _{-0,5}
2	Зовнішня циліндрична $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$	-	3,03	+0,5 _{-0,3}
4, 6	Торці 16 _{-0,02}	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}
7	Зовнішня циліндрична $\varnothing 38,1^{-0,04}_{-0,055}$	2,5	-	+0,5 _{-0,3}
9	Зовнішня циліндрична $\varnothing 17^{-0,08}_{-0,095}$	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}
10	Зовнішня циліндрична $\varnothing 16^{-0,032}_{-0,075}$	2x3,0	-	+0,5 _{-0,3}

3.12. Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання виконуємо для деталі шестерня ведуча на операцію 010 – токарну обробку з використанням ЧПК.

Заготовка:

- спосіб отримання – поковка;
- стан поверхні – з окалиною (з коркою).

Верстат – токарний оброблювальний центр з ЧПК Hessel DVT-320.

Характеристика операції. Базування деталі здійснюється у трикулачковому патроні з додатковим підтиском заднім центром, що забезпечує надійне закріплення та достатню жорсткість системи *верстат–пристрої–інструмент–деталь*.

Вибір ріжучого інструменту.

Для токарної обробки застосовуємо прохідні різці з твердосплавними змінними пластинами. Переріз державки становить 20×20 мм, товщина пластини – 4,8 мм. З урахуванням умов різання приймаємо тригранну форму пластини з кутом при вершині 60° із твердого сплаву T5K10. Кріплення пластини здійснюється клином з прихватом.

Кути в плані обираємо:

- для обробки зовнішніх поверхонь: $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 30^\circ$;
- для обробки канавок: $\varphi = 90^\circ$; $\varphi_1 = 1^\circ$.

Геометричні параметри різальної частини різця:

- задній кут $\alpha = 5^\circ$;
- передній кут $\gamma = -6^\circ$;
- передня поверхня – плоска, з від’ємним переднім кутом;
- радіус заокруглення різальної кромки $\rho = 0,03$ мм;
- радіус вершини різця $r_\beta = 1,0$ мм.

Для різця, що обробляє канавки, приймаємо:

- задній кут $\alpha = 6^\circ$;
- передній кут $\gamma = 15^\circ$;
- передня поверхня – плоска з фаскою шириною $f = 0,4$ мм;
- радіус заокруглення різальної кромки $\rho = 0,03$ мм;
- радіус вершини різця $r_\beta = 0,6$ мм.

Нормативний період стійкості інструмента приймаємо $T = 60$ хв.

Визначення режимів різання для **другого переходу** – чорнове точіння по контуру. Глибина різання $t = 2,5$ мм. Кількість проходів $i = 1$.

Визначення подачі. Подачу при чорновому точінні визначаємо за узагальненою формулою:

$$s_0 = s_T \cdot K_S \cdot K_{Sp} \cdot K_{SD} \cdot K_{Sh} \cdot K_{SM} \cdot K_{Sy} \cdot K_{Sp} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{S\gamma},$$

де s_T – табличне (базове) значення подачі;

K_{Si} , K_{Sp} , K_{SD} , K_{Sh} , K_{SM} , K_{Sy} , K_{Sp} , $K_{S\phi}$, $K_{S\gamma}$ – поправочні коефіцієнти, які враховують відповідно:

- інструментальний матеріал;
- спосіб кріплення пластини;
- переріз державки різця;
- міцність різальної частини;
- механічні властивості матеріалу заготовки;
- схему закріплення заготовки;
- стан поверхні заготовки;
- геометрію інструмента в плані;

- жорсткість верстата.

Після підстановки числових значень:

$$s_0 = 0,21 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 0,75 = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Визначення швидкості різання. Швидкість різання обчислюємо за емпіричною формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^{X_v} \cdot s^{Y_v}} \cdot K_v$$

де C_v – постійна у формулі швидкості; X_v , Y_v , m – показники степенів;
 K_v – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_v = K_{vT} \cdot K_{vj} \cdot K_{vM} \cdot K_{v\phi},$$

Окремі коефіцієнти:

- K_{vT} – поправка на період стійкості та інструментальний матеріал:

$$K_{vT} = C_{vT} T^{m_{vT}} = 3,64560^{-0,398} = 0,6;$$

- K_{vj} – чинник, що враховує жорсткість верстата:

$$K_{vj} = C_{vj} D_c^{m_{vj}} = 0,201400^{0,242} = 0,86;$$

- K_{vM} – поправка на механічні властивості оброблюваного матеріалу:

$$K_{vM} = C_{vM} (HB)^{m_{vM}} = 18107720^{-1,288} = 0,9;$$

- $K_{v\phi}$ – поправка на геометрію інструмента в плані:

$$K_{v\phi} = C_{v\phi} \phi^{X_v} \varepsilon^{Y_v} = 3,6290^{0,004} 60^{-0,29} = 1,15;$$

Тоді:

$$K_v = 0,6 \cdot 0,9 \cdot 0,86 \cdot 1,15 = 0,53;$$

Розрахункова швидкість різання:

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,53 = 117 \text{ м/хв.};$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}$$

$$n_p = \frac{1000 \cdot 117}{3,14 \cdot 39,2} = 950 \text{ об/хв.},$$

де D – діаметр обробки. Отримане значення коригуємо згідно з паспортною сіткою частот обертання верстата й приймаємо $n_{пр} = 800$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 39,2 \cdot 800}{1000} = 98,5 \text{ м/хв.};$$

Перевірка по потужності привода головного руху.

Необхідну потужність різання визначаємо за формулою:

$$N = (C_N \cdot t^{X_N} \cdot s^{Y_N}) \cdot K_N,$$

де C_N – постійна у формулі потужності; X_N , Y_N – показники степенів;
 K_N – зведений поправочний коефіцієнт:

$$K_N = C_N \cdot (HB)^{X_N} = 0,0019 \cdot 720^{0,813} = 0,4$$

У результаті одержуємо:

$$N = 3,943 \cdot 2,5^{0,688} \cdot 0,2^{0,436} \cdot 0,4 = 1,31 \text{ кВт},$$

що не перевищує номінальної потужності привода головного руху верстата.

Основний час обробки:

$$T_o = \frac{L}{s \cdot n} \cdot i$$

де L – довжина робочого ходу:

$$L = l + l_1 + l_2$$

l – довжина оброблюваної ділянки; l_1 – довжина врізання;
 l_2 – довжина перебігу (при обробці «в упор» $l_3 = 0$).

Отриманий основний час:

$$T_{o1} = \frac{2,5 + 104,2 + 2,5}{0,2 \cdot 800} \cdot 1 = 0,68 \text{ хв.},$$

Визначення режимів різання на **третій перехід** – чистове точіння по контуру. Глибина різання $t = 1,0$ мм, кількість проходів $i = 1$. Для чистової обробки приймаємо тригранну пластину із кутом при вершині 60° з твердого сплаву Т15К6.

Подача:

$$s_o = s_T K_{SI} K_{Sp} K_{SD} K_{Sh} K_{SM} K_{Sy} K_{Sn} K_{S\phi} K_{Sy},$$

$$s_o = 0,251, 110, 95110, 90, 851, 150, 75 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання визначаємо за аналогічною формулою, як і для чорнового точіння, з урахуванням відповідних C_v , X_v , Y_v , m та K_v . Для даних умов:

$$K_v = K_{vT} \cdot K_{vj} \cdot K_{vM} \cdot K_{v\phi}, K_v = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,94$$

Отже, швидкість різання:

$$V = \frac{292}{60^{0,18} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,1^{0,3}} \cdot 0,94 = 262 \text{ м/хв};$$

Частота обертання шпинделя:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 262}{3,14 \cdot 39,2} = 2087 \text{ об/хв},$$

за паспортом верстата і приймаємо $n_{пр} = 1200$ об/хв.

Фактична швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \cdot 39,2 \cdot 1200}{1000} = 148 \text{ м/хв.}$$

Основний час розраховуємо за тією ж формулою:

$$T_o = \frac{L}{s \cdot n} \cdot i$$

і в результаті отримуємо:

$$T_{o2} = \frac{2,5 + 97,2 + 2,5}{0,1 \cdot 1200} \cdot 1 = 0,85 \text{ хв.}$$

Визначення режимів різання на **четвертий перехід** – точіння канавки

Застосовується канавочний різець, ріжуча частина – твердий сплав Т5К10.

Глибина різання $t = 2,3$ мм; кількість проходів $i = 1$.

Подача:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

де s_T – табличне значення; K_{Si} , K_{Sp} , K_{SM} , K_{Sy} – коефіцієнти, що враховують:

- інструментальний матеріал;
- спосіб кріплення пластини;
- механічні властивості матеріалу;
- схему закріплення заготовки.

Після підстановки:

$$s_o = 0,110,95 \cdot 11,1 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{47}{45^{0,2} \cdot 0,1^{0,8}} \cdot 0,6 = 83 \text{ м/хв};$$

Частота обертання:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 16,85} = 1568 \text{ об/хв},$$

за паспортом верстату приймаємо $n_{пр} = 800$ об/хв.

Фактична швидкість:

$$V = \frac{3,14 \cdot 16,85 \cdot 800}{1000} = 42,3 \text{ м/хв.}$$

Основний час:

$$T_{oz} = \frac{2,5 + 12}{0,1 \cdot 800} \cdot 1 = 0,38 \text{ хв},$$

Визначення режимів різання на **п'ятий перехід** – точіння двох канавок

Різець – канавочний, матеріал ріжучої частини – Т5К10.

Глибина різання $t = 1,4$ мм, кількість проходів $i = 2$.

Подача визначається за тією ж формулою:

$$s_o = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

Швидкість різання, частоту обертання, фактичну швидкість та основний час обробки розраховуємо аналогічно до попереднього переходу (4.13.3), при $KV = 0,6$.

Визначення режимів різання на **сьомий перехід** – чорнове точіння по контуру. Для сьомого переходу приймаємо ті ж вихідні умови, що й для другого (чорнове точіння):

$$t = 2,5 \text{ мм}; i = 1.$$

Подача за формулою:

$$s_o = s_T \cdot K_S \cdot K_{Sp} \cdot K_{SD} \cdot K_{Sh} \cdot K_{SM} \cdot K_{Sy} \cdot K_{Sn} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sy},$$

Швидкість різання обчислюємо за тією ж залежністю, що й у п. 4.13.1, з урахуванням:

$$s_o = 0,21 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1,3 \cdot 0,75 = 0,2 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{420}{60^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,2^{0,2}} \cdot 0,53 = 117 \text{ м/хв.};$$

частота обертання:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 117}{3,14 \cdot 19} = 1659 \text{ об/хв.},$$

фактична швидкість:

$$V = \frac{3,14 \cdot 19 \cdot 1500}{1000} = 89,5 \text{ м/хв.}$$

Перевірку по потужності проводимо аналогічно до п. 4.13.1. Отримана потужність N не перевищує номінальної потужності привода головного руху верстата.

Основний час:

$$T_{01} = \frac{2.5 + 21.5 + 2.5}{0.2 \cdot 1500} \cdot 1 = 0.08_{\text{хв.}}$$

Визначення режимів різання на **восьмий перехід** – чистове точіння по контуру. Глибина різання $t = 1,0$ мм, $i = 1$. Застосовується тригранна твердосплавна пластина Т15К6 (кут при вершині 60°).

Подача:

$$s_0 = 0,251,110,95110,90,851,150,75 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Для швидкості різання:

$$K_V = K_{VT} \cdot K_{Vj} \cdot K_{VM} \cdot K_{V\phi},$$

$$K_V = 0,9 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1 = 0,94$$

За розрахунком частота обертання прийнята $n_{пр} = 1200$ об/хв, далі визначається фактична швидкість різання v_f і основний час t_0 за стандартними формулами.

Визначення режимів різання на **дев'ятий перехід** – точіння канавки

Канавочний різець із ріжучою частиною з твердого сплаву Т5К10. Глибина різання $t = 2,3$ мм; $i = 1$.

Подача:

$$s_0 = s_T K_{Si} K_{Sp} K_{SM} K_{Sy},$$

Швидкість різання:

$$V = \frac{47}{45^{0.2} \cdot 0,1^{0.8}} \cdot 0,6 = 83 \text{ м/хв};$$

Частота обертання за формулою:

$$n_p = \frac{1000 \cdot 83}{3,14 \cdot 16.85} = 1568 \text{ об/хв},$$

Фактична швидкість різання v_f та основний час t_0 розраховуються аналогічно попереднім переходам.

Підсумковий основний час на всю операцію:

$$T_{\text{ос}} = 0,68 + 0,85 + 0,38 + 0,11 + 0,08 + 0,22 + 0,38 = 2,7 \text{ хв.}$$

Для решти операцій елементи режимів різання приймаємо за нормативними довідниками. Отримані значення режимів заносяться в таблицю 3.14.

Таблиця 3.14

Зведена таблиця режимів різання на операції механічної обробки

Номер		t, мм	S _o , мм/об; мм/хв	V, м/хв	n, об/хв	t _o , хв
Операції	Переходу					
1	2	3	4	5	6	7
005	2	3,5	280	117	300	0,18
	3	1,575	0,05	14	1125	0,18
010	2	2,5	0,2	98,5	800	0,68
	3	1	0,1	148	1200	0,85
	4	2,3	0,1	42,3	800	0,63
	5	1,4	0,1	37,68	800	0,06
	6	2,5	0,2	47,7	1500	0,08
	7	1	0,1	67,8	1200	0,22
	8	2,3	0,1	42,3	800	0,38
015	2	0,25	0,64	35	300	0,11
020	2	0,3	0,3	50	180	0,28
025	2	0,8	0,45	15,5	205	5,45
030	2	0,12	56	20	50	2,55
035	2	2,9	1,2	56	224	1,96
040	2	0,1	0,1	35	1320	0,06
	4	0,1	0,1	35	1320	0,06
045	2	0,03	0,02	35	150	0,73
	3	0,02	0,02	50	150	0,425
	4	0,02	0,02	50	150	0,31
050	2	0,03	0,03	50	180	0,38
055	2	0,02	0,02	35	180	0,4
060	2	0,005	-	17	300	0,14
065	2	0,005	0,0015	70	300	0,78

3.13. Технічне нормування операцій

Норми часу на виконання операцій визначаються розрахунковим методом. Проведемо розрахунок штучно-калькуляційного часу для операції 010 - токарної обробки з ЧПК ведучої шестерні.

Основний технологічний час становить:

$$t_0 = 2,7 \text{ хв.}$$

Допоміжний час включає такі складові:

- **час на встановлення та закріплення заготовки:**

$$td_1 = 0,08 \text{ хв [4, ст.197];}$$

- **додатковий час, пов'язаний із виконанням операції**, що включає ввімкнення верстата, контроль повернення інструмента у вихідну позицію після обробки, а також операції зі встановлення та зняття захисного щитка:

$$td_2 = 0,15 + 0,03 = 0,18 \text{ хв [5, к.14];}$$

- **час на виконання контрольних вимірювань:**

$$td_3 = 0,74 \text{ хв [5, к.15].}$$

Сумарний допоміжний час дорівнює:

$$T_d = td_1 + td_2 + td_3 = 0,08 + 0,18 + 0,74 = 1,0 \text{ хв.}$$

Час автоматичної роботи верстата визначаємо за формулою:

$$T_{ц,а} = T_0 + T_{мв},$$

де $T_{мв}$ – машинно-додатковий час, $T_{мв} = 0,862 \text{ хв [6, ст.454].}$

Отже:

$$T_{ц,а} = 2,7 + 0,862 = 2,882 \text{ хв.}$$

Час на технічне та організаційне обслуговування, а також на відпочинок і особисті потреби приймаємо у відсотковому відношенні до оперативного часу:

$$\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{осп} = 8\% [5, к.16].$$

Норма штучного часу визначається за стандартною методикою. Норма штучно-калькуляційного часу розраховується за формулою:

$$T_{шт-к} = T_{шт} + T_{пз} / n,$$

де $T_{пз}$ – підготовчо-заклучний час, $n = 6000 \text{ шт}$ — річна програма випуску.

Підготовчо-заклучний час приймаємо:

$$T_{пз} = 8 + 8 = 16 \text{ хв.}$$

Тоді:

$$T_{шт-к} = 4,193 + 16/6000 = 4,197 \text{ хв.}$$

Отримані результати для інших операцій заносяться до таблиці 3.20.

Таблиця 3.20

Результати технічного нормування

№ опер.	t_o , хв	t_d , хв	$t_{тех}$, В % від $t_{оп}$	$t_{орг}$, В % від $t_{оп}$	$t_{осп}$, В % від $t_{оп}$	$t_{шт}$, хв	$t_{п-з}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
005	0,36	0,72	6,5%			1,15	18	1,154
010	2,7	1,0	8%			4,193	16	4,197
015	0,11	0,45	7%			0,599	14	0,603
025	0,28	0,45	7%			0,781	14	0,785
030	5,45	0,76	6,5%			6,71	18	6,714
035	2,55	0,76	6,5%			3,525	18	3,529
040	1,96	0,68	6,5%			2,812	18	2,816
045	0,12	0,34	7%			0,492	14	0,495
050	1,465	0,45	7%			1,79	14	1,793
055	0,38	0,45	7%			0,888	14	0,891
060	0,4	0,45	7%			0,91	14	0,913
065	0,14	0,58	7%			0,77	14	0,773
090	0,78	0,44	7%			1,305	14	1,308

Графічні результати розрахунків

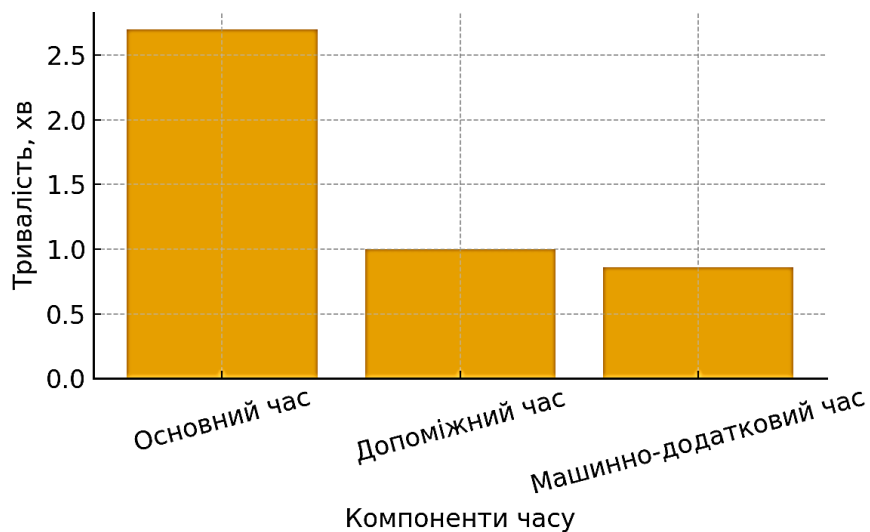


Рис.3.3. Структура часу операції

На графіку наведено порівняння основного, допоміжного та машинно-додаткового часу. Основний технологічний час становить 2,7 хв; допоміжний – 1,0 хв; машинно-додатковий – 0,862 хв.

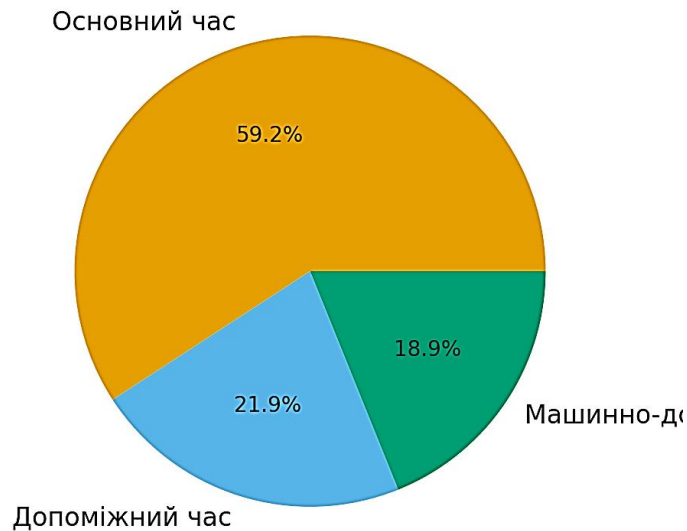


Рис.3.4. Розподіл часу операції

Кругова діаграма демонструє співвідношення між компонентами часу: 59,2% – основний час, 21,9% – допоміжний, 18,9% – машинно-додатковий. Це відображає структуру витрат часу під час виконання операції.

Графічні матеріали дозволяють наочно оцінити структуру витрат часу під час обробки деталі на верстаті з ЧПК. Найбільшу частку займає основний технологічний час. Аналіз дає можливість визначити напрями оптимізації – скорочення допоміжних дій, поліпшення організації робочого місця, оптимізація програмних переміщень інструмента.

4. Економічна частина

4.1. Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць, зайнятих у виготовленні даної деталі, розраховують у такій послідовності.

Потрібну кількість робочих місць на операціях проектного технологічного процесу визначаємо за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{\partial pm} \cdot 60 \cdot k_g}, \quad (4.1)$$

де $t_{um(i)}$ - штучний час i -ої операції, хв.;

$F_{\partial pm}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання, годин;

$$F_{\partial pm} = F_n S (1 - 0,01 f), \quad (4.2)$$

де $F_{\partial pm}$ - номінальний (режимний) фонд часу роботи обладнання в одну зміну, годин (визначається щорічно за календарем);

S - режим (кількість змін) роботи цеху;

f - регламентований процент втрат робочого часу, пов'язаний з плановими простоюваннями обладнання під час планових ремонтів та міжремонтного обслуговування. Для механообробного обладнання величина f може складати 8-10% [1, с. 4];

$$F_{\partial pm} = (365 - 104 - 11) \cdot 8 \cdot 2 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 3680 \text{ год.}$$

k_g - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно [1, с. 4]).

На операції 005 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{6000 \cdot 1,15}{3680 \cdot 60 \cdot 1,0} = 0,031$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведемо до табл. 4.1.

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (4.3)$$

$$\eta_{з(1)} = \frac{0,031}{1} = 0,031$$

Середній коефіцієнт завантаження робочих місць на усіх операціях технологічного процесу виготовлення деталі:

$$\bar{\eta}_з = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,74}{13} = 0,06 \quad (4.4)$$

де $q_{np(i)}$ - прийнята (ціла) кількість робочих місць;

m - кількість операцій технологічного процесу.

Таблиця 4.1

Розрахунок завантаження обладнання

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}, \text{хв.}$	Кількість обладнання		$\eta_з$	$\bar{\eta}_з$
			q_p	q_{np}		
005	Фрезерно-центрувальна	1,15	0,031	1	0,031	0,06
010	Токарна з ЧП	4,193	0,114	1	0,114	
015	Кругло шліфувальна	0,599	0,016	1	0,016	
020	Кругло шліфувальна	0,781	0,021	1	0,021	
025	Торцешліфувальна	6,71	0,182	1	0,182	
030	Зубодовбальна	3,525	0,096	1	0,096	
035	Зубошевінгувальна	2,812	0,076	1	0,076	
040	Шліцефрезерна	0,492	0,013	1	0,013	
050	Круглошліфувальна з ЧПК	1,79	0,049	1	0,049	
055	Кругло шліфувальна	0,888	0,024	1	0,024	
060	Торце-кругло шліфувальна	0,91	0,025	1	0,025	
065	Суперфінішна	0,77	0,021	1	0,021	
070	Доводочна	1,305	0,035	1	0,035	
	Всього	25,925	0,704	13	0,704	

4.2. Розрахунок календарно-планових нормативів

До календарно-планових нормативів серійного виробництва належать:

- розмір партії деталей;
- кількість запусків партії деталей;
- періодичність (ритм) запуску-випуску партії деталей;
- тривалість операційних та технологічних циклів обробки деталі;
- розмір циклового запасу деталей.

Розмір партії деталей розраховуємо у два етапи: спочатку визначимо розрахунковий розмір партії, а потім цю величину скорегуємо з урахуванням виробничих умов.

Для визначення розрахункового розміру партії деталей n_p скористаємося другим методом [1, с. 5], який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заключний час не перевищує 30 хв.). Щоб не допускати частих переналагоджувань обладнання, час виготовлення партії деталей на найбільш продуктивній операції не повинен бути меншим, ніж половина зміни. Тобто:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot F_{зм}}{t_{ум}^{\min}}, \quad (4.5)$$

де $F_{зм}$ – дійсний фонд часу зміни (440 хв.)

$t_{ум}^{\min}$ – штучний час найбільш продуктивної операції:

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{0,492} \approx 447 \text{ шт.};$$

Для спрощення планування та обліку, партія деталей повинна укладатися в річну програму запуску ціле число разів. Тому, після визначення розрахункової кількості партій протягом року за формулою:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{6000}{447} = 13, \quad (4.6)$$

визначимо фактичну кількість партій (A_{ϕ}) шляхом підбору найближчого до A_p цілого значення з уніфікованого ряду:

1, 2, 4, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 52, 104, 250,

після чого скорегуємо, відповідно до отриманого значення A_{np} , розмір партії деталей:

$$A_{np} = 12;$$

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_{\phi}} = \frac{6000}{36} = 500 \text{ шт.} \quad (4.7)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_{\phi}} = \frac{252}{12} = 21 \text{ роб. днів,} \quad (4.8)$$

де T_p - кількість робочих днів протягом року.

Тривалість багатоопераційного виробничого циклу виготовлення партії деталей залежить від тривалості операційних циклів, способу їхнього сполучення у часі (прийнятого виду руху партії деталей) та часу межопераційних перерв.

Тривалість операційного циклу:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{\kappa-\partial(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (4.9)$$

де n_{np} - остаточно прийнятий розмір партії деталей, шт.;

$t_{\kappa-\partial(i)}$ - калькуляційно-дійсний час на даній детале-операції, хв.

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{ум(i)}}{k_{\epsilon} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-з(i)}}{n_{np}}, \quad (4.10)$$

де k_{ϵ} - коефіцієнт виконання норм на даній операції;

$p_{m(i)}$ - технологічна партія деталей (кількість деталей, що одночасно оброблюються в багатопозиційному пристосуванні), шт.

$q_{np(i)}$ - кількість робочих місць, які працюють на даній операції паралельно.

Наприклад, для першої операції техпроцесу:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{1,15}{1,0 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{15}{500} = 1,180 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{500 \cdot 1,180}{2 \cdot 440} = 0,67 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{к-д(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахунок тривалості циклу

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	$t_{n-з}$, хв.	$t_{к-д}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
005	Фрезерно-центрувальна	1,15	15	1,180	0,67	0,35
010	Токарна з ЧП	4,193	20	4,233	2,40	0,35
015	Кругло шліфувальна	0,599	18	0,635	0,36	0,35
020	Кругло шліфувальна	0,781	18	0,817	0,46	0,35
025	Торцешліфувальна	6,71	18	6,746	3,83	0,35
030	Зубодовбальна	3,525	24	3,573	2,03	0,35
035	Зубошевінгувальна	2,812	24	2,860	1,63	0,35
040	Шліцефрезерна	0,492	18	0,528	0,30	0,35
050	Круглошліфувальна з ЧПК	1,79	18	1,826	1,04	0,35
055	Кругло шліфувальна	0,888	18	0,924	0,53	0,35
060	Торце-кругло шліфувальна	0,91	18	0,946	0,54	0,35
065	Суперфінішна	0,77	16	0,802	0,46	0,35
070	Доводочна	1,305	16	1,337	0,76	0,35
	Всього	28,52	20	26,407	15,00	4,55

Для даної партії деталей може бути обраний послідовний рух, який рекомендується приймати при груповому розташуванні обладнання, невеликій масі деталей та тривалості операційних циклів, що в середньому не перевищують два дні [1, с. 7].

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 15,00 + 4,55 = 19,55 \text{ днів}, \quad (4.11)$$

де t_{mo} - час міжопераційної перерви, днів.

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,3 \cdot 15,00}{13} = 0,35 \text{ днів}, \quad (4.12)$$

Графік послідовного виду руху партії деталей «шестерня ведуча» представлено на рис. 4.1.

Середній розмір *циклового запасу* деталей визначається за формулою:

$$Z_{\text{ц}} = \frac{n_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ц}}}{R_{\text{з}}} = \frac{500 \cdot 19,55}{21,0} = 466 \text{ шт.}, \quad (4.13)$$

де $T_{\text{ц}}$ - тривалість виробничого циклу виготовлення партії деталей, дн.

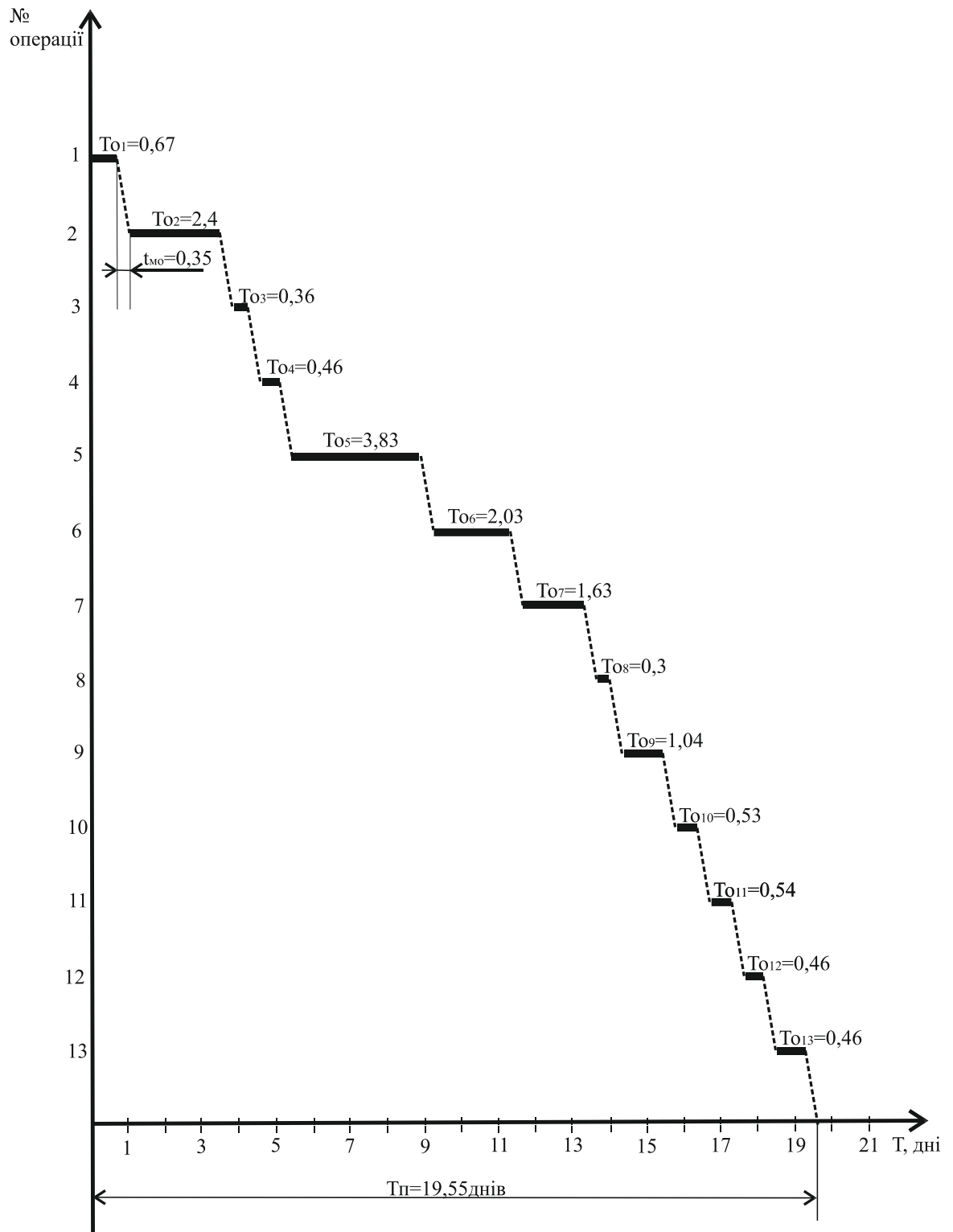


Рис. 4.1. Графік послідовного виду руху партії деталей
«шестерня ведуча» 500 шт.

4.3. Визначення чисельності основних робітників цеху

До основних належать робітники, безпосередньо зайняті виконанням технологічних операцій. Їх чисельність у серійному виробництві визначається за формулою:

$$R_o = \frac{T_p}{F_{\partial p}}, \quad (4.14)$$

де T_p - трудомісткість річної виробничої програми, нормо-годин.

$$T_p = N_z \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{um_i}}{60} \cdot K_{\partial ov} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (4.15)$$

де $K_{\partial ov}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного (η_{zn}) для даного типу виробництва [1, дод. Д1]:

$$K_{\partial ov} = \frac{\eta_{zn}}{\bar{\eta}} = \frac{0,85}{0,06} = 14,2 \quad (4.16)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15...20\%$ [1, с. 8];

$F_{\partial p}$ - дійсний річний фонд часу роботи одного робітника, год. (залежить від номінального фонду часу поточного року F_n , зменшеного на процент невиходів на роботу з поважних причин C_n (8...10%)):

$$F_{\partial p} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (4.17)$$

$$T_p = 6000 \cdot \frac{28,52}{60} \cdot 14,2 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 48598 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{48598}{1840} = 27 \text{ особи.}$$

4.4. Аналіз варіантів технологічного процесу

Для того, щоб довести доцільність впровадження запропонованого у даній дипломній роботі варіанту технологічного процесу, необхідно зробити його економічний аналіз. Цей аналіз здійснюється шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (4.1)$$

де V – змінні витрати у технологічній собівартості, величина яких змінюється пропорційно зміні обсягу випуску продукції, грн./рік.

P – постійні витрати, величина яких не змінюється або змінюється неістотно в залежності від зміни річного випуску продукції грн./рік.

Порівнюючи варіанти технологічного процесу, проаналізуємо та зіставимо лише ті статті витрат, величина яких змінюється при переході від одного варіанту до іншого.

4.4.1. Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен}, \quad (4.2)$$

де M_o – вартість основних матеріалів (не змінюються у порівнюваних варіантах техпроцесу, тому не розраховуються), грн.;

$Z_{одв}$ – заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з урахуванням єдиного соціального внеску, грн.;

E_c – витрати на електроенергію силову, грн.;

B_p – витрати на ремонт обладнання, грн.;

$B_{мд}$ – витрати на матеріали допоміжні, грн.;

$B_{ам.у}$ – витрати на амортизацію універсального обладнання, грн.;

$B_{ен}$ – витрати на експлуатацію приміщень, грн.

Витрати на заробітну плату основну, додаткову з урахуванням єдиного соціального внеску:

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{um(i)}}{60} (1 + K_d) \cdot (1 + K_c), \quad (4.3)$$

де $C_{z(i)}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду i -тої операції техпроцесу, грн./год.;

$t_{um(i)}$ - штучний час i -тої операції, хв.;

K_d, K_c – коефіцієнти, які враховують відповідно додаткову заробітну плату та відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок).

В базовому варіанті:

$$Z_{одв.баз} = \frac{92,303 \cdot 8,78}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 18,1263 \text{ грн.}$$

В проектному варіанті:

$$Z_{одв.пр} = \frac{92,303 \cdot 4,193}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 8,6566 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, дод. Д2 та 2, с. 91] складемо таблицю характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного техпроцесів (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електро-двигунів верстата, кВт	Ма-са, т	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Ціна, тис. грн.
Базовий техпроцес						
Спеціальний токарно-копіювальний СА 022Л	1,90×1,40	10	3,1	15/11,5	2,66	230,0
Спеціальний токарно-копіювальний СА 023	1,76×1,38	15	4,2	10/12	2,43	217,5
Проектний техпроцес						
Токарний обробний центр Hesarр DVT-320	4,03×1,90	25,0	5,9	25/18	7,66	2750

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_{\epsilon} \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_{\delta} \cdot t_{um}}{\eta_{\epsilon} \cdot \eta_m} \cdot C_{el}, \quad (6.4)$$

де N_{ϵ} – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

K_o – коефіцієнт одночасної роботи двигунів, $K_o=0,65\dots0,8$;

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі $0,5\dots0,6$ – для токарних верстатів);

K_{δ} – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_{\delta}=0,3\dots0,5$;

η_{ϵ} – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_{\epsilon}=0,92\dots0,96$;

η_m – ККД електродвигунів, $\eta_m=0,86\dots0,9$;

C_{el} – ціна 1 кВт-год електроенергії без ПДВ, грн.

$$E_{c.баз} = \frac{(10 \cdot 3,44 + 15 \cdot 5,34) \cdot 0,6 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 18,10 = 4,9583 \text{ грн.}$$

$$E_{c.пр} = \frac{25 \cdot 0,5 \cdot 0,4 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{4,193}{60} \cdot 18,10 = 3,7824 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e \cdot t_{um}}{F_{дрм}} \cdot 60, \quad (4.5)$$

де W_m , W_e – витрати на всі види ремонту та обслуговування за ремонтний цикл, які припадають на одиницю ремонтної складності, відповідно механічної та електричної частини обладнання, грн.;

R_m , R_e – категорія ремонтної складності відповідно механічної та електричної частин обладнання, УРО;

$$B_{p.баз} = \frac{(980 \cdot 15 + 760 \cdot 11,5) \cdot 3,44 + (980 \cdot 10 + 760 \cdot 12) \cdot 5,34}{3680 \cdot 60} = 0,8228 \text{ грн.}$$

$$B_{p.пр} = \frac{(980 \cdot 25 + 760 \cdot 18) \cdot 4,193}{3680 \cdot 60} = 0,7250 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{\text{мд}} = \frac{M_{\text{зв}} \cdot R_{\text{м}} \cdot t_{\text{ум}}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\text{в}}, \quad (4.6)$$

де $M_{\text{зв}}$ – годинні витрати на допоміжні матеріали, коп.;

$K_{\text{в}}$ – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{\text{мд.баз}} = \frac{78,5 \cdot (15 \cdot 3,44 + 10 \cdot 5,34)}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 1,5072 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{мд.пр}} = \frac{78,5 \cdot 25 \cdot 4,193}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 1,5048 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{\text{ам}} = \frac{\Phi_{\text{бал}} \cdot H_{\text{а}} \cdot t_{\text{ум}}}{F_{\text{орм}} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{\text{зн}}}, \quad (4.7)$$

де $\Phi_{\text{бал}}$ – балансова вартість одиниці обладнання, грн.

$$\Phi_{\text{бал}} = \Pi_{\text{опт}} \cdot K_{\text{тмф}}, \quad (4.8)$$

де $\Pi_{\text{опт}}$ – оптова ціна обладнання, грн.;

$K_{\text{тмф}}$ – коефіцієнт, який враховує витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

$H_{\text{а}}$ – норма амортизації на реновацію, %.

$$B_{\text{ам.баз}} = \frac{(230000 \cdot 3,44 + 217500 \cdot 5,34) \cdot 1,19 \cdot 20}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 2,4764 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{ам.пр}} = \frac{2750000 \cdot 1,19 \cdot 20 \cdot 4,193}{3680 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,85} = 7,9557 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{\text{ен}} = \frac{S_{\text{од}} \cdot k_{\text{ф}} \cdot C}{F_{\text{орм}} \cdot \eta_{\text{зн}}} \cdot \frac{t_{\text{ум}}}{60}, \quad (4.9)$$

де $S_{\text{од}}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, м²;

$k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [1, табл. 4].

C – річні витрати, пов'язані з експлуатацією 1м^2 виробничого приміщення, грн.

$$B_{\text{еп.баз}} = \frac{(2,66 \cdot 3,44 + 2,43 \cdot 5,34) \cdot 3,5 \cdot 768}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,3168 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{еп.пр}} = \frac{7,66 \cdot 2,5 \cdot 4,193 \cdot 768}{3680 \cdot 60 \cdot 0,85} = 0,3286 \text{ грн.}$$

4.4.2. Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{\text{нал}} + B_{\text{сп.осн}} + B_{\text{ам.сп}} + B_{\text{пр}}, \quad (4.10)$$

де $B_{\text{нал}}$ – витрати на налагодження обладнання, грн.;

$B_{\text{сп.осн}}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у порівнюваних варіантах відсутнє);

$B_{\text{ам.сп}}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у порівнюваних варіантах відсутнє), грн.;

$B_{\text{пр}}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПК (вартість програмного забезпечення для токарного обробного центру Hesapp DVT-320 в проектному варіанті входить до його вартості).

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{\text{нал}} = C_{\text{зн}} \cdot \frac{t_{\text{н-з}}}{60} \cdot (1 + K_o) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (4.11)$$

де $C_{\text{зн}}$ – годинна тарифна ставка наладчика відповідного розряду грн./год.;

$t_{\text{н-з}}$ – підготовчо-заключний час даної операції, хв.;

A – кількість партій, що відповідає кількості переналагоджень за рік.

$$B_{\text{нал.баз}} = 104,609 \cdot \frac{24 \cdot 5}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 3369,24 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{нал.пр}} = 123,069 \cdot \frac{20}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 12 = 660,63 \text{ грн.}$$

4.4.3. Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Розрахунок технологічної собівартості

№ з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		Базовий	Проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	18,1263	8,6566
1.2	Електроенергія силова	4,9583	3,7824
1.3	Ремонт обладнання	0,8228	0,7250
1.4	Матеріали допоміжні	1,5072	1,5048
1.5	Амортизація універсального обладнання	2,4764	7,9557
1.6	Експлуатація приміщень	0,3168	0,3286
	Всього змінних витрат	28,2078	22,9531
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	3369,24	660,63
	Технологічна собівартість річного випуску деталей C_{tex}	172616	138379

Технологічна собівартість:

$$C_{tex.баз} = 28,2078 \cdot 6000 + 3369,24 = 172616 \text{ грн.}$$

$$C_{tex.пр} = 22,9531 \cdot 6000 + 660,63 = 138379 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «шестерня ведуча» $N_3=6000$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

Для розмежування області ефективного використання того чи іншого варіанту технологічного процесу розрахуємо критичну програму випуску деталей $N_{кр}$, за якої варіанти, що порівнюються, будуть рівноцінними, тобто $C_{tex.баз}=C_{tex.пр}$:

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{660,63 - 3369,24}{28,2078 - 22,9531} = -515 \text{ шт.}, \quad (4.12)$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «шестерня ведуча» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

4.4.4. Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{тех.баз} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{тех.пр} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (4.13)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

$K_{баз}$, $K_{пр}$ – відповідно капітальні вкладення базового і проектного варіантів техпроцесу, грн.

Капітальні вкладення по кожному варіанту складаються із вкладень в обладнання $\Phi_{бал}$, оснащення $B_{осн}$, а також у приміщення, яке це обладнання займає $K_{буд}$, скореговані на коефіцієнт завантаження обладнання тих деталей-операцій, які відрізняються у порівнюваних варіантах:

$$K = (\Phi_{бал} + B_{осн} + K_{буд}) \cdot \eta_{з_i}, \quad (4.14)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{буд} = S_{од} \cdot K_f \cdot q_{пр} \cdot h \cdot \Pi_{буд}, \quad (4.15)$$

де h - висота приміщення цеху, м;

$\Pi_{буд}$ – ціна 1м² виробничої площі висотою 8-10 м, грн./м³.

$$K_{буд.баз} = (2,66 \cdot 2 + 2,43 \cdot 3) \cdot 3,5 \cdot 8 \cdot 8000 = 2824640 \text{ грн.}$$

$$K_{буд.пр} = 7,66 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 8000 = 1225600 \text{ грн.}$$

Балансова вартість обладнання:

$$\Phi_{бал.баз} = (230000 \cdot 2 + 217500 \cdot 3) \cdot 1,19 = 1323875 \text{ грн.}$$

$$\Phi_{бал.пр} = 2750000 \cdot 1,19 = 3272500 \text{ грн.}$$

$$K_{баз} = (2824640 + 1323875) \cdot 0,05 = 207426 \text{ грн.}$$

$$K_{np} = (1225600 + 3272500) \cdot 0,114 = 512784 \text{ грн.}$$

$$E_p = (172616 + 0,16 \cdot 207426) - (138379 + 0,16 \cdot 512784) = -14620 \text{ грн.}$$

Впровадження запропонованого технологічного процесу впливає на зниження технологічної собівартості виготовлення деталі, проте потребує істотних додаткових капітальних вкладень на придбання нового обладнання. Цей факт, а також більший, ніж у базовому варіанті коефіцієнт завантаження цього обладнання, викликало від'ємне значення економічного ефекту. Проте сама його величина, тобто різниця між приведеними витратами порівнюваних варіантів не є істотною. До того ж в базовому варіанті для розрахунку було узяті середні ціни верстатів, які були у використанні, оскільки їхні нові зразки наразі не випускаються. Придбання підприємством на вторинному ринку такого фізично та морально зношеного обладнання мало б свої негативні наслідки, а саме: збільшення витрат на його утримання і ремонт, зростання браку виготовлюваної продукції, необхідність їх скорішої заміни через неможливість подальшої експлуатації таке інше. Таким чином, впровадження проектного варіанту техпроцесу було б правильним рішенням для підприємства.

Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках) розраховуємо за формулою:

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{баз}}{\sum_{i=1}^m t_{um(i)}^{np}} \cdot 100 - 100 = \frac{8,78}{4,193} \cdot 100 - 100 = 109,4\%, \quad (4.16)$$

4.5. Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{цех} = M_o + Z_{од} + B_c + B_{ин} + B_o + B_{ц}, \quad (4.17)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.:

$Z_{од}$ - основна та додаткова заробітна плата основних виробничих робітників, грн.;

B_c - відрахування на соціальні потреби (єдиний соціальний внесок), грн.;

$B_{ін}$ - витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн.;

B_o - витрати на утримання та експлуатацію обладнання, грн.;

$B_{ц}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{тр} - a_{\epsilon} \cdot C_{\epsilon}, \quad (4.18)$$

де a_p - норма витрат матеріалу на деталь (сталі 18ХГТ), кг.;

C_m - ціна матеріалу, грн./кг.;

$K_{тр}$ - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати на зберігання матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

a_{ϵ} - маса відходів, кг.;

C_{ϵ} - ціна відходів, грн./кг.

$$M_o = 0,90 \cdot 45,0 \cdot 1,05 - (0,9 - 0,241) \cdot 6,75 = 38,076 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{од} = P_{\epsilon} (1 + K_o), \quad (4.19)$$

де P_{ϵ} - відрядний розцінок на деталь (основна зарплата), що визначається, як сума операційних розцінок $P_{on(i)}$:

$$P_{\epsilon} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{\epsilon od_i}^{\epsilon} \cdot t_{ум-к_i}}{60}, \quad (4.20)$$

де $e_{\epsilon od_i}^{\epsilon}$ - годинна тарифна ставка відрядника відповідного розряду роботи i -ої операції технологічного процесу, грн./год.;

$t_{ум-к_i}$ - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу, хв.:

$$t_{ум-к_i} = t_{ум_i} + \frac{t_{n-3_i}}{n_{np}}, \quad (4.21)$$

n_{np} – розмір партії деталей, шт.

На першій операції техпроцесу:

$$t_{um-\kappa_1} = 1,15 + \frac{15}{500} = 1,180 \text{ хв.}$$

$$P_{on_1} = 83,072 \cdot \frac{1,18}{60} = 1,6337 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-\kappa}$ хв.	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
005	Фрезерно-центрувальна	1,180	3	83,072	1,6337
010	Токарна з ЧП	4,233	4	92,303	6,5120
015	Круглошліфувальна	0,635	4	92,303	0,9769
020	Круглошліфувальна	0,817	4	92,303	1,2569
025	Торцешліфувальна	6,746	3	83,072	9,3401
030	Зубодовбальна	3,573	2	67,688	4,0308
035	Зубошевінгувальна	2,860	2	67,688	3,2265
040	Шліцефрезерна	0,528	3	83,072	0,7310
050	Круглошліфувальна	1,826	4	92,303	2,8091
055	Кругло шліфувальна	0,924	4	92,303	1,4215
060	Торце-круглошліфувальна	0,946	3	83,072	1,3098
065	Суперфінішна	0,802	3	83,072	1,1104
070	Доводочна	1,337	3	83,072	1,8511
	Всього	26,407	—	—	36,210

$$Z_{od} = 36,210 \cdot (1 + 0,1) = 39,831 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 39,831 \cdot \frac{22}{100} = 8,763 \text{ грн.}, \quad (4.22)$$

де K_c - відсоток єдиного соціального внеску.

Витрати на експлуатацію спеціального оснащення, що припадають на одну деталь, складають 22-25 грн. на одну нормо-годину трудомісткості виготовлення деталі (менше значення відповідає ДС, більше – ВС).

$$B_{осн} = 22 \cdot \frac{28,52}{60} = 10,457 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = Z_o \cdot \frac{П_{го}}{100} = 36,210 \cdot \frac{320}{100} = 115,872 \text{ грн.}, \quad (4.23)$$

де $П_{го}$ - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

Z_o - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = Z_o \cdot \frac{П_{ц}}{100} = 36,210 \cdot \frac{240}{100} = 86,904 \text{ грн.}, \quad (4.24)$$

де $П_{ц}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	38,076
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	36,210
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	3,621
4.	Відрахування у соціальні фонди	8,763
5.	Експлуатація спеціального оснащення	10,457
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	115,872
7.	Цехові витрати	86,904
8.	Всього цехова собівартість $C_{ц}$	299,903

4.6. Планування підсумкових техніко-економічних показників

Крім показників, розрахованих у попередніх розділах дипломної роботи, слід додатково визначити такі:

- *виробіток продукції на одного робітника:*

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{48598}{27} = 1800 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (4.25)$$

де T_p – трудомісткість річної виробничої програми дільниці, нормо-год.;

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- *зарплатомісткість продукції:*

$$Z_{zn} = \frac{Z_{od}}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{39,831}{299,903} \cdot 100 = 13,3\%, \quad (4.26)$$

де Z_{od} – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{ц}$ - цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_{ц}} \cdot 100 = \frac{38,076}{299,903} \cdot 100 = 12,7\%, \quad (4.27)$$

де M_o – матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів у собівартості деталі, грн.

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_{ц} \cdot N_z \cdot K_{дов} \quad (4.28)$$

де N_z - річна програма запуску деталей, шт./рік.

$$C_{mn} = 299,903 \cdot 6000 \cdot 14,2 = 25551736 \text{ грн.}$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху слід звести до табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Техніко-економічні показники цеху

№ з/П	Показник	Одиниця виміру	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z)	шт./рік	6000
2.	Трудовісткість виробничої програми (T_p)	нормо-год.	48598
3.	Цехова собівартість деталі	грн.	299,90
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn})	тис. грн./рік	25551,74
5.	Чисельність основних робітників	осіб	27
6.	Виріток продукції на одного робітника	нормо-год.	1800
7.	Матеріаломісткість продукції	%	12,7
8.	Зарплатомісткість продукції	%	13,3
9.	Зниження трудовісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p	%	109,4
10.	Річний економічний ефект від застосування проектного варіанту техпроцесу E_p	грн.	-14620

Література

1. https://sensorsandgauges.com/pages/force-sensor-gripper-precision-control-for-robotic-manipulation?srsId=AfmBOoptcGCOUOwrhfAFEng9uJZ5U_rs7P7AUNseyW7nwRIclWvvSTGC&utm_source=chatgpt.com "Force Sensor Gripper | Precision Control for Robotic ..."
2. https://ati.novanta.com/robotic-force-control-solutions-made-easier/?utm_source=chatgpt.com "Robotic Force Control Solutions Made Easier"
3. https://scispace.com/pdf/force-control-for-a-3-finger-adaptive-robot-gripper-by-using-wthrgxluam.pdf?utm_source=chatgpt.com "force-control-for-a-3-finger-adaptive-robot-gripper-by-using ..."
4. https://blog.robotiq.com/bid/53319/Robot-Gripper-Force-Control?utm_source=chatgpt.com "Robot Gripper Force Control"
5. https://en.pm-instrumentation.com/robotic-grip-force-measurement?utm_source=chatgpt.com "Robotic grip force measurement"
6. Павленко І.І. Промислові роботи: основи розрахунку та проектування / Павленко І.І. - Кіровоград: КНТУ, 2007. – 420с.
7. Павленко І. І. Захватні пристрої роботів: Навчальний посібник. / І. І. Павленко, М. О. Годунко. – Кіровоград: КНТУ, 2014. – 367 с.
8. <http://mindtrans.narod.ru/hands/hands.htm> - перелік існуючих захватних пристроїв роботів
9. Бичіне, В.Б. Організація і нормування праці: підручник для вузів. - М.: «Іспит», 2005. - 464 с.
10. Вешнякова, Т.С. Організація, нормування і оплата праці на підприємствах сфери обслуговування [Текст]: навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Т.С. Вешнякова. - М: «Академія», 2006. - 224 с.
11. Павленко І.І. Експериментальні статичні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в

сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 22. – Кіровоград: КНТУ, 2009. – С. 173 – 178.

12. Павленко І.І. Експериментальні динамічні дослідження сил затиску ЗП промислових роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40 / Частина II. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 251 – 255.

13. Павленко І.І. Функціональні характеристики затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 40/Частина II. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 172 – 177.

14. Павленко І.І. Аналіз передавальних відношень плечей сил затискних важелів ЗП роботів / І.І. Павленко, М.О. Годунко // Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація./ Вип. 23. – Кіровоград: КНТУ, 2010. – С. 123 – 128.

15. K.Koskinen (2016) Design of a smart gripper for industrial applications., 8th June.

16. Caucey G.C. & R.D. Quinn. (2016) Gripper design guidelines for modular manufacturing. Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat.No.98CH36146) n. pag. Web. 8 June.

17. Raymond R. Ma & Aaron M. Dollar. (2016) Yale Openhand Project - Model T. Eng.yale.edu. N.p.. Web. 21 June.