

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет
Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «Магістр»
за спеціальністю 131 «Прикладна механіка»
на тему:

«Дослідження способів обробки переривчастих отворів з розробкою
технології виготовлення деталі корпус.»
«Study of methods for machining intermittent holes with the development of a
manufacturing technology for a housing part.»

Виконавець: здобувач вищої освіти 2
року магістратури, групи ПМ-22Мз-3
напряму 131 «Прикладна механіка»

Євген КУПЧЕВИЧ

Керівник: доц., к.т.н.

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Рецензент: доц., к.т.н.

Олександр КУЗИК

Завідувач кафедри: доц., к.т.н.

Андрій ГРЕЧКА

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-наукова програма	Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ММР
_____ Андрій ГРЕЧКА

« ____ » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ
ЗДОБУВАЧА
Євгена КУПЧЕВИЧА

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження способів обробки переривчастих отворів з розробкою технології виготовлення деталі корпус.
2. Керівник роботи: к.т.н., доц., Олександр СКІБІНСЬКИЙ
3. Строк подання роботи до захисту « ____ » січня 2024 р.
4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи:
Метою роботи є: покращення показників процесу механічної обробки переривчастих отворів у корпусних деталях та розробка технології виготовлення деталі корпус.
Завдання:
 - виконати аналіз сучасного стану методів лезової обробки отворів у корпусних деталях, та на його основі розробити рекомендації для обробки функційних отворів (колодців) корпусу шестеренного насосу;
 - проаналізувати технологічний процес виготовлення корпусу на базовому підприємстві, виявити його сильні та слабкі риси, запропонувати заходи по підвищенню ефективності, виконати підбір металорізальних верстатів, верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструменту, розрахувати припуски та міжопераційні розміри, режими різання та норми часу;
 - спроектувати затискний верстатний пристрій, контрольно-вимірювальний пристрій та металорізальний інструмент;
 - виконати організаційно-планові та економічні розрахунки для спроектованого технологічного процесу.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
РОЗДІЛ 1	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 2	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 3	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 4	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		
РОЗДІЛ 5	Ірина ЖУРИЛО		
РОЗДІЛ 6	Ірина ЖУРИЛО		
ДОДАТКИ	Олександр СКІБІНСЬКИЙ		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	ВСТУП	Жовтень 2023	вик.
2	РОЗДІЛ 1	Жовтень 2023	вик.
3	РОЗДІЛ 2	Жовтень 2023	вик.
4	РОЗДІЛ 3	Жовтень-листопад 2023	вик.
5	РОЗДІЛ 4	Листопад 2023	вик.
6	РОЗДІЛ 5	Листопад-грудень 2023	вик.
7	РОЗДІЛ 6	Листопад-грудень 2023	вик.
8	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	Грудень 2023	вик.
9	ДОДАТКИ	Грудень 2023	вик.
10	Графічна частина та оформлення	Жовтень-грудень 2023	вик.

Дата видачі завдання « ____ » _____ 2023 р.

Керівник роботи _____ Олександр СКІБІНСЬКИЙ

(підпис)

Завдання прийнято до виконання « ____ » _____ 2023 р.

Здобувач _____ Євген КУПЧЕВИЧ

(підпис)

АНОТАЦІЯ

Євген КУПЧЕВИЧ. Дослідження способів обробки переривчастих отворів з розробкою технології виготовлення деталі корпус. Кваліфікаційна робота для освітнього ступеня «магістр»: ЦНТУ, 2023. – 138 с. Матеріали презентації 8 креслень.

Метою роботи є покращення показників процесу механічної обробки переривчастих отворів у корпусних деталях та розробка технології виготовлення деталі корпус.

У кваліфікаційній роботі здійснено класифікацію отворів корпусних деталей та аналіз сучасного стану методів їх лезової обробки. На основі аналізу розроблено методику, що дозволяє визначити подачу, при якій можна буде запобігти викришуванню різального клину при обробці переривчастих корпусних отворів. Було проаналізовано технологічний процес виготовлення корпусу, на його основі було запропоновано технічне рішення по підвищенню продуктивності обробки, здійснено підбір верстатів, комплекту різального, допоміжного та вимірювального інструментів. Виконано розрахунок припусків, режимів різання та норм часу, спроектовано затискний пристрій, різальний та контрольний інструмент, проведені всі необхідні економічні розрахунки.

Актуальність. Точність та якість обробки функційних отворів деталей машин впливає на вихідні параметри кінцевого виробу. Тому покращення показників процесу механічної обробки отворів це завжди актуальна задача.

Практичне значення. Приведено методику вибору подачі при розточуванні отворів з переривчастою поверхнею із забезпеченням міцності різального клину. Виведено рівняння, яке дозволяє розрахувати раціональну подачу з огляду на ці обмеження. розроблено удосконалений технологічний процес виготовлення корпусу шестеренного насоса, розроблено конструкції різального інструменту, верстатного пристрою та контрольного.

Ключові слова. Отвір, розточування, корпус, шестеренний насос, технологічний процес.

ANNOTATION

Yevhen KUPCHEVYCH. Study of methods for machining intermittent holes with the development of a manufacturing technology for a housing part. Master's thesis: CUNTU, 2023. - 138 p. Presentation materials 8 drawings.

The purpose of the work is to improve the parameters of the process of intermittent holes machining in housing parts and to develop the technology of manufacturing housing parts.

The paper includes a classification of the holes of housing parts and the analysis of the modern state of their mechanical processing methods. Based on the analysis, a technique has been developed that allows you to determine the feed at which it will be possible to prevent the cutting wedge from breaking when processing intermittent housing holes. The technological process of manufacturing the housing was analyzed, on its basis a technical solution was proposed to increase the productivity of processing, the selection of clamping devices, a set of cutting, auxiliary and measuring tools was carried out. Allowances, cutting parameters and time rationing were calculated, a clamping device, a cutting and control tool was designed, and all necessary economic calculations were carried out.

Relevance. The accuracy and quality of the mechanical processing of the functional holes of machine parts affects the initial parameters of the final product. Therefore, improving the parameters of mechanical processing of holes is always an urgent task.

Practical value. The technique of choosing a feed when boring holes with a discontinuous surface, ensuring the strength of the cutting edge, is presented. An equation is derived that allows you to calculate the rational supply in view of these restrictions. An improved technological process for manufacturing a gear pump housing was developed, designs for a cutting tool, a clamping device, and a control device were developed.

Key words. Hole, boring, housing, gear pump, technological process.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Класифікація отворів корпусних деталей	8
1.2 Постановка задач дослідження	11
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ	13
2.1 Основні способи обробки отворів корпусних деталей	13
2.2 Дослідження способів обробки переривчастих отворів корпусних деталей	32
2.3 Висновки	38
РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ НАСОСУ ...	39
3.1 Службове призначення корпусу насоса та його характеристики	39
3.2 Розробка технології виготовлення корпусу насоса	42
3.3 Висновки	81
РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ	82
4.1 Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою	82
4.2 Розрахунок та розробка контрольного пристрою	92
4.3 Розробка конструкції різального інструменту	95
4.4 Висновки	98
РОЗДІЛ 5 ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА	99
5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження	99
5.2 Розрахунок календарно-планових нормативів	100
5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху	103
5.4 Висновки	104
РОЗДІЛ 6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	105
6.1 Аналіз варіантів технологічних процесів	105
6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі	112
6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників	114
6.4 Висновки	115
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	116
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	117
ДОДАТКИ	119

ВСТУП

Розвиток машинобудування тісно пов'язаний із розвитком науково-технічного прогресу. Впровадження нових методів та способів обробки збільшує продуктивність праці, зменшує трудомісткість і підвищує технічно-екологічні показники машин, головним чином їх надійності і довговічності.

Це відбувається за рахунок введення нового обладнання з ЧПК, промислових роботів, а також завдяки зменшенню питомої ваги різання металу. Нове обладнання дозволяє скоротити час та підвищити якість обробки виробів за рахунок використання складної технологічної оснастки, різального інструменту та автоматизації процесу обробки. Обладнання з ЧПК дає змогу швидко переналагоджуватися на випуск іншої продукції та отримання більш точної поверхні при обробці. Промислові роботи замінюють людину на допоміжних переходах, що дозволяє скоротити штучний час та робити процес обробки повністю автоматичним. Зменшення обробки металу різанням відбувається через впровадження методів отримання заготовок, які дозволяють отримати заготовки по формі і розмірам близьким до готової деталі. Саме тому технолог при розробці технологічних процесів враховує можливі умови підвищення продуктивності, що дають потрібну точність з застосуванням ефективних сучасних методів обробки, інструментів та обладнання.

У кваліфікаційній роботі необхідно виконати аналіз сучасних методів лезової обробки отворів у корпусних деталях, та на його основі розробити рекомендації для обробки функційних отворів корпусу шестеренного насосу. Проаналізувати технологічний процес виготовлення корпусу на базовому підприємстві, виявити його сильні та слабкі риси, запропонувати заходи по підвищенню ефективності. Виконати підбір металорізальних верстатів, верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструменту, розрахувати припуски та міжопераційні розміри, режими різання та норми часу зменшивши час на виготовлення, кількість міжопераційних переміщень, кількість верстатів, використання виробничої площі, використання енергії, робітників.

РОЗДІЛ 1 КЛАСИФІКАЦІЯ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ, ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Класифікація отворів корпусних деталей

1.1.1 Загальні положення

Під отвором у машинобудуванні розуміють внутрішню поверхню, здебільшого циліндричної форми. Корпус (або картер) будь якої машини або механізму, як правило, буде мати деяку кількість отворів, різних за конфігурацією та призначенням. За допомогою цих отворів відбувається орієнтування більшості деталей, які входять у виріб, з'єднання виробу гвинтами, болтами та шпильками, встановлення чи кріплення виробу, також отвори можуть бути частиною гідравлічної системи, або системи змащування.

В залежності від призначення та функціонування, отвори можуть мати як високі вимоги щодо точності та якості, так і низькі, навіть такі що можна отримати на етапі виготовлення заготовки. Сама форма отворів може мати круглий поперечний переріз, або переріз іншої форми, може мати різні конструктивні елементи – канавки, шпонкові пази, шліци, різьбу. У повздовжньому перерізі отвори можуть мати циліндричну форму, конічну, бути суцільним або ступінчастим, наскрізним або глухим, а також поєднуватися із такими конструктивними елементами як фаска, проточка, цековка.

Точні отвори у корпусах, переважно, зустрічаються для базування елементів (штифти, втулки, тощо) та деталей (кришки, обойми), для встановлення тіл обертання (підшипники ковзання та кочення), встановлення елементів зубчастих передач, також отвір може виступати як елемент гідравлічної пари (золотники, розподільники, клапани), рис 1.1.

Особливу увагу якості і точності обробки отворів приділяють при обробці деталей гідравлічних компонентів, так як саме від цього залежать вихідні параметри кінцевого виробу. Наприклад, висока якість виготовлення функційних отворів (колодців) корпусу шестеренного насосу (рис. 1.2) знижує внутрішні перетікання рідини, тим самим підвищуючи його ККД.

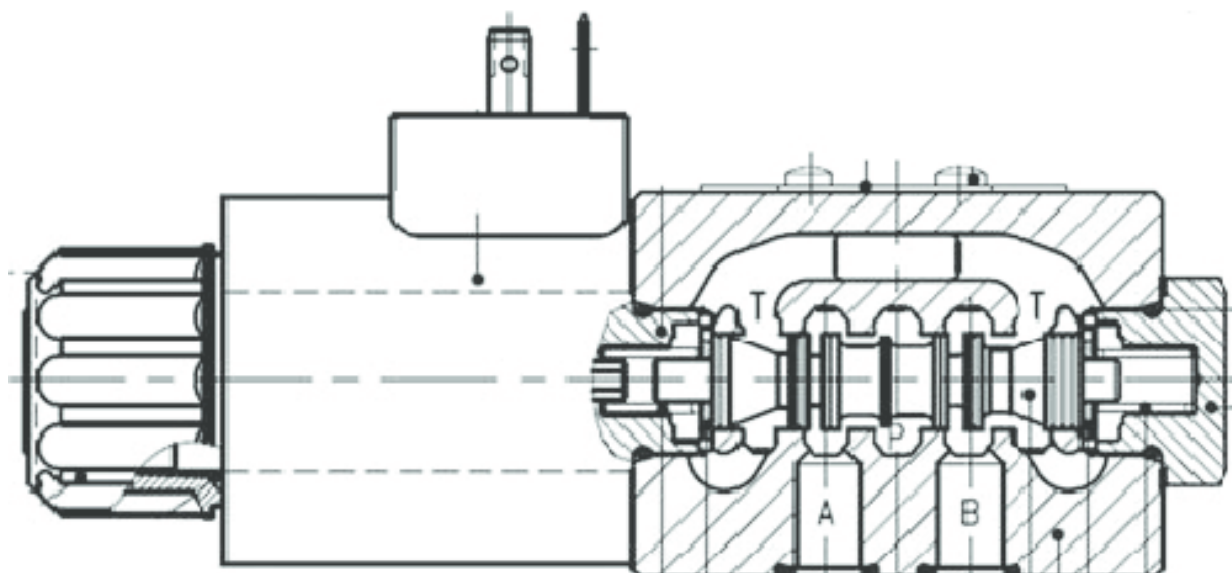


Рис. 1.1 Гідравлічний золотниковий розподільник.

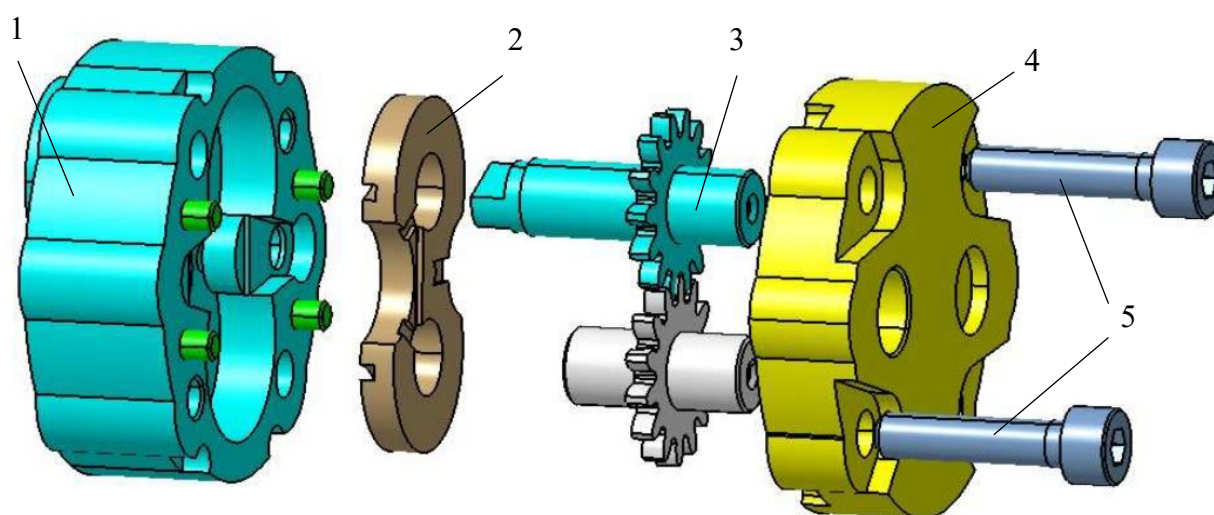


Рис. 1.2 Насос шестеренний

1 – корпус; 2 – підшипниковий блок; 3 – комплект шестерень; 4 – кришка; 5 – гвинти.

1.1.2 Класифікація отворів

Усі можливі отвори, які зустрічаються у деталях машин, класифікуються по конструктивним признакам:

- тип отвору (наскрізний та глухий);
- форма перерізу (циліндричні, конічні, профільні);
- додаткові конструктивні елементи (різьба, шліци, шпонка, канавка);
- геометричні параметри (діаметр D , глибина L , відношення L/D).

На рис. 1.3 приведено типову класифікацію отворів, яку можна зустріти у виробників металорізального інструменту [11, 12]. Конфігурація отвору має важливе значення на кінцеву точність та якість його обробки.

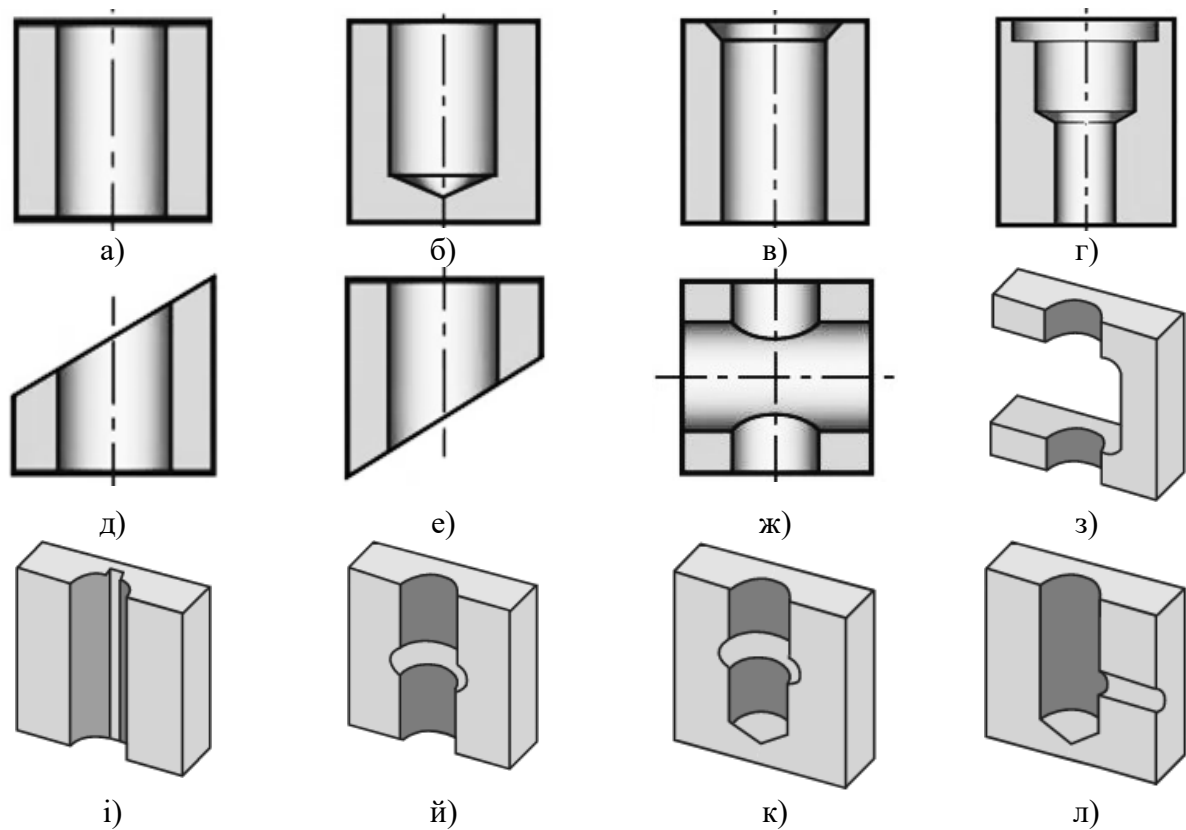


Рис. 1.3 Класифікація отворів

а) наскрізний; б) глухий; в) із фаскою; г) багатоступінчастий; д) із не перпендикулярним входом; е) із не перпендикулярним виходом; ж) наскрізний, який перетинається іншим отвором; з) переривчастий; і) із поздовжнім пазом (шпонковим); й) наскрізний із канавкою; к) глухий із канавкою; л) глухий, який перетинається іншим отвором.

Так, наприклад, при обробці глухого отвору виникає питання про підведення мастильно-охолоджувальної рідини та видалення стружки. Обробка ступінчастого отвору піднімає питання продуктивності. Отвір зі скосом на вході (рис. 1.3, д) вимагає попередньої обробки площини, для здійснення вводу свердла. При обробці отворів із скосом на виході (рис. 1.3, е), та отворів, які перетинаються іншими отворами (рис. 1.3, ж, л), виникають значні коливання сили різання, вібрації які пов'язані із непостійним шаром матеріалу, який знімається та постійним входом та виходом інструменту.

Важливим параметром з огляду технології є відношення L/D отвору. Виходячи зі значення цього параметру, та із самого значення діаметру отвору D ,

буде обиратися різна стратегія обробки отвору, різний інструмент, режими обробки. Розподілення отворів наступне:

- нормальні $L/D \leq 5$;
- довгі $L/D = 5 \dots 20$;
- глибокі $L/D = 20 \dots 30$;
- спеціальні $L/D \geq 30$.

Традиційними методами і засобами лезової обробки можна досягти точності розмірів до 6 квалітету та якості поверхні по Ra 0,32...1,25. Окрім цього, отвори корпусних деталей ще регламентуються по:

- точності форми (круглість, прямолінійність, циліндричність, профіль повздовжнього перерізу);
- точності розташування (паралельність, перпендикулярність, співвісність, перехрещення вісей, радіальне биття).

Високі вимоги по точності форми та розташування отворів зустрічаються саме на корпусних деталях, вони можуть сягати навіть до 50...60% від допуску на розмір. Це викликано безпосередньо функційним призначенням цих отворів.

1.1.3 Висновки

Виготовлення отворів у корпусних деталях це технологічна задача, яка вимагає від технолога певного багажу знань та навиків. В залежності від конфігурації, форми та призначення, ці отвори можуть мати високі вимоги по точності та якості поверхні.

1.2 Постановка задач дослідження

З метою покращення показників процесу механічної обробки отворів у корпусних деталях, у роботі необхідно вирішити наступні задачі:

1. Виконати аналіз сучасного стану методів лезової обробки отворів у корпусних деталях, та на його основі розробити рекомендації для обробки функційних отворів (колодців) корпусу шестеренного насоса (рис. 1.2).

2. Проаналізувати технологічний процес виготовлення корпусу на базовому підприємстві, виявити його сильні та слабкі риси, запропонувати заходи по підвищенню ефективності. Виконати підбір металорізальних верстатів, верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструменту, розрахувати припуски та міжопераційні розміри, режими різання та норми часу.

3. Спроекувати затискний верстатний пристрій, контрольно-вимірювальний пристрій та металорізальний інструмент.

4. Виконати організаційно-планові та економічні розрахунки для спроектованого технологічного процесу.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ОБРОБКИ ОТВОРІВ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ

2.1 Основні способи обробки отворів корпусних деталей

Із розвитком технологій, впровадженням новітніх розробок у машинобудування (сільськогосподарське, авіаційне, гірниче, верстатобудування, тощо), закономірно підвищуються вимоги до точності та якості оброблюваних поверхонь деталей. Корпусні деталі сучасних виробів мають велику кількість отворів, різних конфігурацій, різної точності, обробка яких – якщо не проблемна, то як мінімум трудомістка. Зважаючи на специфіку виробництва, продукції що випускається, наявного обладнання, технологом повинні прийматися обґрунтовані рішення про стратегію отримання отворів у корпусних деталях необхідної точності та якості. Також, вплив на прийняття такого рішення будуть мати наступні фактори:

- габаритні розміри отвору;
- спосіб видалення стружки в процесі обробки;
- спосіб подачі мастильно-охолоджуючої рідини (МОР).

Габаритами отвору обмежені розміри інструменту, його конструкція, жорсткість та інше. Наприклад, при обробці отворів великого діаметру не виникає проблем із тим, щоб зробити інструмент жорсткіше. Однак при обробці отворів малого діаметру, глухих та великої довжини – проблеми виникають одна за одною. По перше, необхідність забезпечення жорсткості, міцності та вібростійкості інструменту малого діаметру та великої довжини, так як всі ці характеристики впливають на якість обробки. По друге, видалення стружки із глухого отвору, малого діаметру та великої глибини – також складна задача. По третє, важлива не тільки подача МОР до різальної частини інструменту, а й правильний вибір її, так як це чинить значний вплив на температурний режим в зоні обробки, стійкість інструменту, та можливість і ефективність вимивання стружки з отвору. Також слід відмітити складність контролю як процесу обробки, так і результату – вимірювання розмірів та шорсткості поверхні.

На теперішній час, технології механічної обробки різанням в цілому розвиваються за напрямками підвищення характеристик інструментальних матеріалів за допомогою порошкової металургії та нанесення зносостійких покриттів. Це дозволяє підвищити режими різання (швидкість різання та подачу), позитивно впливає на стійкість інструменту, що в результаті підвищує ефективність обробки та знижує її собівартість.

Обробку отворів типової корпусної деталі показано на рис. 2.1 [12], усі приведені способи та їх показники по досяжній точності та якості кардинально не відрізняються в залежності від виробника інструменту.

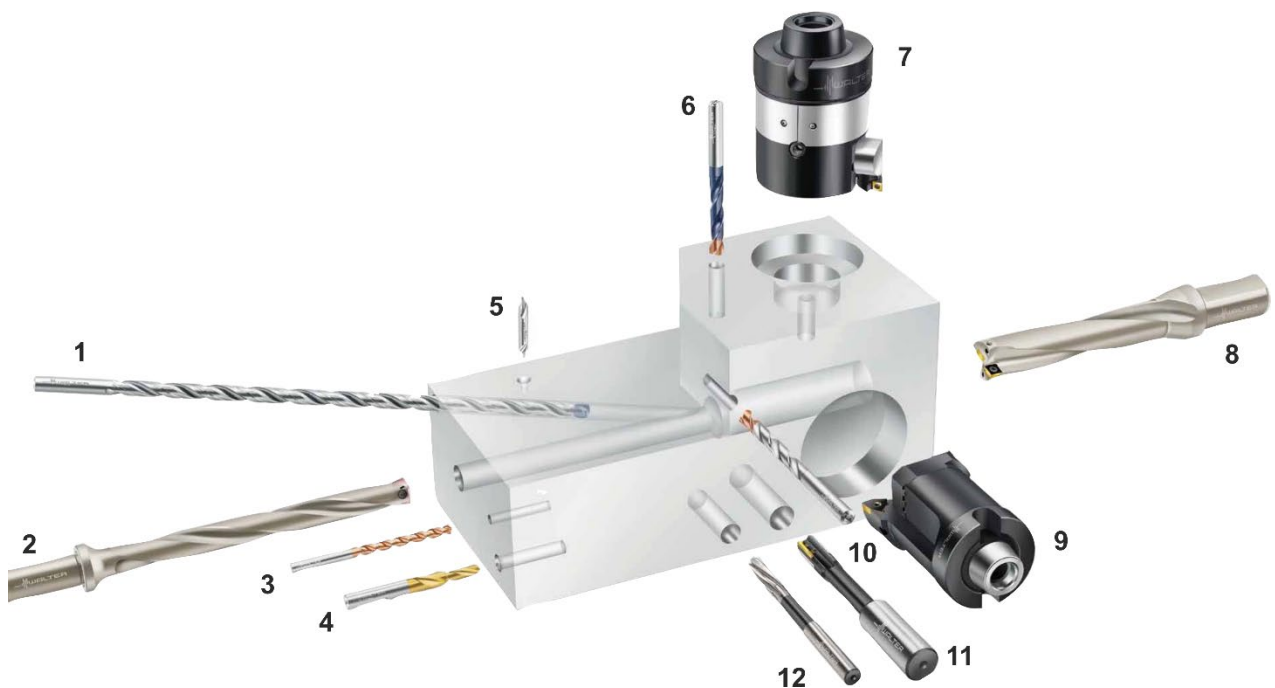


Рис. 2.1 Обробка отворів корпусної деталі.

1 – свердління глибоких отворів шнековим свердлом; 2 – свердління отворів свердлом із механічним кріпленням різальної частини; 3 – звичайне свердління; 4 – комбіноване свердління, зі зняттям фаски; 5 – центрування отворів; 6 – високопродуктивне свердління, інструмент із прогресивним зносостійким покриттям; 7 – розточні системи для чистової обробки; 8 – свердління отворів свердлом із механічним кріпленням змінних пластин; 9 – розточні системи для чорнової обробки; 10 – високопродуктивне свердління, інструмент із подвійним покриттям та прогресивною геометрією; 11 – розвертування отворів розверткою зі змінною пластиною; 12 – розвертування отворів суцільнометалевою розверткою.

Як видно з рис. 2.1, типова корпусна деталь має форму, наближену до призми, а отвори можуть розташовуватися довільно, не обов'язково симетрично. Ефективна обробка корпусів виконується на верстатах типу обробний центр з

ЧПУ, із встановленням деталі (або деталей) на столі верстата. Головний рух різання, тобто обертання, при цьому виконує інструмент.

Окрім операцій, які виконуються лезовим інструментом на обробних центрах (свердління, зенкерування, розвертування, розточування, фрезерування отворів), використовують обробку абразивним інструментом (шліфовка, хонінгування, притирка), та відносно рідко методи протягування, обробку пластичним деформуванням (розкачування, розвальцовування, тощо). Електрохімічну чи спеціальну обробку використовують рідко, через низьку продуктивність та відносно високу собівартість обробки.

У свою чергу лезовий інструмент можна поділити на мірний та не мірний. Мірний інструмент має розмір оброблюваного отвору, тому усі похибки виготовлення такого інструменту переносяться на деталь. Такими інструментами являються свердла, зенкери, розвертки, протяжки, хони та притири. Розміри не мірного інструменту на пряму не залежать від розмірів оброблюваного отвору, тому такі інструменти більш універсальні у використанні. Не мірними інструментами являються розточні різці, головки і системи, фрези, шліфувальні круги для внутрішнього шліфування.

У цьому розділі розглянемо найпоширеніші методи обробки отворів корпусних деталей.

2.1.1 Свердління отворів

Операція свердління – найпоширеніша операція обробки отворів. Різальний інструмент – свердло, має п'ять різальних кромок, дві розташовані на зовнішній циліндричній частині по спіралі, ще дві на забірній конусній частині і одна – на самій вершинці конусної частини (перемичка). І хоча різальні кромки на спіральних витках подібні до фрези, однак виконані не для різання, а лише для калібрування отвору та відводу стружки із зони різання.

У процесі свого розвитку, свердла отримали декілька усталених конструкцій і видів, які застосовуються і по цей час, так як використовуються у

спеціальних випадках. Окрім найпоширенішого спірального свердла, існують корончасті, трепанаційні, гарматні, ежекторні, центровочні, перові та інші.

Інструментальні матеріали, з яких виготовляють свердла, традиційні – твердий сплав, швидкорізальна сталь, вуглецева інструментальна сталь. Найбільшого розповсюдження отримали свердла із швидкорізальної сталі, з огляду на нижчу ціну у порівнянні із твердим сплавом. Свердла із вуглецевої сталі у металообробці використовуються рідко, так як цей матеріал має низьку жаростійкість.

Вслід за останніми тенденціями в інструментальному виробництві, на робочі поверхні сверدل наносять зносостійкі покриття [9], основні з яких зведено у табл. 2.1. Мета нанесення таких покриттів – покращення умов процесу різання, розширення діапазонів режимів обробки.

Таблиця 2.1.

Матеріал покриття	Позначення	Колір	Зображення інструменту
Нітрид титану	TiN	Золотисто-жовтий	
Титан алюміній нітрид	TiAlN	Фіолетово-сірий	
Карбонітрид титану	TiCN	Сіро-голубий	
Чорний оксид	Black oxide	Чорний	
Алмаз	Diamond	-	

Кожне з наведених у табл. 2.1 покриттів має свої переваги і недоліки, межі застосування. Наприклад, загального розповсюдження отримало покриття TiN, як компромісний варіант між ціною та підвищенням ефективності, яке воно здатне забезпечити. Для більш складних умов обробки використовують свердла з покриттям типу TiAlN або TiCN. Покриття Black oxide (чорний оксидний шар із Fe_3O_4 , що має назву магнетит) використовується на свердлах із швидкорізальної сталі, як бюджетний та дієвий варіант покращення показників свердління, підвищення стійкості до зносу, корозії та стирання свердла. Алмазні покриття призначені для обробки твердих матеріалів.

Окрім традиційних, суцільнометалевих сверدل, різними виробниками [8, 10, 12] представлені конструкції із механічним кріпленням змінних різальних елементів: різальної частини, або різальних пластин.

На рис. 2.2 показано зовнішній вигляд свердла із механічним кріпленням різальних пластин [8]. Як видно, таке конструктивне виконання дозволило зменшити частку використання дорогого інструментального матеріалу та спростити експлуатацію свердла. У свердлі використовуються дві пластини, одна внутрішня, для видалення матеріалу по центру, та одна на периферії, для формування необхідного діаметру. Видалення стружки забезпечують загнуті по спіралі канавки. Подача МОР здійснюється через отвори, які проходять до зони різання через весь корпус свердла. Діапазони розмірів оброблюваних отворів становлять $\varnothing 12 \dots 65$ мм та довжиною $2D \dots 5D$. Досяжна точність $0,15 \dots 0,4$ мм, що знаходиться на рівні 11...14 квалітетів.

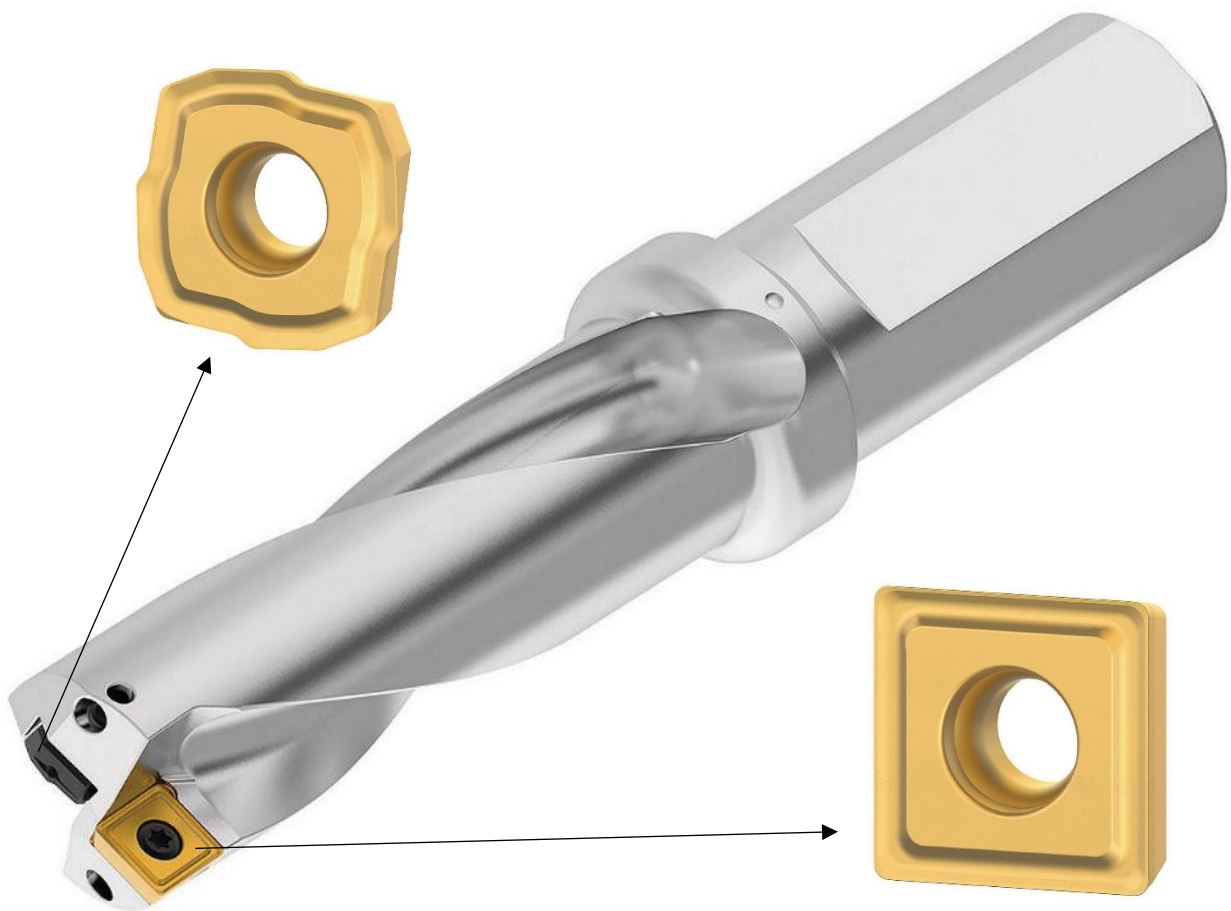


Рис. 2.2 Свердло із механічним кріпленням змінних різальних пластин.

Альтернативною конструкцією є свердло із механічним кріпленням змінного різального елемента, рис. 2.3. На відміну від попередньої конструкції, із інструментального матеріалу виконується вістря свердла повністю. Така конструкція дає змогу надати усіх можливих та бажаних характеристик різальним кромкам інструменту – різну геометрію в залежності від умов обробки, канавки для подрібнення стружки, елементи для гасіння вібрацій і т.д. Конструкція каналів для подачі МОР та канавки для відводу стружки кардинально не змінюються. Діапазони розмірів оброблюваних отворів становлять $\varnothing 6...26$ мм та довжиною $1,5D...12D$. Досяжна точність $0,018...0,033$ мм, що знаходиться на рівні 8...10 квалітетів.

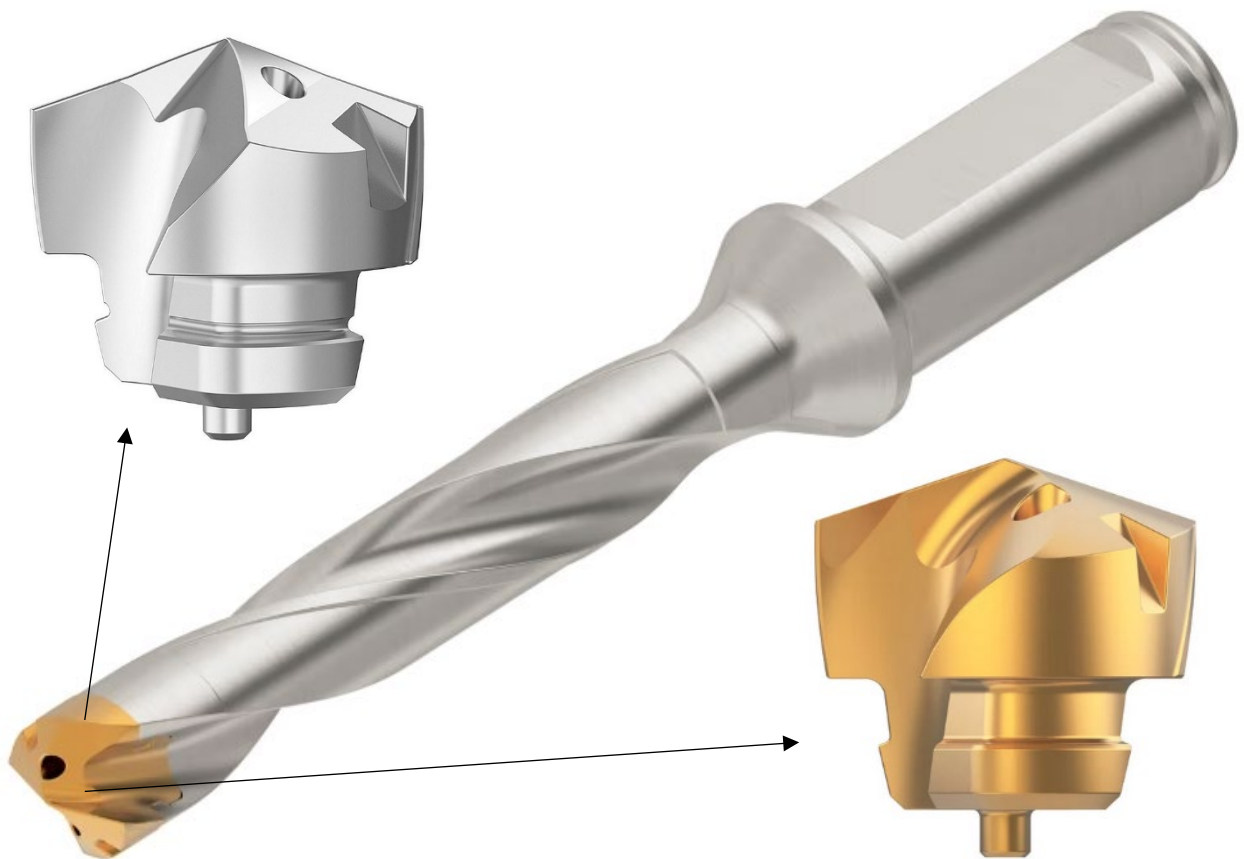


Рис. 2.3 Свердло із механічним кріпленням змінного різального елемента.

Обробка отворів корпусних деталей свердлінням, у складі багатоінструментальної обробки на верстатах з ЧПУ типу обробний центр, супроводжується деякою кількістю технологічних нюансів, які слід привести.

По перше, це перевірка корпусної деталі на технологічність. Якщо того дозволяє призначення деталі та отвору, необхідно надавати перевагу наскрізним отворам, отворам виконаним на площині (рис. 2.4), та максимально можливої кількості отворів одного діаметру.

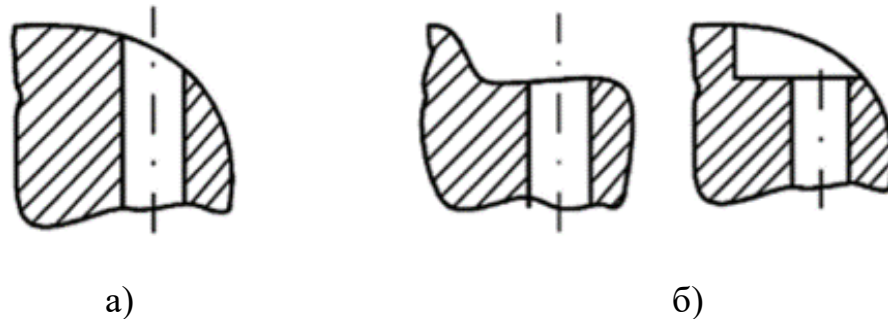


Рис. 2.4 Приклад нетехнологічної конструкції отвору (а), та технологічної (б).

По друге, не залишати без уваги питання подрібнення та відведення стружки із отвору, зокрема при глибокому свердлінні та обробці пластичних матеріалів, які можуть налипати на інструмент (алюміній та його сплави). Це питання вирішується конструкцією свердла, а саме гвинтових канавок, підбором раціональних режимів різання, та подачею МОР під високим тиском (рис. 2.5).

Для подрібнення і видалення стружки з отвору, часто використовують цикл переривчастого свердління G83/G73 при написанні управляючої програми для ЧПУ. За допомогою цього циклу, інструменту надають періодичного, зворотного робочій подачі, руху.

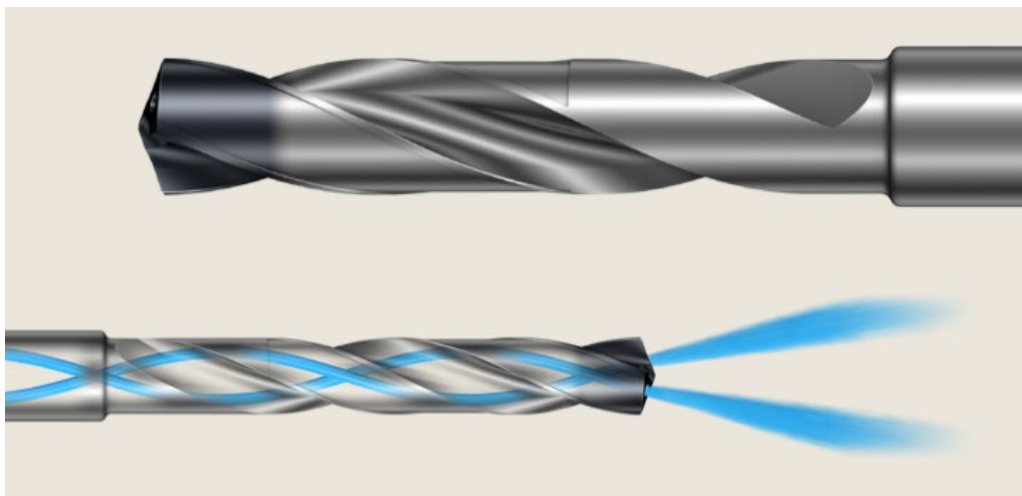


Рис. 2.5 Внутрішні канали свердла для подачі МОР у зону різання.

По третє, не слід нехтувати операцією зацентровки отвору спеціальним точковим свердлом «spot drill» [8], рис. 2.6. Таке свердло має меншу довжину, менший об'єм стружкових канавок, що позитивно позначається на його жорсткості. Значення такої зацентровки полягає у створенні конусних лунок на місці майбутнього отвору, які зведуть до мінімуму можливе відхилення основного різального інструменту від вісі.



Рис. 2.6 Точкове свердло.

2.1.2 Фрезерування отворів

Із розвитком верстатів з ЧПУ та САМ-систем набув популярність метод обробки отворів кінцевою фрезою, яка рухається по траєкторії гвинтової лінії, як показано на рис. 2.7.

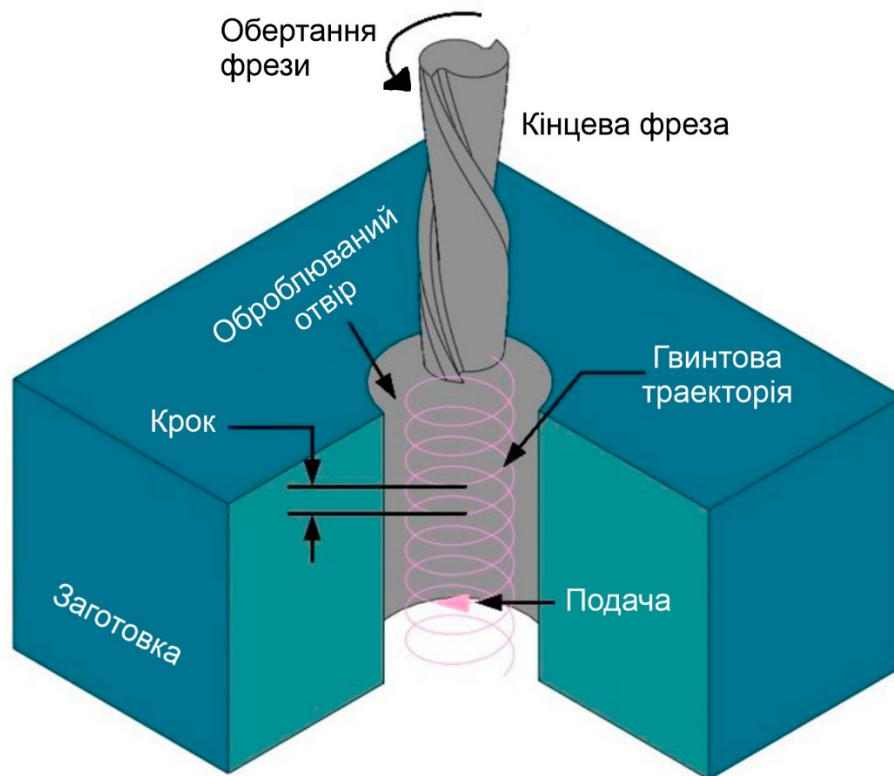


Рис. 2.7 Обробка отвору кінцевою фрезою по гвинтовій траєкторії.

Цей метод надійно закріпився як альтернатива свердлінню і чорновому розточуванню, так як має свої переваги:

- фрезою одного типорозміру можна оброблювати велику кількість отворів різних розмірів і форм, тоді як для обробки деяких отворів потрібно використовувати 2-3 свердла;
- завдяки іншій кінематиці різання – менша сила різання та знос інструменту;
- досяжна точність обробки у діапазоні 7...8 квалітету на діаметр, та шорсткості $Ra\ 1,6$;
- спрощене видалення стружки з отвору, та підводу МОР, так як різниця у діаметрах фрези і оброблюваного отвору, зазвичай, значна;
- спрощений контроль за процесом обробки, передбачуваний знос інструменту, можливість оперативного коригування управляючої програми за допомогою команди компенсації на радіус інструмента G40/G41/G42.

Обробка таким методом виконується звичайною кінцевою фрезою, оснащеною змінними різальними пластинами, чи суцільнометалевою, рис. 2.8.

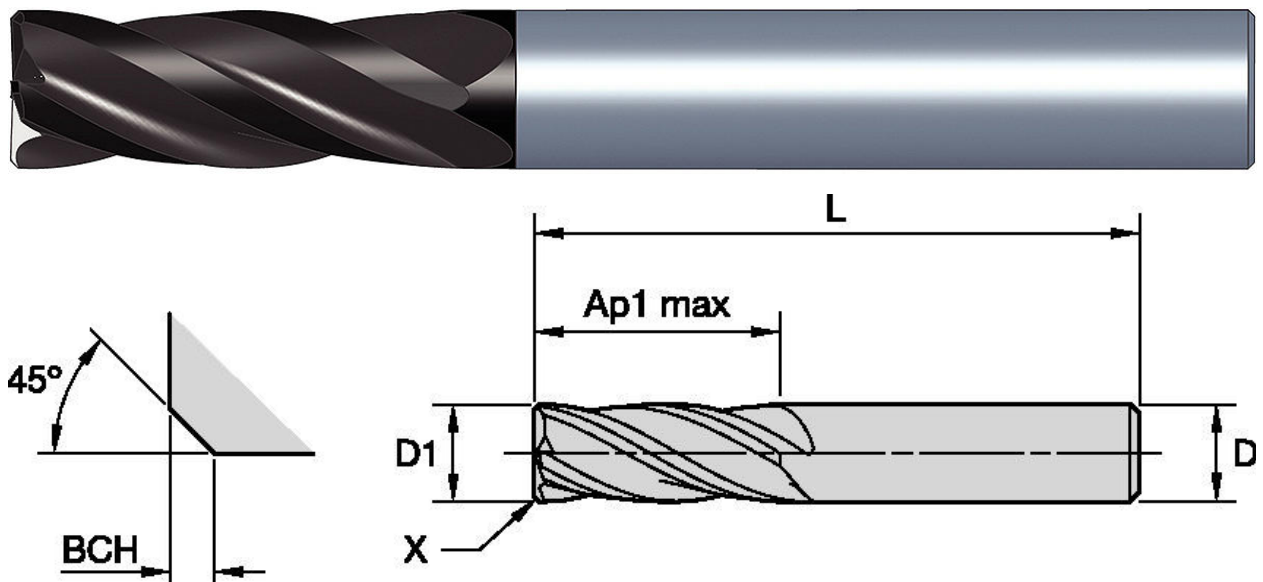


Рис. 2.8 Суцільнометалева кінцева фреза [8].

L – загальна довжина; $D1$ – діаметр робочої частини; D – діаметр хвостовика; $Ap1$ – довжина робочої частини; BCH – довжина фаски X на робочій частині.

Написання управляючої програми при застосуванні методу фрезерування по гвинтовій траєкторії безальтернативно виконується за допомогою САМ системи, з огляду на складку траєкторію, яка поєднує переміщення по трьом вісям. На сьогодні більшість САМ систем забезпечують можливість використання такої стратегії фрезерування, як показано на рис. 2.9.

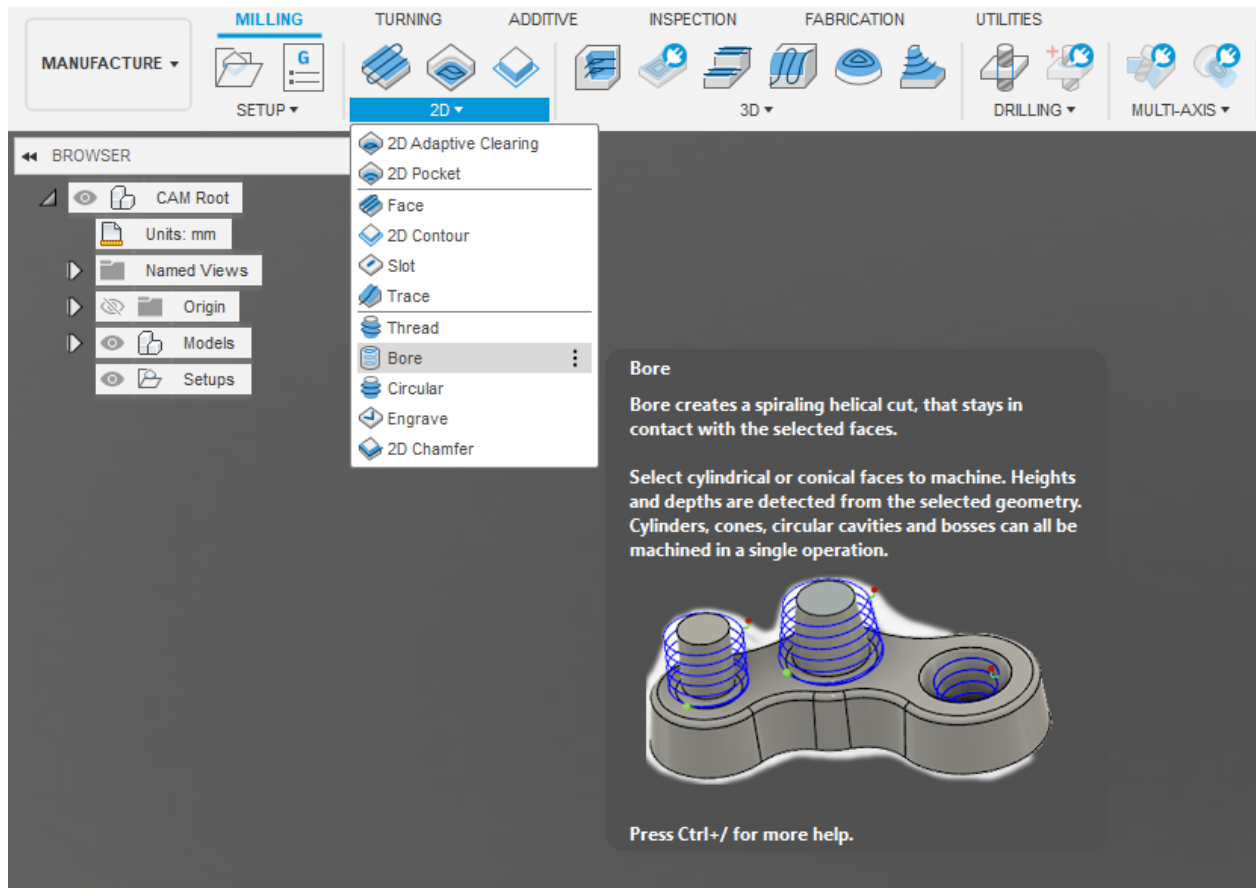


Рис. 2.9 Вікно програми Autodesk FUSION 360 у режимі САМ системи із демонстрацією стратегії спірального фрезерування.

Ключовим моментом технології фрезерування по гвинтовій інтерполяції являється співвідношення d/D , діаметрів фрези d та оброблюваного отвору D , так як від нього залежить співвідношення величин стружок, які знімаються циліндричною та торцевою частиною фрези, а отже і співвідношення сил різання.

Наприклад, при високих значеннях співвідношення d/D , при обробці кінцевою фрезою великого діаметру, мають місце підвищення радіальної складової сили різання (відтискання інструменту від деталі) та виникають

вібрації на торцевій різальній частині, так як об'єм матеріалу, який знімається, максимальний. Такий варіант більше підходить для чорнового проходу.

При низьких значеннях співвідношення d/D , при обробці кінцевою фрезою малого діаметру, частка матеріалу, який знімається торцевою частиною фрези зменшується, закономірно зменшуються і вібрації, підвищується точність обробки, однак жорсткості інструменту не достатньо для обробки на високих подачах. Такий варіант використовується на чистових проходах, коли знімається малий припуск на низьких подачах.

2.1.3 Розвертування отворів

До виключно чистових методів обробки отворів відноситься розвертування отворів. Сутність методу полягає в обробці попередньо сформованих отворів (свердлінням, зенкеруванням, фрезеруванням чи чорновим розточуванням) спеціальним різальним інструментом – розверткою. У класичному виконанні, розвертка – багатолезовий інструмент (рис. 2.10), який знімає невеликий припуск (0,05...0,12 мм), тому має не глибокі стружкові канавки, а отже високу жорсткість. Розвертування дозволяє отримувати отвори 6...9 квалітетів точності із шорсткістю поверхні Ra 0,32...1,25 мкм та з виключною якістю геометричної форми (круглість, прямолінійність), однак зовсім не виправляє розташування, тобто напрямок вісі отвору.

Важливим елементом інструменту є забірний конус на робочій частині, завдяки якому здійснюється врізання та центрування розвертки у оброблюваному отворі. Величина кута цього конусу знаходиться в межах 5...45°, і обирається в залежності від оброблюваного матеріалу, необхідної якості отримуваної поверхні (сталі 15°, чавуни та крихкі матеріали 3...5°). Кількість лез розвертки, зазвичай, парна, але леза розташовуються з різним коловим кроком, щоб уникнути огранки оброблюваного отвору. Стружкові канавки виконуються прямі (рис. 2.10, а), або гвинтові (рис. 2.10, б). Окрім суцільнометалевих (рис. 2.10, а, б), існує декілька усталених збірних конструкцій розверток (рис. 2.10, в, г, е, є), деякі з них взагалі однолезові (рис. 2.10, е, є) [8].



Рис. 2.10 Основні типи розверток для обробки отворів корпусних деталей.

- а) суцільнометалева, з прямими різальними кромками; б) суцільнометалева, з гвинтовими різальними кромками; в) збірна, з механічним кріпленням суцільнометалевої різальної частини; г) збірна, регульована, із змінною різальною частиною; д) змінна регульована різальна частина до розвертки (г), з механічним кріпленням різальних пластин; е) однолезова, регульована, з механічним кріпленням двосторонньої різальної пластини; є) однолезова, регульована, з механічним кріпленням чотиристоронньої різальної пластини.

Суцільнометалеві розвертки (рис. 2.10, а, б) виготовляються у діапазонах діаметрів від 5 до 14 мм, здатні забезпечити виготовлення отвору 7 квалітету. Інструментальний матеріал – твердий сплав або швидкорізальна сталь,

поліровані різальні леза та зносостійке покриття. Даний тип розверток простий у експлуатації та має високу продуктивність обробки отворів.

Збірна конструкція із механічним кріпленням змінної різальної частини показана на рис. 2.10, в. Діапазони діаметрів: 14...20 мм. Альтернатива суцільнометалевим розверткам, розроблена для економії інструментального матеріалу. Досяжна точність на рівні 7 квалітету.

Збірна конструкція розвертки із змінною різальною частиною, та можливістю регулювання діаметру до 0,05 мм показана на рис. 2.10 г, д. Діапазони діаметрів 14...42 мм. Досяжна точність на рівні 6 квалітету. Система кріплення змінного елемента зручна в експлуатації та забезпечує надійну фіксацію та центрування з радіальним биттям 0,003 мм max. Перевагами такої конструкції є легка заміна різальної частини, можливість здійснювати обробку на високих значеннях хвилинної подачі.

В сучасному інструментальному виробництві набирають популярність однолезові регульовані конструкції розверток (рис. 2.10, е, є). Такі розвертки призначені для роботи на особливо точному обладнанні і можуть забезпечувати точність до 5 квалітету у діапазоні діаметрів 6...245 мм для розвертки рис. 2.10, е, та 16...245 мм для розвертки рис. 2.10, є. Для компенсації радіальних сил різання, конструкцією розвертки передбачені напрямні пластини, виконані з твердого сплаву чи кераміки, які встановлюються на циліндричній частині розвертки. Експлуатація розверток такого типу економічно приваблива з огляду на те, що різальні пластини мають 2 або 4 робочих положення.

Кожна з перелічених конструкцій має канали у корпусі розвертки для подачі МОР у зону різання.

Обробку отворів розвертками на верстатах типу обробний центр з ЧПУ виконують, встановлюючи їх у спеціальні регульовані патрони (рис. 2.11). Використання таких патронів зводить до мінімуму радіальне биття та кутові відхилення від шпинделя верстата, верстатного пристосування або створювані силою тяжіння. Мінімальне биття при розвертуванні забезпечує підвищену стабільність процесу та високу стійкість інструменту.



Рис. 2.11 Регульований патрон для розверток.

При деяких сценаріях використання, за допомогою регульованого патрону існує можливість виправити помилки направлення вісі попередньо обробленого отвору.

Отже, розвертування отворів це доволі усталена та продуктивна технологія чистової обробки отворів малих та середніх діаметрів, яка має ряд переваг:

- технологічна простота процесу налагодження і обробки;
- висока досяжна точність та якість оброблюваного отвору;
- висока продуктивність, завдяки багатолезовому інструменту є можливість виконувати обробку з підвищеною подачею.

2.1.4 Розточування отворів

Операція розточування виконується обертовим інструментом для обробки, здебільшого, попередньо сформованих отворів литвом, ковкою, вирубкою, газовим пальником, іншими операціями механічної обробки. Зазвичай, розточування виконується за два проходи, чорновий і чистовий, на спеціальних розточувальних верстатах чи обробних центрах з ЧПУ. Операцією розточування можна досягти 6...9 квалітетів точності розміру, шорсткість до Ra 0,01 мкм та високі показники по допускам форми та розташування отвору.

Сучасний розточувальний інструмент представляє собою систему модулів. Типова система складається із основного тримача, адаптера, різальної частини (різцева вставка, картридж, різець) та різноманітних подовжувачів, повзунів, тощо, та може охоплювати певний діапазон оброблюваних отворів. Інструмент

для чорнового розточування не завжди обмежується однією різальною частиною, однак чистовий – завжди однолезовий, із можливістю дуже точного регулювання, іноді в межах 2 мкм.

Основні типи та сценарії застосування чорнового розточувального інструменту при обробці отворів корпусних деталей показано на рис. 2.12 [10].

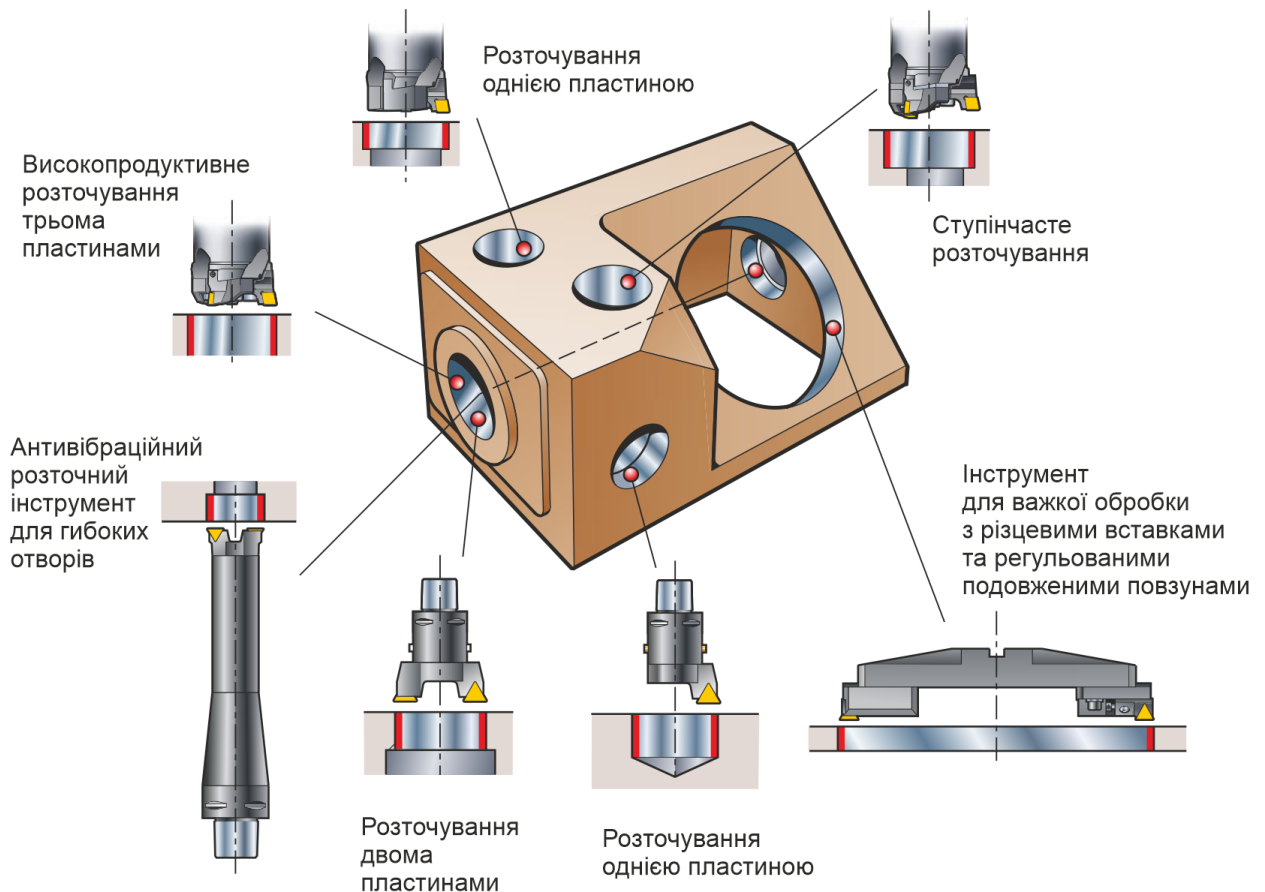


Рис. 2.12 Типи чорнових розточувальних головок та сценарії застосування.

На рис. 2.12 показано інструмент для розточування глибоких отворів, який оснащено антивібраційним адаптером. Використання такого адаптера доцільне при розточуванні отвору з довжиною, більшою чотирьох його діаметрів. Це дозволяє уникнути вібрації, та негативних явищ, нею спричинених (низька якість та точність обробки, підвищення зносу інструменту, шум).

Основні типи та сценарії застосування чистового розточувального інструменту при обробці отворів корпусних деталей показано на рис. 2.13 [10]. Системи для чистового розточування кардинально не відрізняються від чорнових, окрім категоричного використання лише однієї різальної частини.

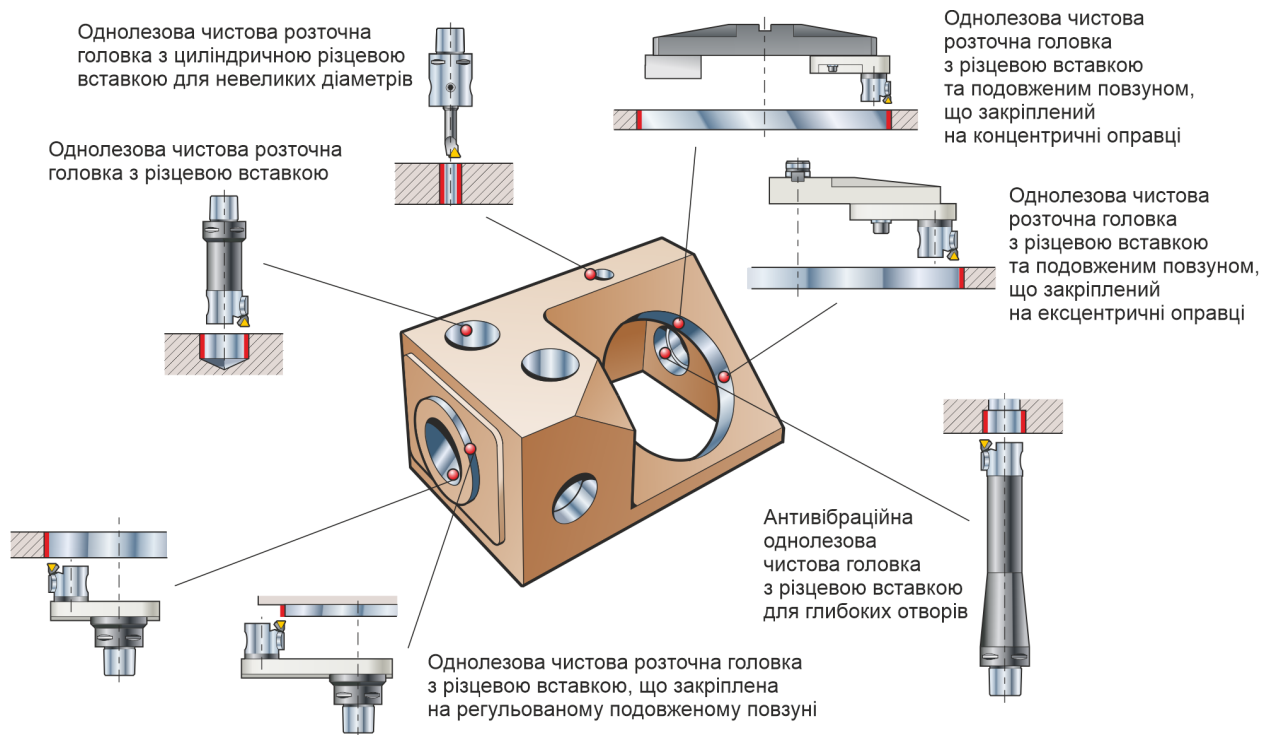


Рис. 2.13 Типи чистових розточувальних головок та сценарії застосування.

Чистове розточування характеризується меншими значеннями подачі та припуску, та збільшеним часом на наладку інструменту на розмір.

Через свою відносну простоту, розточувальний інструмент добре піддається комбінуванню. Так багатьма виробниками [10, 12] інструменту представлені комбіновані розточувальні головки, здатні виконувати обробку декількох поверхонь, рис. 2.14. Такий інструмент здатний виконувати розточування декількох поверхонь різних діаметрів, знімати фаску, виконувати цековку, в залежності від конфігурації.



Рис. 2.14 Комбінований розточувальний інструмент.

Різцеві вставки у комбінованих інструментах мають деякий діапазон регулювання вздовж вісі та у діаметральному напрямку. Оснащений системою подачі МОР у зону обробки. У деяких умовах, використання такого інструменту дає змогу значно заощадити час при обробці складних отворів, скоротити кількість інструментів та підвищити, в результаті, продуктивність обробки.

Загалом, технологія розточування отворів розвинена та дуже розповсюджена при обробці отворів корпусних деталей, через ряд своїх переваг:

- використання при розточуванні однолезового інструменту спрощує контроль процесу та дає змогу отримувати отвори високої якості як по лінійним та діаметральним розмірам, параметрам шорсткості так і по параметрам круглості, циліндричності та прямолінійності;
- найпоширенішим є сценарій використання розточування для обробки точних отворів середнього та великого діаметру у корпусних деталях, а також точних отворів малого діаметру з високими вимогами форми та розташування;
- розточування здатне виправити похибки розташування отворів, які утворені при попередній обробці, чим якісно відрізняється від розвертування.

2.1.5 Шліфування отворів

Шліфування отворів призначене для обробки з високою точністю переважно термооброблених деталей. Шліфуванням можна отримати отвори 5-6 квалітету точності, з високими показниками по допуску круглості, та шорсткістю R_a 0,016 мкм. Шліфуванням оброблюють переважно площини корпусних деталей, та отвори у випадках, коли конструкція дозволяє здійснювати його обертання, однак через високу дороговизну способу та низьку продуктивність, застосовується рідко.

Для корпусних деталей, забезпечити обертання яких проблематично, застосовується шліфування із планетарним рухом шліфувального круга, рис. 2.15. При такій обробці деталь нерухома, а шліфувальному кругу надають

три рухи: обертання навколо своєї вісі, обертання по планетарній траєкторії та вісьове переміщення вздовж вісі отвору. Таким способом оброблюють невеликі отвори. Приведена технологія не набула широкого розповсюдження, через складність кінематики верстату, низьку продуктивність та високу собівартість виготовлення деталі.

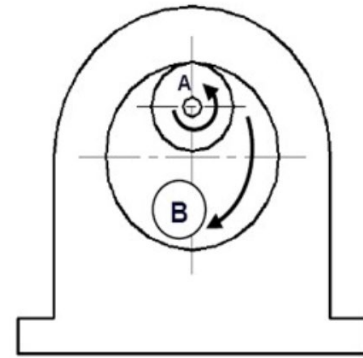


Рис. 2.15 Схема шліфування з планетарним рухом інструменту.

A – обертання шліфувального круга навколо своєї вісі; B – планетарний рух шліфувального круга.

2.1.6 Хонінгування отворів

При обробці отворів, які є функційними елементами гідравлічних елементів, теплових машин, точної механіки та до яких висунуто виключні вимоги до точності та якості, при необхідності утворення «малюнка» мікронерівностей застосовується метод абразивної обробки, який має назву хонінгування.

Процес хонінгування (рис. 2.18) кінематично простий, усі ключові моменти технології зосереджені у самому інструменті – хоні. Інструмент представляє собою циліндр із розташованими по периферії абразивними дрібнозернистими брусками та містить механізм регулювання обумовлених брусків на необхідний розмір. Сучасний розвиток технології дозволив перевести процес регулювання брусків на спеціальну верстатну систему, а не здійснювати його вручну.

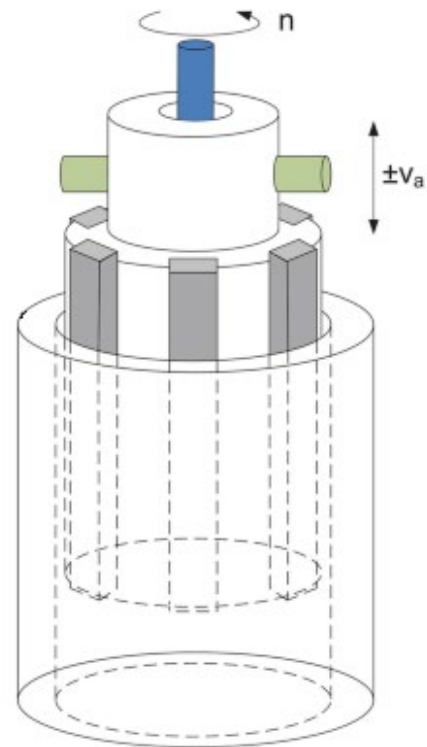


Рис. 2.18 Хонінгування отвору

Під час обробки методом хонінгування, при контакті поверхні деталі із абразивними брусками, відбувається знімання мікроскопічних часток матеріалу та поліпшення вже отриманої на попередніх операціях форми отвору, а у деяких випадках навіть виправлення помилок. При хонінгуванні можливо забезпечити точність отвору по діаметру у межах 1 мкм. Інструменту надають обертального руху, та зворотно-поступального вздовж вісі отвору. Результатом такого суміщення рухів являється так званий «малюнок» мікронерівностей у вигляді сітки рис. 2.19, який використовується для затримання мастила на поверхні деталі.



Рис. 2.19 Поверхня деталі після обробки методом хонінгування.

Хонінгування має ряд переваг над шліфуванням, зокрема можливість здійснювати обробку нежорстких отворів та значно нижча температура при обробці, що виключає утворення припінання матеріалу деталі.

Для виконання обробки використовуються верстати із вертикальним розміщенням шпінделя з ручною подачею інструменту, верстати напівавтомати та в останній час – верстати з ЧПУ. Варіант із ручною подачею трудомісткий та малопродуктивний. Розповсюдження верстатів ЧПУ значно підвищило продуктивність процесу обробки, підвищило стабільність якості оброблюваних отворів, та дозволило в автоматизованому режимі керувати режимами обробки.

У конструкції інструменту використовуються абразивні бруски різних конструктивних виконань і матеріалів, в залежності від умов обробки. Бруски можуть складатися із одного абразивного матеріалу або декількох, також широко застосовуються металеві бруски із напиленням різних абразивних матеріалів –

синтетичних алмазів, кубічного нітриду бору, карбіду кремнію, оксиду алюмінію. Механізм регулювання хона на необхідний діаметр, тобто розведення брусків, здійснюється за допомогою клинового механізму у його будові.

2.1.7 Висновки

Технології обробки отворів у корпусних деталях на сьогодні мають дуже високий рівень розвитку. Різними виробниками інструментів та верстатного оснащення впроваджуються новітні розробки що стосуються прогресивних конструкцій, інструментальних матеріалів, сплавів та зносостійких покриттів, впровадження систем ЧПУ.

2.2 Дослідження способів обробки переривчастих отворів корпусних деталей

Розглянемо проблему обробки переривчастих отворів при розточуванні колодців корпусу шестеренного насосу, рис. 2.20.

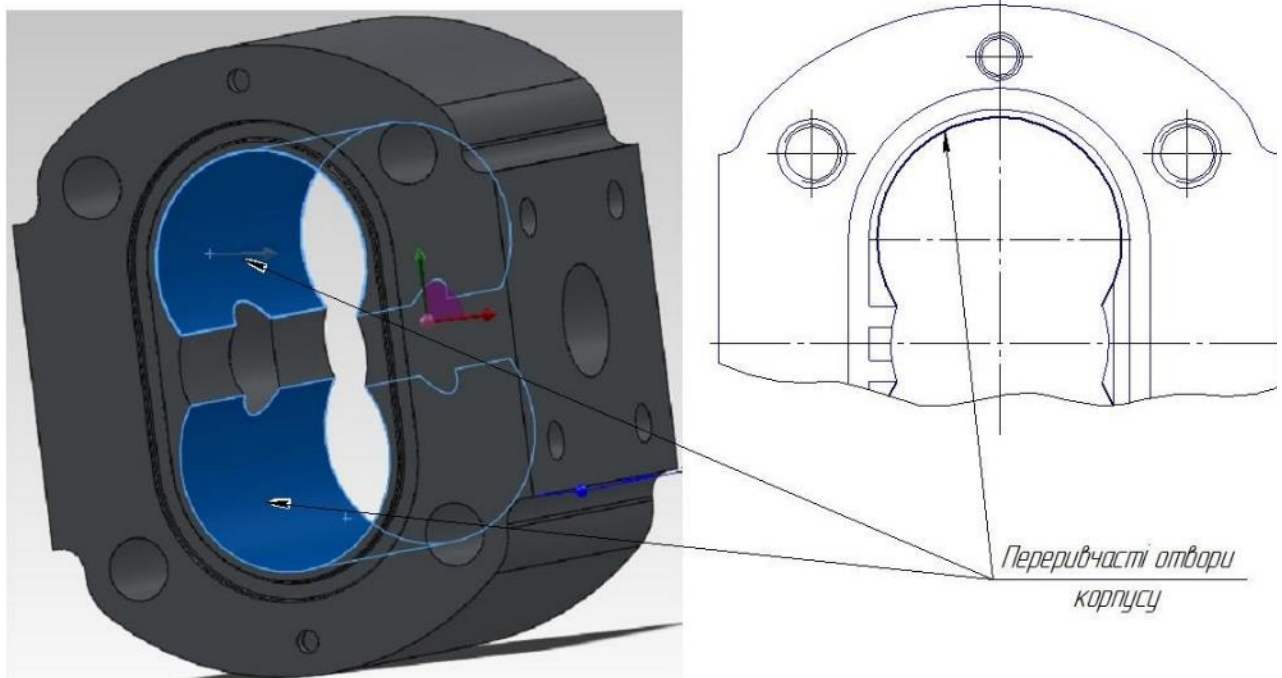


Рис. 2.20 Переривчасті отвори корпусу шестеренного насосу.

Корпус призначений для встановлення в його функційних отворах комплекту шестерень та підшипників (рис.1.2), тому вимоги до якості та точності

поверхні цих отворів високі. Досягти вимог креслення – не проста технологічна задача, так як отвори не суцільні і оброблюються в умовах постійного входу та виходу кромки різального інструменту з тіла деталі. На базовому підприємстві обробку колодців корпусу шестеренного насоса здійснюють на обробному центрі з ЧПУ розточуванням за два проходи, чорновий та чистовий. Розглянемо можливість по зменшенню динамічного навантаження на інструмент при обробці переривчастих отворів найбільш простим способом – корекцією параметрів режиму різання.

В даний час вибір режимів різання при розточуванні отворів зазвичай проводиться на основі рекомендацій виробників металорізального інструменту. При розробці рекомендацій, виробник враховує виліт інструменту (глибину оброблюваного отвору), шорсткість обробленої поверхні, точність отвору. Однак при обробці отворів з переривчастою поверхнею цих обмежень недостатньо, тому на вибраних режимах спостерігається викривлення різальних кромки інструменту, зниження точності обробки та виникнення вібрацій. Основною причиною цього є недостатня жорсткість елементів технологічної системи. Тому режими різання, обрані за каталогом інструменту, зазвичай коригуються у менший бік безпосередньо на робочому місці, що значно знижує продуктивність обробки. В умовах сучасного виробництва, у якому активно експлуатуються верстати з ЧПУ, режими різання необхідно призначати на етапі проектування операції з урахуванням усіх умов, без додаткового коригування.

При розточуванні найменш жорстким елементом технологічної системи, як правило, є різальний інструмент, на який діє система сил F_x , F_y , F_z під дією яких він деформується. Під дією сили F_y розточувальна оправка 3 (рис. 2.21) деформується на величину $y_{ін}$.

Для розточувальної оправки, що закріплена консольно, величина деформації дорівнює:

$$y_{ін} = \frac{F_y \cdot L^3}{3EI}, \quad (2.1)$$

де F_y – сила різання, Н;

L – довжина розточувальної оправки, м;

розточку) на величину y_{iib} в результаті чого в момент врізання в край отвору (точка A) глибина різання t зростає на цю величину, що й призводить до збільшення сил різання. Також збільшення сил відбувається через збільшення товщини зрізуваного шару в момент проходження розточки 2, так як при проходженні розточки інструмент не ріже, але переміщається, тому товщина зрізуваного шару в момент врізання буде дорівнювати:

$$a = \frac{S \cdot l}{\pi D \sin \varphi}, \quad (2.2)$$

де S – подача на оберт, мм/об;

l – довжина розточки, мм;

D – діаметр отвору, що розточується, мм;

φ – головний кут у плані, град.

Таким чином, в момент врізання в край розточки на інструмент будуть діяти сили, які більше ніж при різанні суцільного матеріалу.

Враховуючи, що в момент врізання в край розточки на інструмент діє не статична, а динамічна сила (удар), то вплив на інструмент ще більше збільшується. Силу, що діє на різальний клин інструменту під час врізання, можна визначити за методикою, яка використовується в опорі матеріалів для ударів [2]:

$$F_d = k_d F, \quad (2.3)$$

де F_d – узагальнене динамічне зусилля, що діє на тіло, яке ударяється, Н;

k_d – динамічний коефіцієнт;

F – зусилля, що діє тіло, у статиці, Н.

Динамічний коефіцієнт k_d визначається як:

$$k_d = 1 + \sqrt{\frac{V_o^2}{\delta g}} = 1 + \sqrt{\frac{V_o^2 J}{F g}} \quad (2.4)$$

де V_o – швидкість руху тіла, яке ударяє, м/с;

δ – лінійне переміщення точки зіткнення при статичній дії сили F , м;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

J – жорсткість тіла, яке ударяють, Н/м.

Розглянемо умову забезпечення міцності різального клину. Міцність його в основному залежить від механічних властивостей матеріалу різальної частини інструменту та сили, що діє на клин. Так, при переривчастому розточуванні інструментом із різальною частиною із твердого сплаву, спостерігається крихке руйнування різального клину у вигляді мікро- і макроруйнування.

Мікроруйнування (рис. 2.22) відбувається в межах контакту інструменту з оброблюваною деталлю та стружкою, тобто на відстані, що дорівнює ширині площини пластичного деформування C . Макроруйнування виникають на відстані $(2...2,5)C$ від різальної кромки. У нашому випадку розглядається чистове розточування, при якому виникають мікроруйнування, отже, скол різального клина відбудеться на відстані C від різальної кромки і в напрямку від точки 1 до точки 2, яке є найменшою відстанню від передньої до задньої грані інструменту.

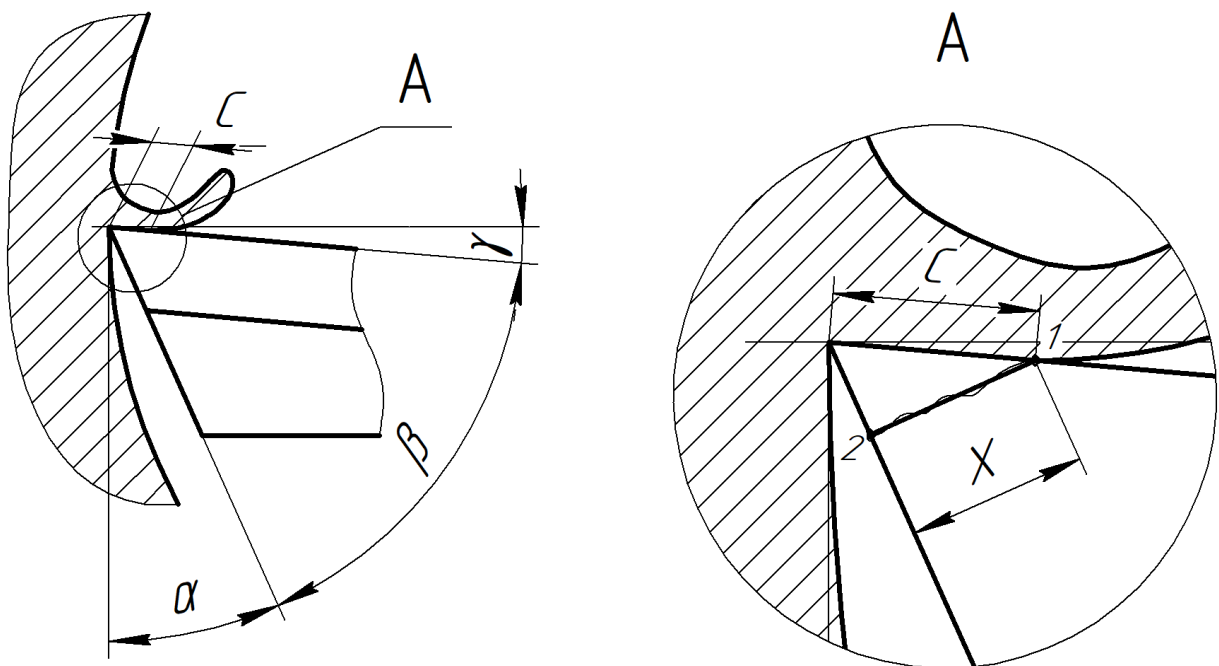


Рис. 2.22 Схема крихкого руйнування різального клина.

α , β , γ – геометрія різця, C – площина пластичного деформування; X - найменша відстань від передньої до задньої грані інструменту по межі площини пластичного деформування.

Величина площини пластичного деформування може бути визначена за відомою формулою теорії різання:

$$C = S \sin \varphi [K_a(1 - \tan \varphi) + \sec \gamma], \quad (2.5)$$

де K_a – потовщення (усадка) стружки;

γ – передній кут різального клину, град.

Відстань від точки 1 до точки 2:

$$X = C \sin \beta, \quad (2.6)$$

де β – кут загострення різального клину ($\beta = \pi/2 - \gamma - \alpha$), град.

Довжину сколу вздовж різальної кромки можна прийняти рівною ширині шару, що зрізається:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}, \quad (2.7)$$

де t – глибина різання, мм.

Напруга, яка виникає у площині сколу, буде дорівнювати:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma_i] \quad (2.8)$$

де M – момент, що діє на різальний клин, Н/м;

W – момент опору поперечного перерізу сколу, м³; для цього випадку:

$$W = \frac{xb^2}{6};$$

σ_i – межа міцності на вигин матеріалу різальної частини інструменту, Па.

Момент, що діє на різальний клин, можна прийняти, за умови, що сила різання діє на різальній кромці, рівним:

$$M = F_d C = k_d F C. \quad (2.9)$$

Для визначення сили різання використовуємо спрощене рівняння:

$$F = K_p \sigma_b f_n, \quad (2.10)$$

де K_p – коефіцієнт різання, при різанні алюмінієвих сплавів $K_p \approx 1,25$;

σ_b – межа міцності оброблюваного матеріалу, Па;

f_n – площа поперечного перерізу шару, що зрізається, м.

У даному випадку:

$$f_n = ab = \frac{Slt}{\pi D (\sin \varphi)^2}.$$

Після підстановки у рівняння (2.8) всіх складових, виконавши ряд перетворень, отримаємо рівняння для визначення величини раціональної подачі:

$$S \leq \frac{[\sigma_i] \pi D t \sin \beta}{6 k_d K_p \sigma_B l} \quad (2.11)$$

Отримане рівняння (з рядом припущень) дозволяє визначити подачу, при якій можна буде запобігти викришуванню різального клину. Подача, визначена за цим рівнянням, є додатковим обмеженням при виборі режимів різання для розточування отворів з переривчастою поверхнею.

2.3 Висновки

У розділі проведений аналіз способів обробки отворів, як лезових так і абразивних. Не всі методи раціонально використовувати для обробки точних отворів у корпусних деталях по ряду причин.

Визначено, що найбільшого розповсюдження отримав метод розточування отворів, з огляду на гнучкість, продуктивність та розвиток модульних конструкцій інструменту. Однак обробка переривчастих отворів цим методом додає певні обмеження і створює ряд проблем.

Для вирішення проблеми викришування різального клину інструменту, розглянуто методику вибору режимів різання, а саме подачі, при розточуванні отворів з переривчастою поверхнею із забезпеченням міцності різального клину. Виведено рівняння, яке дозволяє розрахувати раціональну подачу з огляду на ці обмеження.

Використання приведеної методики має практичну цінність при розрахунку режимів різання для розточувальних операцій при обробці переривчастих отворів.

РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСУ НАСОСУ

3.1 Службове призначення корпусу насоса та його характеристики

Деталь - корпус GP20N-4-00-05 (рис. 3.1) призначений для монтажу всіх основних деталей насоса, для захисту їх від зовнішнього впливу та створення відповідних умов для процесів, які відбуваються при роботі насоса, при нагнітанні робочої рідини під тиском за допомогою двох шестерень (ведучої та веденої). Деталь за своєю формою відноситься до класу корпусних деталей. Корпус має торцеві, внутрішні циліндричні поверхні, канавки та різьбові отвори.

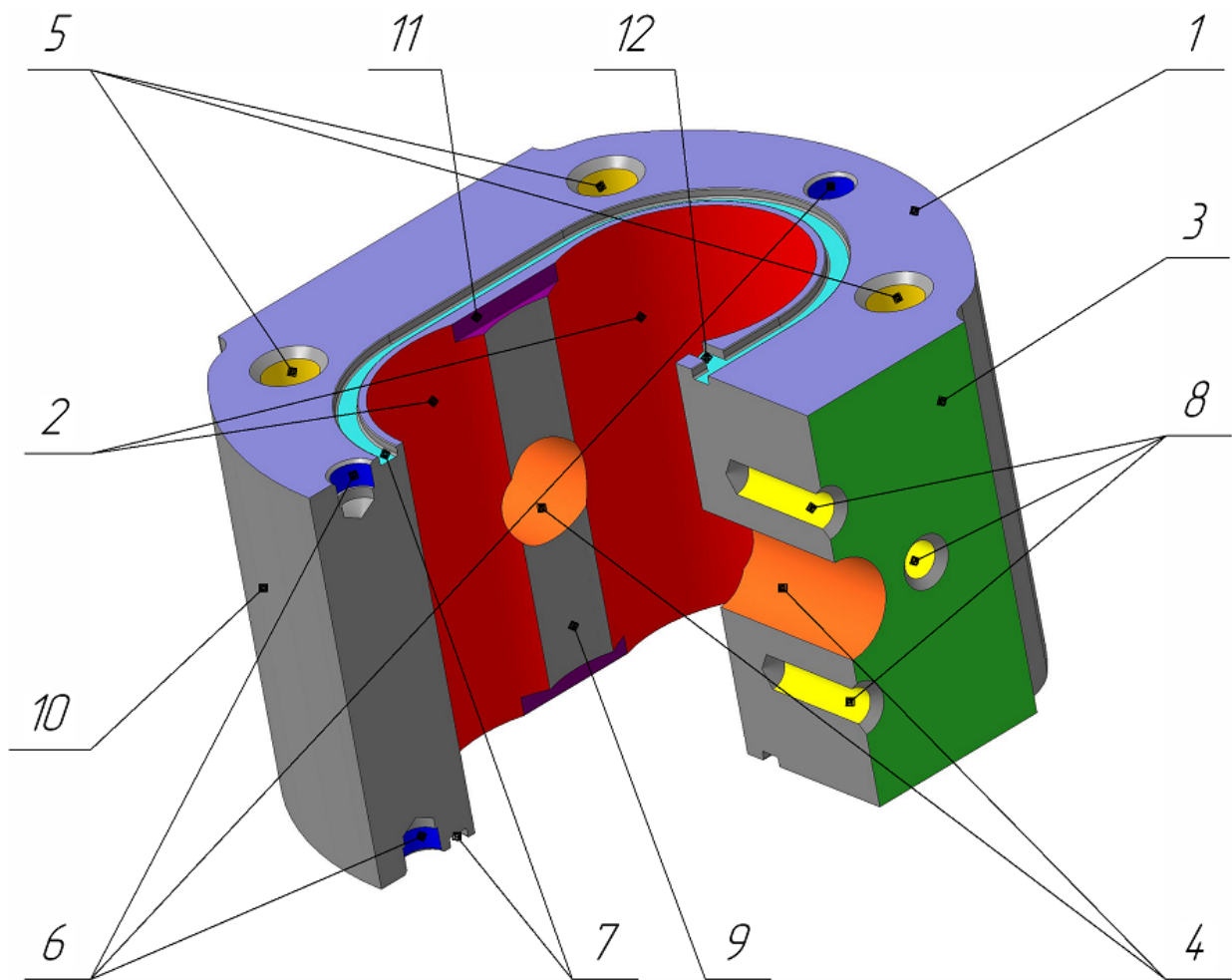


Рис. 3.1 Ескіз корпусу GP20N-4-00-05.

- 1 – торець; 2 – колодці; 3 – платики; 4 - вхідний та вихідний отвори; 5 – різьбові отвори для кріплення кришок; 6 – базові технологічні отвори; 7 – канавки для ущільнень; 8 – різьбові отвори для кріплення фланців; 9 – розточка; 10 – зовнішня поверхня; 11 – канавка; 12 – дренаж.

Основними поверхнями деталі є торцева поверхня поз. 1 та два отвори поз. 6, які знаходяться на обумовленій торцевій поверхні, та які визначають положення деталі у виробі.

До допоміжних поверхонь можна віднести отвори колодців поз. 2, дві торцеві поверхні платиків поз. 3, торцева поверхня корпусу, що протилежна торцевій поверхні поз. 1, вісім різьбових отворів поз. 5 для кріплення фланців, вісім різьбових отворів поз. 8 для кріплення кришок, дві канавки поз. 7 під ущільнення кришок. Всі інші поверхні є вільними.

При роботі деталь сприймає великі навантаження від тиску та пульсації робочої рідини, в зв'язку з чим корпус повинен мати необхідну жорсткість і вібростійкість, що забезпечується точністю виготовлення та вимогами які висуваються до відносного положення з'єднуваних деталей.

Насос шестеренний GP20N-4, до складу якого входить деталь, є роторною машиною об'ємного типу і призначений для використання у різноманітній сільськогосподарській та промисловій мобільній техніці. Конструкція шестеренного насосу спрощена, має малу кількість деталей, які обертаються, компактні габарити і невелику масу.

Загальний вигляд насоса представлено на рис. 3.2. Як видно, основні деталі насоса – ведуча поз. 1 та ведена поз. 2 шестерні встановлюються у колодцях корпусу поз. 4 разом із комплектом втулок поз. 3, які являються підшипниками ковзання. Для зменшення внутрішнього перетікання робочої рідини, втулки поз. 3 підтискаються до торців шестерень за допомогою фігурних манжет поз. 5. За зовнішню герметичність відповідають кришки передня поз. 10 та задня поз. 7, із комплектом гумових кілець поз. 8, які за допомогою гвинтів поз. 12 кріпляться до корпусу насоса. Забезпечення герметизації вихідного вала ведучої шестерні, із збереженням можливості його обертання, виконано за допомогою манжет поз. 11, які встановлюються у передню кришку зі стопорним кільцем поз. 9.

Насоси серії «N» мають збалансовану конструкцію, яка забезпечує високий об'ємний (досягає 94-98%) і механічний ККД.

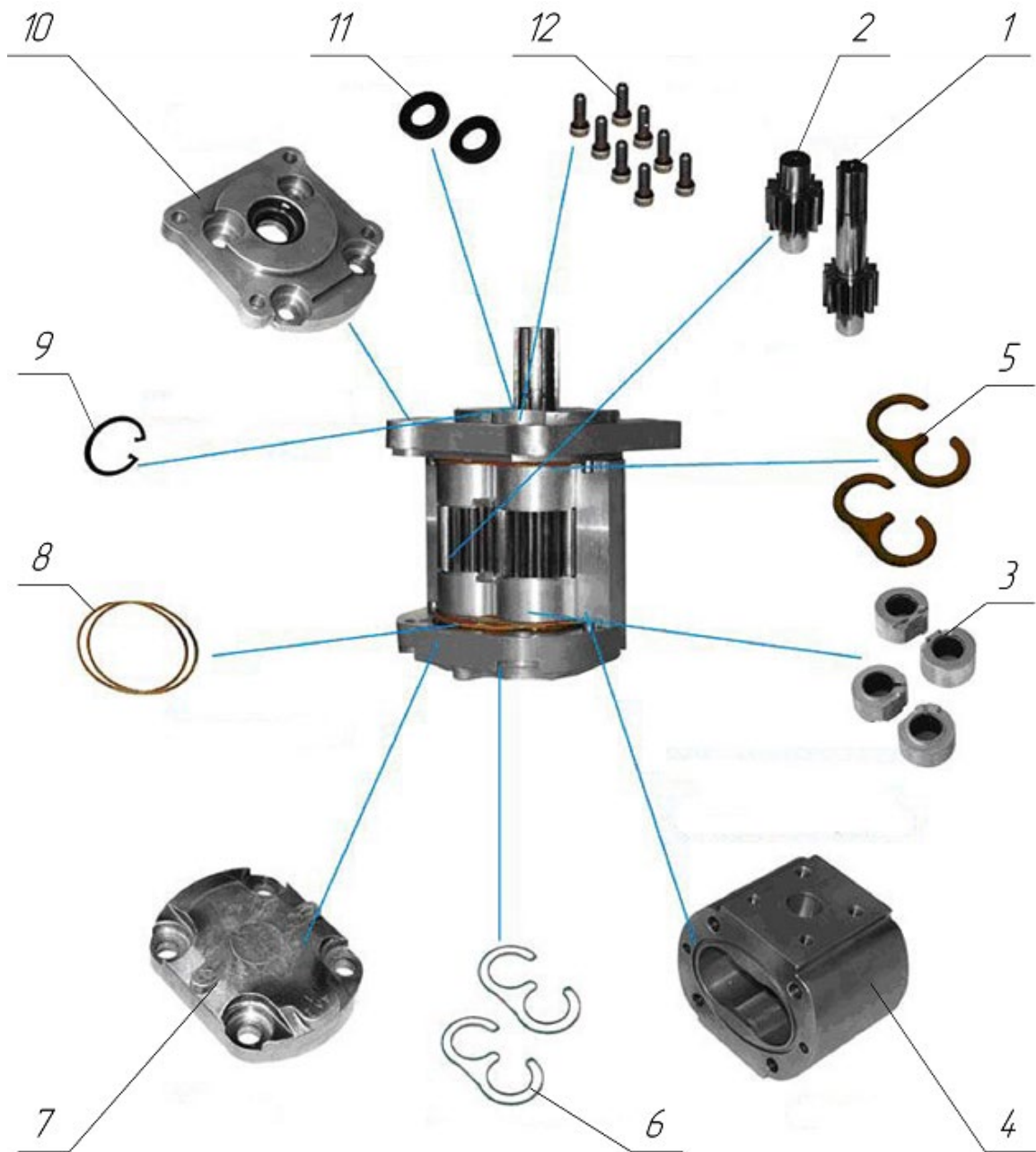


Рис. 3.2 Будова шестеренного насосу GP20N-4.

1 – ведуча шестерня; 2 – ведена шестерня; 3 – підшипникові втулки; 4 – корпус;
 5 – манжети; 6 – захисні пластини; 7 – задня кришка; 8 – ущільнення кришок;
 9 – стопорне кільце; 10 – передня кришка; 11 – манжети; 12 – гвинти.

Насос працює наступним чином. Приведення в рух пари шестерень утворює зону низького тиску (розрідження) у входному каналі насосу, завдяки цьому робоча рідина всмоктується по гідролінії і заповнює міжзубові порожнини зони низького тиску насосу. При подальшому обертанні шестерень робоча рідина переноситься у міжзубових западинах у зону високого тиску, а зубці замикаються, тим самим утворюючи високий тиск у напірній лінії гідросистеми.

Робоча рідина у насосі виконує ще й функції змащення поверхонь та охолодження агрегату. Ресурс насоса залежить від якості робочої рідини, що використовується, так як працездатність підшипників ковзання, визначається умовами їх змащення.

Технічна характеристика насосу GP20N-4:

Робочий об'єм, см³/об32±3%

Тиск нагнітання, МПа(кгс/см²)

- номінальний20 (200)

- максимальний28 (280)

Частота обертів, об/хв.

- мінімальна500

- номінальна2200

- максимальна3600

ККД, %95

Маса (без приєднувальної арматури), кг5,0

Габаритні розміри, мм93x118x126

3.2 Розробка технології виготовлення корпусу насоса

3.2.1 Визначення типу виробництва

Тип виробництва визначаємо через коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.}$, який визначається за формулою:

$$K_{з.о.} = \frac{Q}{P},$$

де Q - кількість операцій по базовому технологічному процесу на ділянці протягом прийнятого календарного терміну;

P - кількість робочих місць, що забезпечують виконання операцій базового технологічного процесу при відповідній програмі випуску продукції.

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.}$ показує відношення усіх різних технологічних операцій, які виконуються в підрозділах за місяць до кількості робочих місць.

До вихідних даних розрахунку відносяться:

- значення штучного часу кожної операції;
- дійсний річний фонд часу роботи обладнання, 3804 годин;
- програма випуску продукції, 5500 шт.

Розрахунок типу виробництва виконуємо за допомогою прикладної програми «ТИП» на ПК [6, 7]. Результати розрахунків приведені нижче:

Розрахунок типу виробництва

Корпус GP20N-4-00-05

Вихідні дані			
Програма випуску 5500			
Номер операції	Дійсний річний фонд часу роботи обладнання	Штучний час	
5	3804	3.3800	
10	3804	17.2700	
15	3804	9.9300	
Результати розрахунку			
Номер операції	Розрахункова кількість верстатів	Прийнята кількість верстатів	Кількість операцій на даному верстаті
5	0.1018	1	7.86
10	0.5202	1	1.54
15	0.2991	1	2.67

Коефіцієнт закріплення операцій 4.023369

Тип виробництва – крупносерійний

Згідно проведеним розрахункам, тип виробництва виготовлення деталі корпус – крупносерійний. Крупносерійне виробництво характеризується виготовленням виробів партіями, із періодичним повторюванням. Обсяг випуску підприємств такого типу коливається близько сотень та тисяч регулярно повторюваних виробів. При такому типі виробництва застосовують універсальні, спеціалізовані і спеціальні верстати, які мають можливість швидкого переналагодження, широко використовуються верстати з ЧПУ, обробні центри. Різальний інструмент використовують універсальний і

спеціальний. Затискні верстатні пристрої – спеціальні, різної складності. Вимірювальний інструмент і пристрої – універсальні, а також калібри та спеціальний вимірювальний інструмент. Робітники задіяні різної кваліфікації, вищої ніж у масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному.

Визначення характеру проектного технологічного процесу виготовлення деталі й найбільш раціонального, для умов конкретного підприємства, ступеня його технічної оснащеності, є дуже складним завданням. Це вимагає від інженера-технолога розуміння реальної виробничої обстановки, вміння проводити необхідні техніко-економічні розрахунки та аналіз найближчих перспектив розвитку підприємства і галузі в цілому.

3.2.2 Аналіз точності та технологічності деталей

Деталь – корпус, виготовляється із відлитого алюмінієвого профілю з матеріалу Д16 ГОСТ 4784-97, так як конфігурація зовнішніх та внутрішніх поверхонь не викликає значних складнощів при виготовленні заготовки. Заготовка деталі не має різких коливань припусків на обробку. Конфігурація деталі не дозволяє використання стандартних та уніфікованих заготовок. Зважаючи на призначення, можна вважати, що деталь має оптимальну форму.

Аналіз технічних вимог до деталі у кресленні деталі показує:

- допускається виготовлення деталі із профілів з механічними характеристиками матеріалу $\sigma_{\text{вр}} \geq 340 \text{ МПа}$ і $\delta \geq 8\%$;
- на поверхнях 1, 2 (рис. 3.1) механічні пошкодження не допускаються;
- на необроблених поверхнях ливарні дефекти і пошкодження поверхонь від затискних пристроїв не допускаються;
- невказані граничні відхилення розмірів: H14; h14; $\pm t/2$;
- твердість – 100...125 HB;
- інші технічні вимоги по ГОСТ8617-81.

Технічні вимоги назначені правильно, обґрунтовано, однозначно і коректно. Метод постановки розмірів – комбінований. Розміри та їх допуски відповідають діючим стандартам [6, 7].

Деталь має декілька поверхонь із високими вимогами до точності та шорсткості. Забезпечення таких вимог наряду вплине на собівартість виготовлення деталі. Загалом, точність виготовлення поверхонь деталі визначається її функціональним та службовим призначенням.

В цілому, деталь можна вважати достатньо технологічною. Всі поверхні, які підлягають механічній обробці, є легко доступними для підводу інструменту. Довжина отворів (колотців), які підлягають розточуванню, не перевищує допустиму для консольної обробки довжину та дозволяють виконувати обробку напрохід. Конструкція деталі дає змогу виконати її обробку з найменшою кількістю установок. До нетехнологічних елементів можна віднести глухі різьбові отвори.

Виконання поелементного аналізу точності деталі проведемо по вже зазначеним на рис. 3.1 номерам поверхонь, які обробляються, а результати аналізу занесемо в табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

№ пов.	Назва поверхні	Розмір з відхиленнями	Квалітет точності	Точність форми	Точність розташування	Шорсткість
1	Площина розс'єму	$76,2^{+0,03}$	h12	$\square 0,03$	$// 0,02 \text{ Ж}$	Ra 2,5
2	Отвір	$\varnothing 46,9^{+0,025}$	H7	-	$\perp 0,025/50 \text{ Ж}$ $\oplus R0,01$	Ra 1,6
3	Площина	$108 \pm 0,27$	js13	-	-	Ra 3,2
4	Отвір	$\varnothing 19^{+0,52}$	H14	-	-	Ra 12,5
5	Отвір різьбовий	M12-6H	-	-	$\oplus R0,3 \text{ (M)}$	Ra 12,5
6	Отвір ступінчастий	$\varnothing 7,99^{+0,058}$	H10	-	$\oplus R0,015 \text{ (M)}$	Ra 2,5
		$\varnothing 7^{+0,36}$	H14	-	-	Ra 12,5
7	Канавка радіусна	$4^{+0,2}$	-	-	-	Ra 2,5
		$1,85 \pm 0,1$	-	-	-	Ra 2,5
8	Отвір різьбовий	M8-6H	-	-	$\oplus R0,2 \text{ (M)}$	Ra 12,5
9	Отвір	$\varnothing 42^{+0,62}$	H14	-	-	Ra 12,5
11	Вибірка	$3,5^{+0,1}$	H14	-	-	Ra 3,2
		$22^{+0,52}$	H14	-	-	Ra 2,5
12	Паз	$4^{+0,3}$	H14	-	-	Ra 2,5
		$1,9^{+0,25}$	H14	-	-	
		$6,55_{-0,36}$	H14	-	-	

Аналіз креслення та параметрів точності поверхонь, які піддаються механічній обробці, показує, що розміри поверхонь задані в достатній кількості для здійснення їх обробки. Найбільш точними та відповідальними поверхнями деталі корпус є:

- два отвори $\varnothing 46,9^{+0,025}$, в яких розміщуються комплект шестерень та підшипникових втулок. Вимоги до точності відображено на кресленні так:
 - $\left[\begin{array}{c} \perp \\ 0,025/50 \end{array} \right] \text{Ж}$ - допуск не перпендикулярності відносно площини роз'єму не більше 0,025 мм на довжині 50 мм;
 - $\left[\begin{array}{c} \oplus \\ R 0,01 \end{array} \right]$ - залежний допуск розміщення отвору, ширина поля допуску дорівнює позиційному допуску в радіусному вираженні;
 - шорсткість – Ra 1,6;
- площини роз'єму, які сполучаються з поверхнями кришок (задньою та передньою). Вимоги до точності відображено на кресленні так:
 - $\left[\begin{array}{c} \square \\ 0,03 \end{array} \right]$ - допуск площинності не більше 0,03 мм;
 - $\left[\begin{array}{c} // \\ 0,02 \end{array} \right] \text{Ж}$ - допуск паралельності однієї площини роз'єму відносно іншої площини роз'єму (база Ж) не більше 0,02 мм;
 - Шорсткість – Ra 2,5;
- два отвори $\varnothing 7,99^{+0,058}$ для розміщення установчих штифтів. Вимоги до точності відображено на кресленні так:
 - $\left[\begin{array}{c} \oplus \\ R 0,015 \text{ (M)} \end{array} \right]$ - залежний допуск розміщення отвору, ширина поля допуску дорівнює позиційному допуску в радіусному вираженні;
 - Шорсткість – Ra 2,5.

Інші поверхні корпусу мають рядові вимоги по точності та шорсткості.

3.2.3 Аналіз діючого технологічного процесу

Діючий на базовому підприємстві АТ «Гідросила» технологічний процес механічної обробки деталі корпус GP20N-4-00-05 було проаналізовано, та зроблено висновок, що він забезпечує виготовлення деталей із заданими у кресленні вимогами щодо точності [6, 7].

Одним із недоліків базового технологічного процесу є те, що діючий технологічний процес не забезпечує необхідну гнучкість виробництва, що важливо в умовах сучасного ринку.

Базовий технологічний процес виготовлення деталі корпус наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2.

№ операції	Найменування операції	Технологічне обладнання	Час виконання
200	Стрічкопильна	МЕВА 260АР	3,38
210	Комплексна на ОЦ	НСЕ400Р	17,27
215	Комплексна на ОЦ	НААС VF-3	9,93

Як видно із табл. 3.2, технологічний процес обробки деталі, який діє на базовому підприємстві, складається з трьох операцій. Спершу, виконується розрізання відлитого профілю на стрічкопильному верстаті мод. МЕВА 260АР на штучні заготовки визначеної довжини. Потім виконується обробка площин корпусу, отворів, канавок, пазів на двох обробних центрах з ЧПУ мод. НСЕ400Р та НААС VF-3. Спершу на верстаті мод. НСЕ400Р виконується чорнова обробка площин роз'єму, платиків, колодців, свердління отворів, нарізання різьби, а потім вже на верстаті мод. НААС VF-3 чистова обробка площин роз'єму, колодців, фрезерування канавки і пазів, нарізання різьби, свердління штифтових і кріпильних отворів. Обробка здійснюється з трьох сторін.

Сучасні обробні центри з ЧПУ, оснащені ділильними поворотними столами з ЧПУ та із застосуванням спеціальних затискних пристроїв, дають можливість виконувати обробку складних корпусних деталей з чотирьох сторін послідовно. Ділильні поворотні столи забезпечують надійну кутову індексацію з кроком 45^0 і точністю $\pm 15''$ і повторюваністю $5''$.

У випадку деталі, яка розглядається, здійснити чорнову та чистову обробку із чотирьох сторін на одному верстаті із застосуванням спеціального затискного пристрою можливо. Однак слід мати на увазі, що при чорновій механічній обробці сила затиску деталі в декілька разів більша ніж сила затиску при чистовій, а так як корпус виготовлений із алюмінієвого сплаву то він не є

достатньо жорстким. Деталь зазнає пружних деформацій під дією сил затиску і якщо деталь в такому стані обробити механічно, витримуючи усі показники точності та якості поверхонь, які вказані на креслені, то після зняття навантаження (розтиску) деталь в межах пружних деформацій повернеться в свій початковий стан і точність розмірів та форми поверхонь зміниться. Особливо на це слід звертати увагу при обробці відповідальних поверхонь корпусу – отворів колодців $\varnothing 46,9^{+0,025}$ з допуском циліндричності 0,01 мм, бо саме точність цих поверхонь разом із точністю параметрів зубчастого вінця та підшипникових вузлів впливають на вихідні показники насосу.

Проведені зміни у технологічному процесі дадуть змогу виконувати комплексну обробку корпусу на одному обробному центрі, зменшивши час на виготовлення, кількість міжопераційних переміщень, кількість верстатів, використання виробничої площі, використання енергії, робітників.

3.2.4. Вибір заготовки

Беручи до уваги геометричну форму деталі, матеріал та її службове призначення деталі, обираємо метод отримання заготовки – профільне литво [6, 7]. Заготовки являють собою профіль визначеного перерізу довжиною 3 метри і для подальшої обробки підлягають розрізанню на стрічко-пильних верстатах на штучні заготовки. Матеріал заготовки – алюмінієвий сплав марки Д16 ГОСТ 4784-97. Обраний алюмінієвий сплав має необхідну міцність, малу вагу, гарну оброблюваність та чудові ливарні якості. Також до переваг такого методу отримання заготовок можна віднести високий коефіцієнт використання металу та ціну, так як профільне литво відноситься до дешевих методів спеціального литва.

Хімічний склад та механічні властивості матеріалу деталі наведено в табл. 3.3 та табл. 3.4 відповідно.

Вибір способу виготовлення заготовки дозволяє отримати відливку високої якості з мінімальним об'ємом механічної обробки деталі.

Таблиця 3.3.

Марка матеріалу	Хімічний склад в %								
Д16	Al	Mg	Cu	Si	Fe	Mn	Zn	Ni	Ti
	90,9	1,2-1,8	3,8-4,9	0,5	0,5	0,3-0,9	0,3	0,1	0,1

Таблиця 3.4.

Марка матеріалу	Механічні властивості		
	Межа міцності σ_B , МПа	Межа текучості σ_T , МПа	НВ
Д16	460	350	100...125

Проведемо порівняльний коштовний аналіз методів отримання заготовок методами профільного лиття та лиття в кокіль.

Спершу, розраховуємо вартість отримання заготовки із профільного лиття за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000},$$

де: C_i – базова вартість 1 т. заготовок (115000 грн. АТ «Гідросила» 2023 р.);

$k_T = 0,13$; $k_C = 1,03$; $k_B = 1,0$; $k_M = 0,83$; $k_{\Pi} = 1,1$ - коефіцієнти, що залежать від точності, групи складності, маси, марки матеріалу та об'єму виробництва заготовок;

Q – маса заготовки ($Q = 1,95$ кг);

q – маса готової деталі ($q = 1,706$ кг);

$S_{\text{відх}}$ – ціна 1 т. відходів ($S_{\text{відх}} = 39600$ грн.).

Підставивши значення у формулу, отримаємо:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{115000}{1000} \cdot 1,95 \cdot 0,13 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 1,1 \right) - (1,95 - 1,706) \cdot \frac{39600}{1000} = 17,752 \text{ грн.}$$

На річну програму випуску (5500 шт/рік): $S_{\text{заг}} = 97636$ грн.

Те ж саме, для методу лиття в кокіль при базовій вартості 1 т. заготовок $C_i = 169300$ грн., та масі заготовки $Q = 2,07$ кг:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{169300}{1000} \cdot 2,07 \cdot 0,13 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 0,83 \cdot 1,1 \right) - (2,07 - 1,706) \cdot \frac{39600}{1000} = 28,433 \text{ грн.}$$

На річну програму випуску (5500 шт/рік): $S_{\text{заг}} = 156381,5$ грн.

Отже, обраний метод отримання заготовок – профільне лиття, задовольняє всім вимогам економії та крупносерійного типу виробництва.

3.2.5 Вибір методів обробки поверхонь

Проектування раціонального технологічно процесу виготовлення деталі завжди являє собою компроміс між багатьма конструкторськими, технологічними, виробничими, економічними а також управлінськими факторами. Основою для всієї цієї множини факторів, зазвичай, є варіація можливих маршрутів обробки кожної окремої поверхні деталі. Ключовими параметрами при розробці таких потенційних маршрутів є параметри точності розмірів, форми та шорсткість поверхні. Особливо у випадку, коли технологія виготовлення заготовок дозволяє отримати поверхню необхідної якості та виключити її із маршруту механічної обробки [6, 7].

Під час визначення потенційних маршрутів обробки керуються законом копіювання похибок з урахуванням типових маршрутів обробки поверхонь і таблиць економічної точності для різних методів обробки.

Проведемо розрахунок для отвору $\varnothing 46,9^{+0,025}$ деталі.

Допуск на розмір деталі становить $\delta_d = 0,025$ мм, шорсткість $Ra\ 1,6$ мкм, а допуск на розмір заготовки $\delta_z = 0,74$ мм.

Загальне уточнення розраховуються за формулою:

$$\varepsilon_{заг} = \delta_z / \delta_d,$$

де: δ_z – допуск на розмір заготовки;

δ_d – допуск на розмір деталі.

Загальне уточнення дорівнює:

$$\varepsilon_{заг} = \delta_z / \delta_d = 0,74 / 0,025 = 29,6.$$

Для порівняльного аналізу задаємося двома маршрутами обробки поверхні. Перший маршрут складається з таких технологічних переходів:

- розточування чорнове;
- розточування напівчистове;
- розточування чистове.

Другий маршрут складається з наступних технологічних переходів:

- розточування чорнове;
- розточування чистове.

Для кожного проміжного методу обробки з таблиць економічної точності вибираємо допуски на обробку і розраховуємо частинні коефіцієнти уточнень по формулі:

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

де: δ_{i-1}, δ_i – допуск на розмір відповідно до попереднього і поточного методу обробки.

Отже, частинний коефіцієнт для розточування чорнового:

$$\varepsilon_{1\text{ч.т.}} = \frac{0,74}{0,19} = 3,89.$$

Для розточування чистового частинний коефіцієнт:

$$\varepsilon_{1\text{чист.т.}} = \frac{0,19}{0,074} = 2,57.$$

Економічні допуски на проміжні методи обробки та частинні коефіцієнти уточнень зводимо в табл. 3.5:

Таблиця 3.5.

Маршрут обробки	Економічний допуск, мм	Частинний коефіцієнт
Перший варіант		
1. Розточування чорнове	0,190	3,89
2. Розточування напівчистове	0,074	2,57
3. Розточування чистове	0,019	3,89
Другий варіант		
1. Розточування чорнове	0,110	6,73
2. Розточування чистове	0,025	4,4

Фактичне уточнення розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\phi i} = \varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot \varepsilon_3 \dots \varepsilon_n.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$\varepsilon_{\phi 1} = 3,89 \cdot 2,57 \cdot 3,89 = 38,89.$$

$$\varepsilon_{\phi 2} = 6,73 \cdot 4,4 = 29,6.$$

Із можливих варіантів маршрутів обробки перевагу слід надавати тим варіантам, які при відповідності до нерівності $\varepsilon_z \leq \varepsilon_{\phi}$ ближче відповідають рівності. Тому обираємо другий маршрут обробки поверхні.

На інші поверхні деталей корпусу результати вибору маршрутів обробки заносимо в табл. 3.6.

Таблиця 3.6.

Позначення поверхні	Допуск на поверхню за кресленням δ_d , мм	Шорсткість поверхні R_a , мкм	Допуск на поверхню заготовки δ_z , мм	Загальне уточнення ϵ_z	Можливі технологічні маршрути обробки	Економічні допуски на проміжні методи обробки	Частинні коефіцієнти уточнення	Фактичне уточнення $\epsilon_{фi}$
1	0,03	2,5	0,5	16,7	1. Фрезерування попереднє 2. Фрезерування кінцеве	0,15 0,03	3,3 5	16,7
6	0,058	2,5	-	-	1. Свердління 2. Зенкерування	0,270 0,058	- 4,7	-
2	0,025	1,6	0,7	28	<u>1 варіант:</u> 1. Розточування чорнове 2. Розточування напівчистове 3. Розточування чистове <u>2 варіант:</u> 1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове	0,190 0,074 0,020 0,125 0,025	3,89 2,57 3,89 6,73 4,4	38,89 29,6

3.2.6 Розробка маршруту виготовлення деталі

Розробляємо маршрут обробки деталі з урахуванням вже обраних маршрутів обробки окремих поверхонь, розрахованого типу виробництва, технічних вимог на кресленні деталі та розмірних зв'язків. Маршрут приводиться як пронумерований перелік назв технологічних операцій із коротким змістом технологічних переходів [6, 7].

Розроблений маршрут обробки наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7.

№ опер.	Найменування операції	Зміст операції
005	Транспортна	Транспортувати заготовки на дільницю механічної обробки
200	Стрічкопильна	Відрізати заготовку
205	Комплексна з ЧПУ	Фрезерувати площини, свердлити, зенкерувати отвори, зенкувати фаски, фрезерувати платики, свердлити отвори на платиках, зенкувати фаски, нарізати різьбу в отворах
210	Промивальна	Промити деталі
215	Контрольна	Перевірити розміри
220	Транспортна	Транспортувати деталі на склад

3.2.7 Вибір технологічних баз

Для забезпечення вимог точності та якості до деталі, важливо здійснити раціональний підбір схеми базування на операціях механічної обробки [5, 6, 7].

При виборі баз необхідно керуватися наступними рекомендаціями:

- на першій операції технологічного процесу призначають чорнову технологічну базу, призначення якої – отримання чистових технологічних баз для наступних операцій (принцип розділення чорнової і чистової бази);
- вибір чорнової технологічної бази виконують із забезпеченням рівномірного зняття припуску з найбільш точних і важливих для деталей поверхонь;
- вибір технологічних баз на протязі усіх операцій технологічного процесу повинен відповідати принципами суміщення та постійності баз;
- якщо виникає необхідність у зміні баз, то найбільш доцільно виконати перехід від менш точних базових поверхонь до більш точних;
- загалом, обрана схема базування оброблюваних на верстатах деталей повинна забезпечити необхідну жорсткість встановлення та закріплення, при заданій точності орієнтації її в пристосуванні.

Номери поверхонь деталі вказані на рис. 3.1.

Результати вибору схеми базування наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8.

№ опер.	Найменування операції	Технологічне обладнання	Технологічні бази	Число відібраних ступенів свободи
200	Стрічкопильна	МЕВА 260AP	Торець 1, зовнішні радіусні поверхні 10	6
205	Комплексна з ЧПУ	HAAS VF-3	Торець 1, зовнішні радіусні поверхні 10	6

3.2.8 Розробка структури та змісту технологічних операцій, вибір металорізальних верстатів для їх здійснення

Наступним етапом після розробки маршрутів обробки окремих поверхонь деталі, технологічного маршруту обробки всієї деталі та визначення технологічних баз являється вибір та розробка структури і змісту кожної окремої технологічної операції із призначенням їй номера та найменування [5, 6, 7].

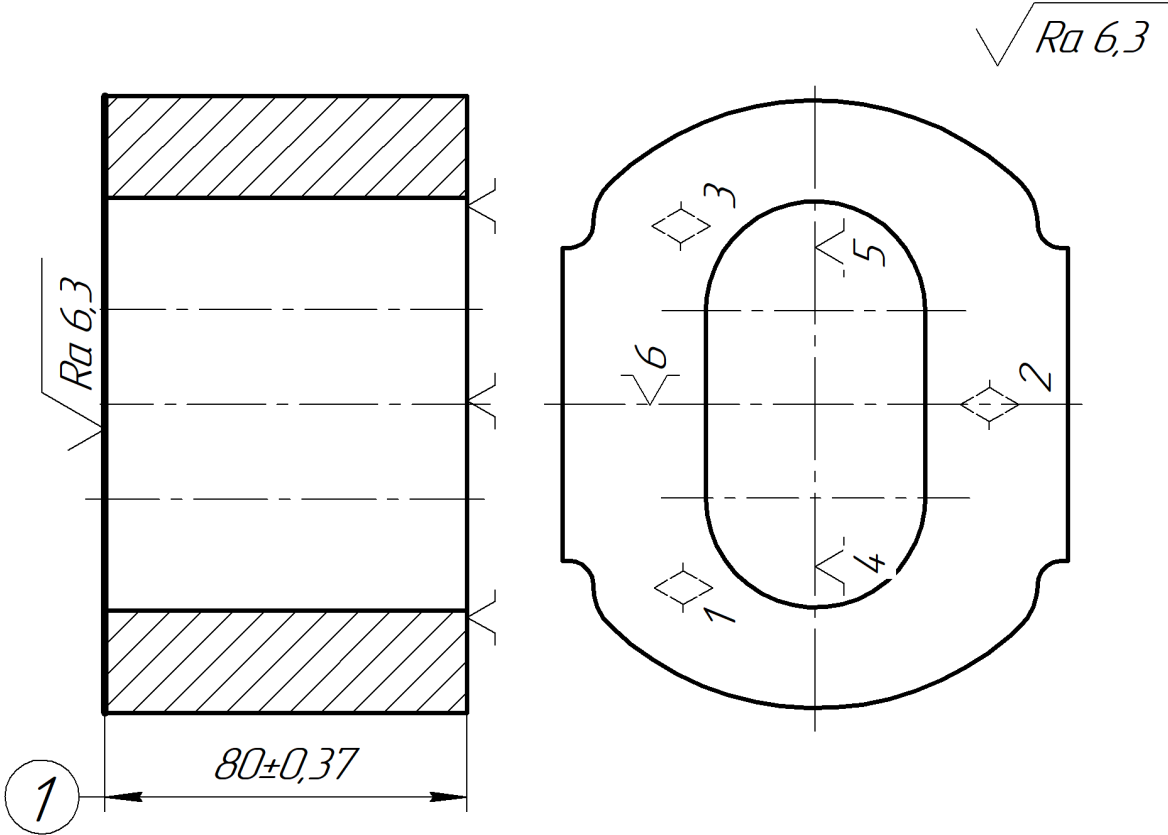
Металорізальні верстатів, які будуть задіяні при виготовленні деталі, визначаємо відповідно обраному методу обробки поверхонь (табл. 3.6.), їх точності, типу виробництва та відповідно до розмірів та ваги заготовки. Моделі верстатів та їх технічні характеристики вибираємо з каталогів виробників, довідників та мережі Інтернет і зводимо у табл. 3.9.

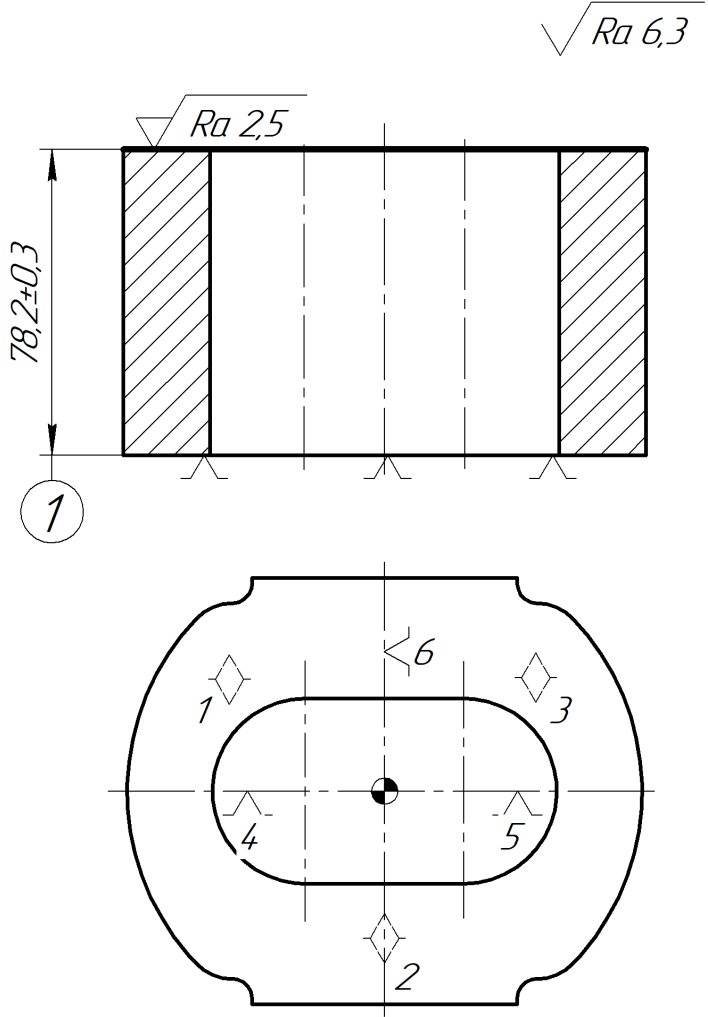
Структура та зміст технологічних операцій наведені в табл. 3.10.

Таблиця 3.9.

№ операції	Модель та назва верстату	Стисла технічна характеристика				
		Габаритні розміри робочого столу чи max діаметр обробки	Ряд частот обертання, (хв ⁻¹)	Ряд подач, (мм/об)	Потужність, (кВт)	Габаритні розміри (мм)
200	МЕВА260АР Стрічкопильний	250x630	31,5-1600	5-1500	10	4190x3400x3120
205	VF-3 HAAS Обробний центр з ЧПУ	X1016 Y508 Z635	10000 max	0-16,5	22,4	3605x3250x3025

Таблиця 3.10.

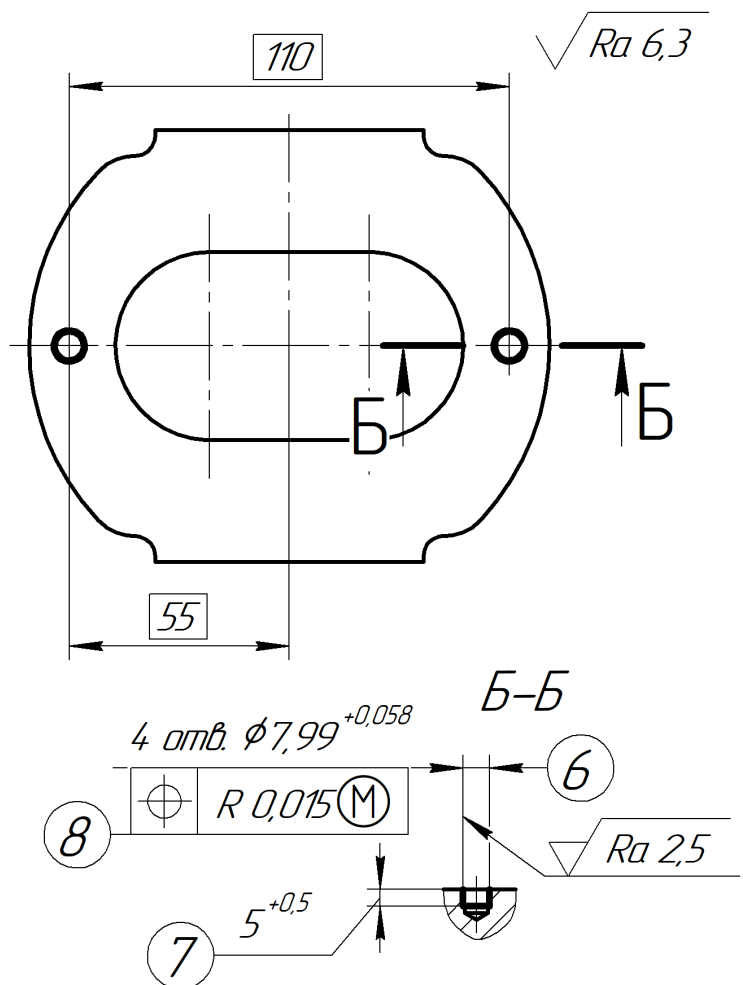
Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
200 Стрічкопильна	Стрічкопильний МЕВА260АР	 Technical drawing of a part showing a side view and a top view. The side view shows a rectangular block with a width of $80 \pm 0,37$ and a surface finish of $Ra 6,3$. The top view shows a complex shape with a central oval hole and six numbered points (1-6) indicating specific features or measurement points. A surface finish of $Ra 6,3$ is also indicated on the top view.	1. Встановити та закріпити деталь. 2. Відрізати заготовку витримуючи розмір 1.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	$\sqrt{Ra\ 6,3}$ 	Позиція I 1. Встановити та закріпити деталь. 2. Фрезерувати площину роз'єму витримуючи розмір 1.

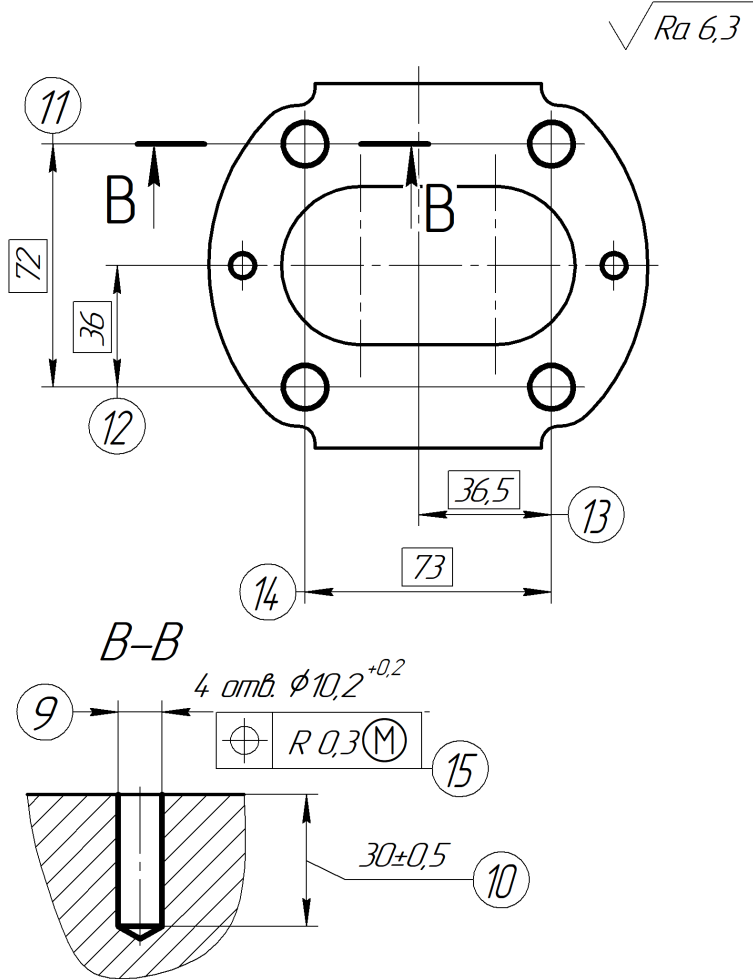
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	Technical drawing of a mechanical part with dimensions and callouts: - Top horizontal dimension: 110 - Bottom horizontal dimension: 55 - Left vertical dimension: 7⁺¹⁵ - Right vertical dimension: 7⁺¹⁵ - Surface texture symbol: $\sqrt{Ra\ 6,3}$ - Section line A-A - Section view A-A showing two holes of diameter 7 - Callout 2: Dimension 55 - Callout 3: Dimension 110 - Callout 4: Dimension 2 отв. $\phi 7$ - Callout 5: Dimension 7⁺¹⁵	3. Свердлили два отвори, витримуючи розміри 2, 3, 4, 5.

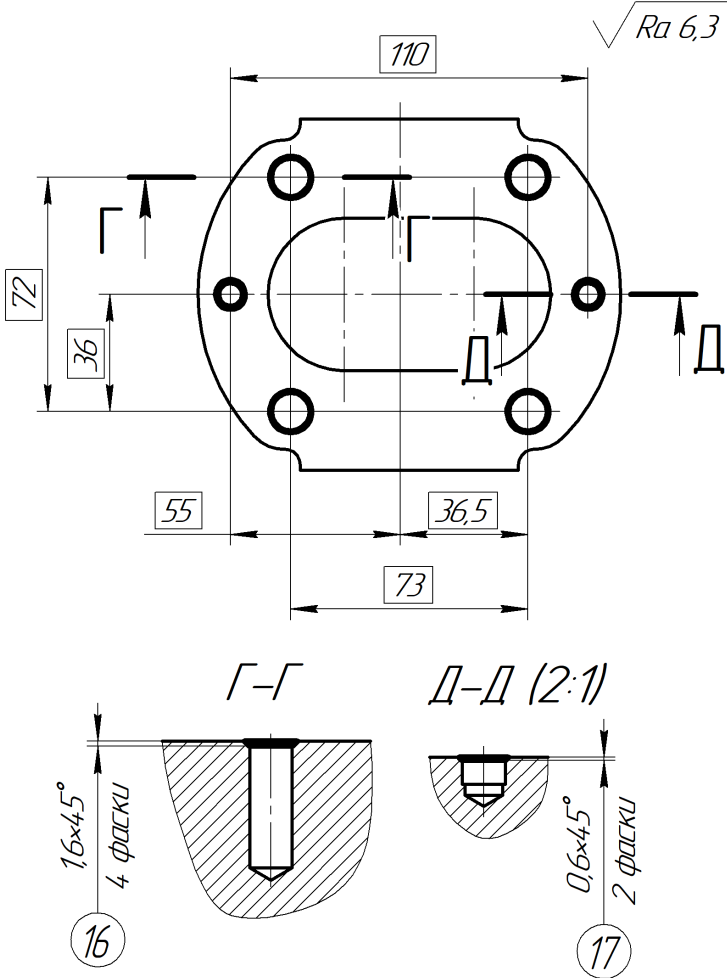
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 The drawing shows a top view of a mechanical part with a central rectangular hole and four circular holes. Dimensions include a total width of 110 and a distance of 55 from the center to the side holes. Surface roughness is specified as $\sqrt{Ra\ 6,3}$. A cross-section B-B is shown below, detailing the internal features: a central hole with diameter $\phi 7,99^{+0,058}$, a fillet radius $R\ 0,015\ (M)$, a depth of 5 with a tolerance of $^{+0,5}$, and a surface roughness of $Ra\ 2,5$. Callouts 6 and 7 point to specific features in the cross-section.	4. Зенкерувати два отвори, витримуючи розміри 2, 3, 6, 7, допуск 8 і шорсткість $Ra\ 2,5$.

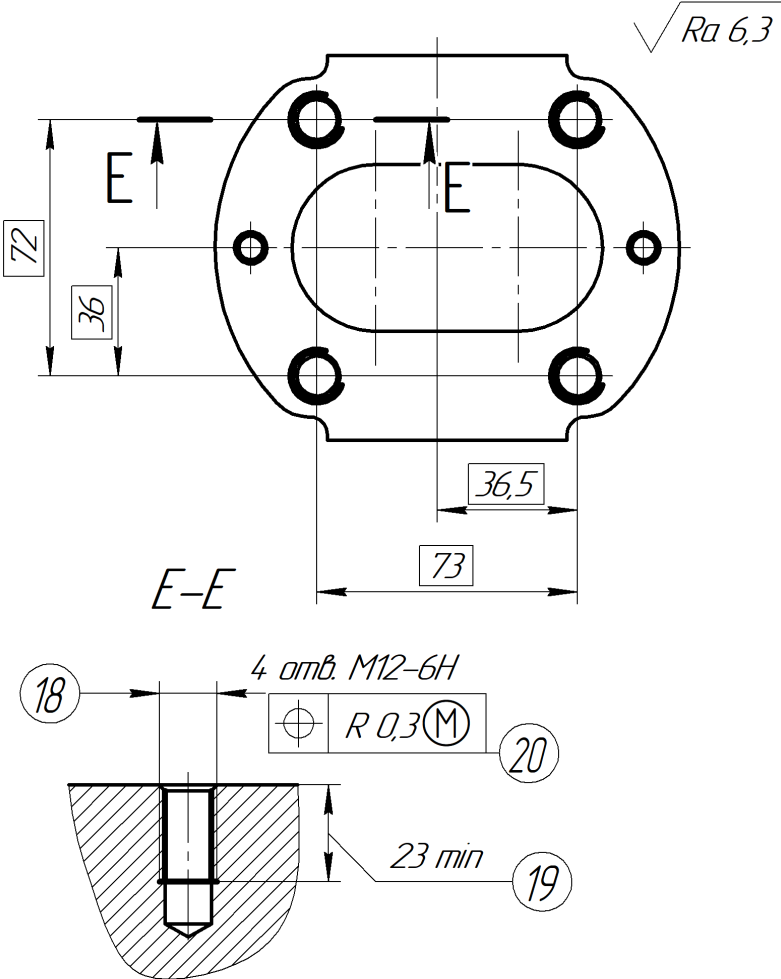
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part with dimensions and callouts. The top view shows a circular part with a central rectangular hole and four corner holes. Dimensions include 72, 36, 36.5, 73, 11, 12, 13, 14, and 15. A surface texture symbol indicates $Ra\ 6,3$. A section view B-B shows a cross-section of a hole with a diameter of $\phi 10,2^{+0,2}$ and a depth of $30 \pm 0,5$. A feature control frame indicates 4 holes, diameter $\phi 10,2^{+0,2}$, and a surface texture of $R\ 0,3(M)$.	5. Свердлити чотири отвори, витримуючи розміри 9, 10, 11, 12, 13, 14 і допуск 15.

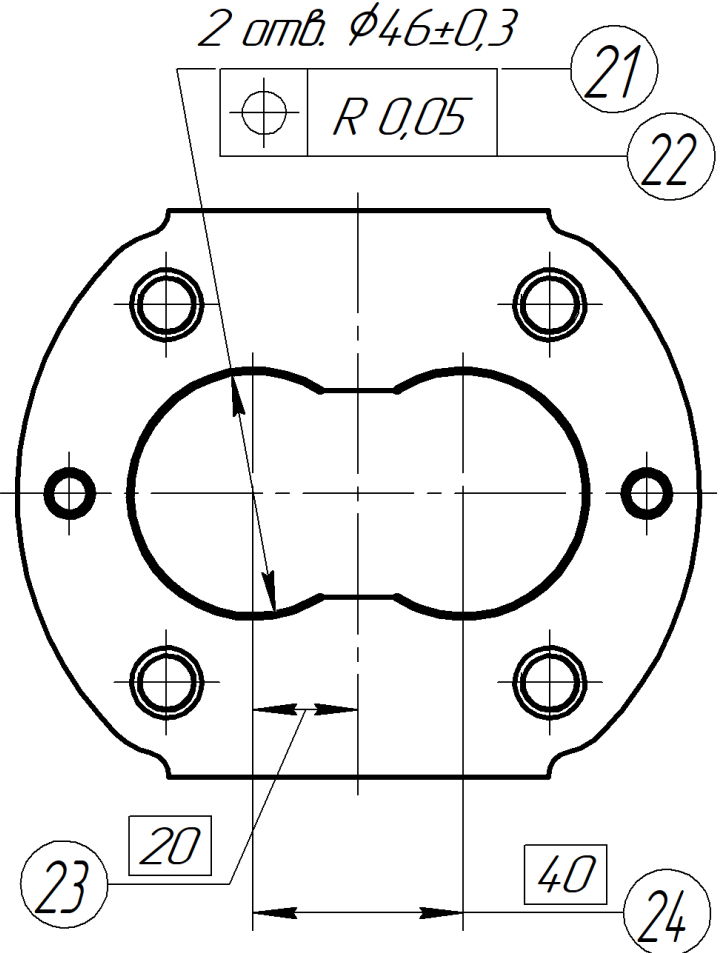
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 The drawing shows a top view of a mechanical part with a square outer profile and rounded corners. Dimensions include: overall width 110, overall height 72, distance from top edge to center of top holes 36, distance from left edge to center of left holes 55, distance from center to center of right holes 36.5, and distance from center to center of bottom holes 73. Surface texture is indicated as $\sqrt{Ra\ 6,3}$. Section views are provided: section A-A shows a hole with a 16x45 chamfer and 4 chamfers; section B-B (2:1) shows a hole with a 0.6x45 chamfer and 2 chamfers.	6. Зняти фаски на шести отворах, витримуючи розміри 16, 17, 2, 3, 11, 12, 13, 14.

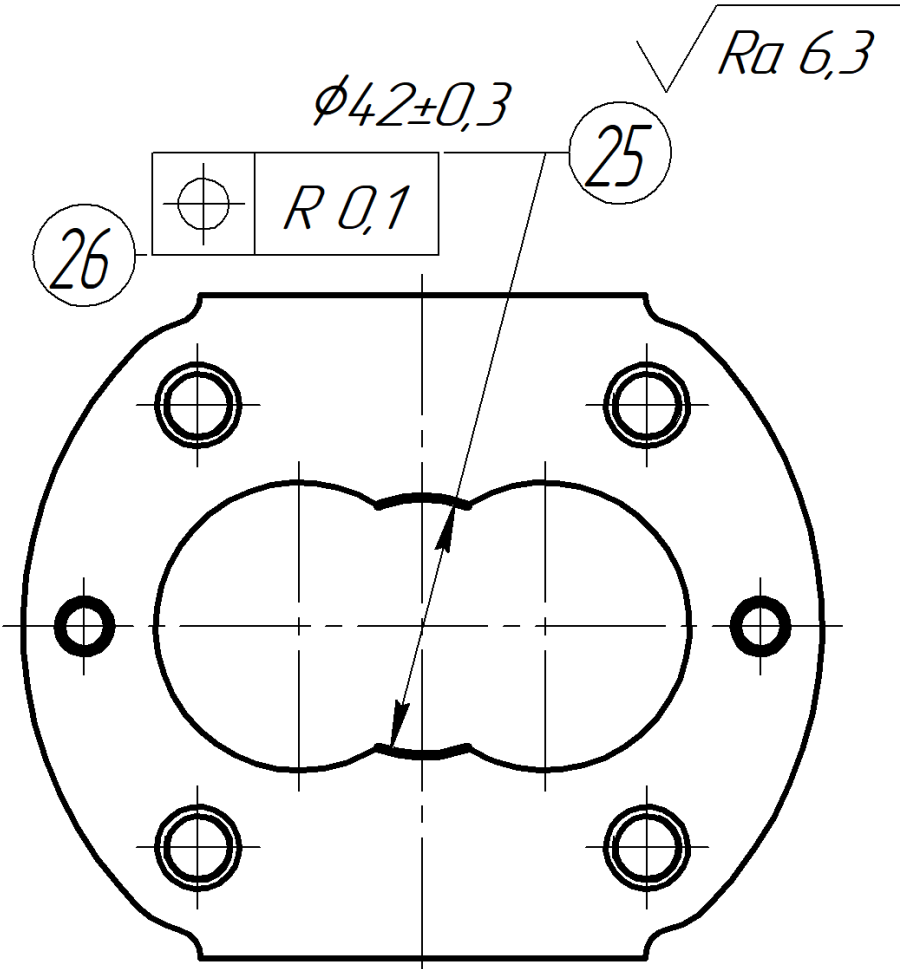
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part, showing a top view and a cross-section (E-E). The top view is a rectangle with rounded corners, featuring four circular holes and a central rectangular slot. Dimensions include 72 (total width), 36 (width of the central slot), 36,5 (width of the outer frame), and 73 (width of the central slot). A surface finish symbol indicates $Ra\ 6,3$. A section line E-E is shown. The bottom view shows a cross-section of the part with a central hole. Dimensions include 18 (hole diameter), 20 (hole depth), and 23 min (minimum thickness). The text "4 отв. M12-6H" is present.	7. Нарізати різьбу у чотирьох отворах, витримуючи розміри 18, 19, 11, 12, 13, 14 та допуск 20.

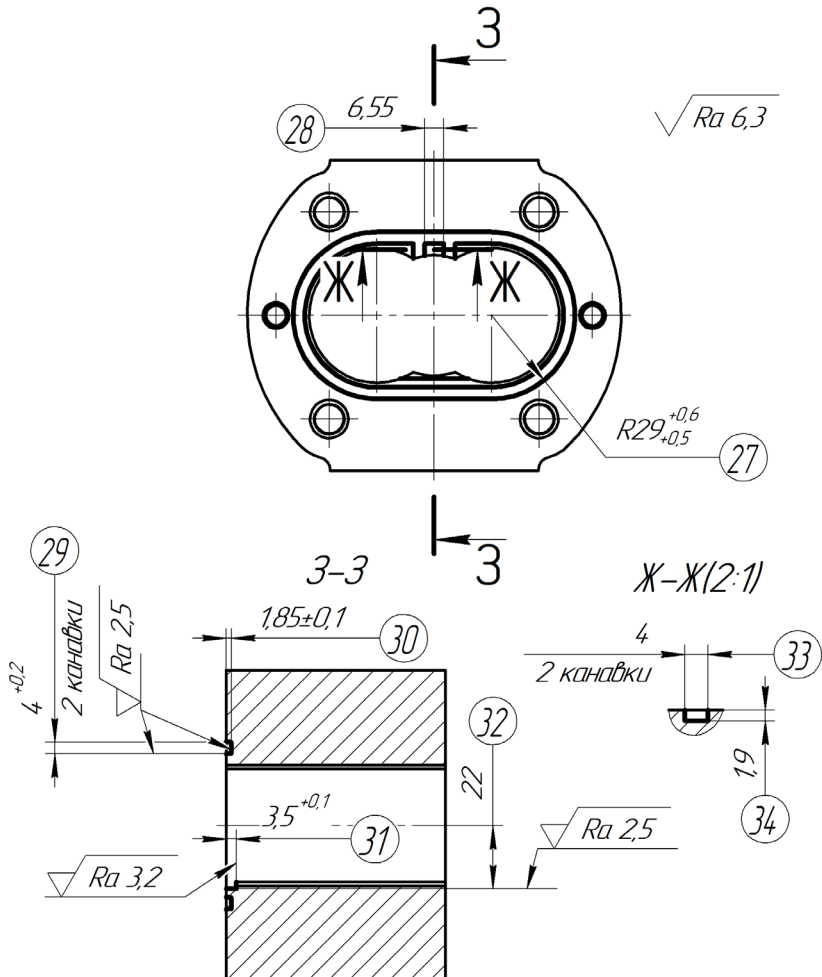
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 2 отв. $\phi 46 \pm 0,3$ $R 0,05$ $\sqrt{Ra 6,3}$ 20 40 21 22 23 24	8. Розточити два отвори в чорнову на прохід, витримуючи розміри 21, 23, 24 та допуск 22.

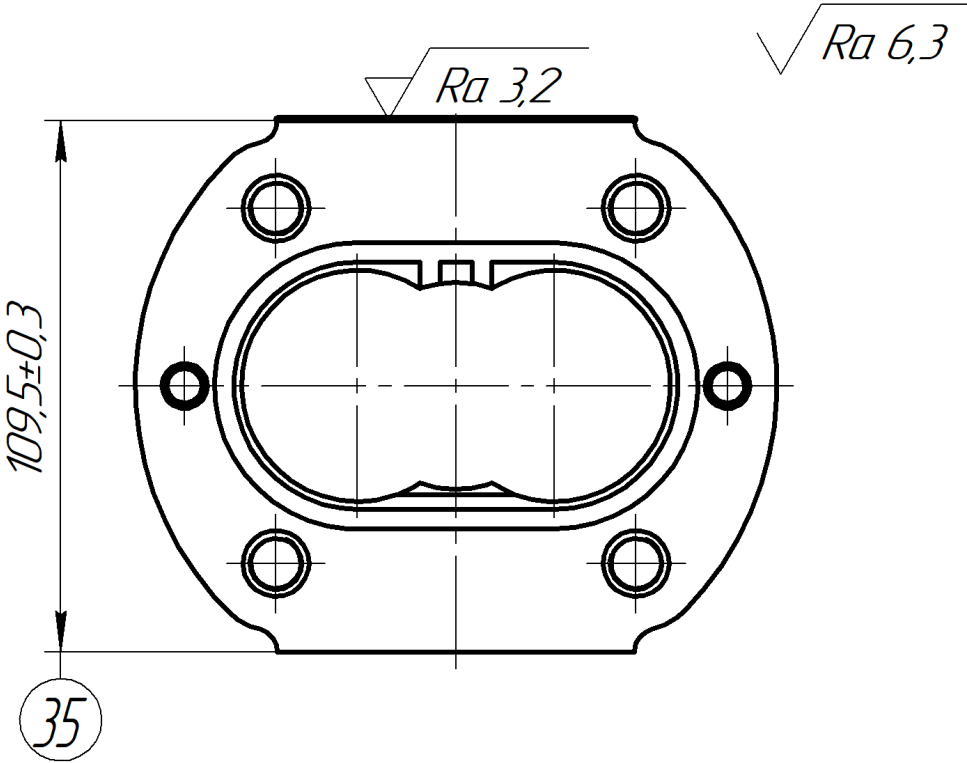
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part for CNC processing. The part is a circular flange with a central slot. It features six mounting holes around the perimeter and two larger holes in the center. Dimensions include a diameter of $\phi 42 \pm 0,3$ for the outer circle, a surface roughness of $Ra 6,3$, and specific radii $R 0,1$ and $R 25$. A feature is labeled with the number 26.	9. Розточити отвір на прохід, витримуючи розміри 25, 26.

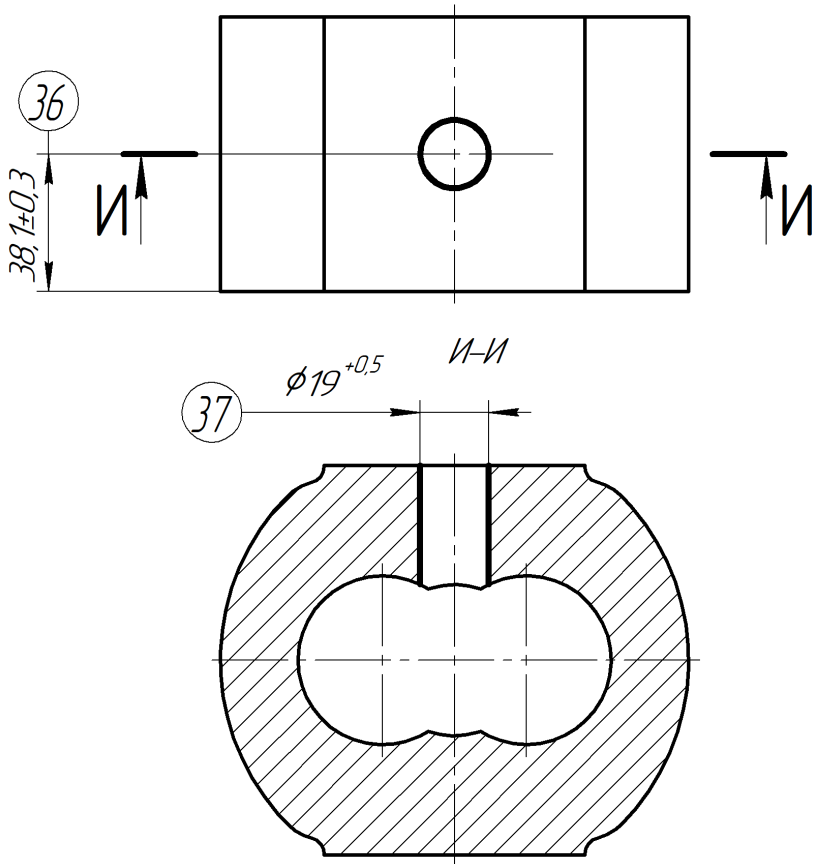
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 The drawing consists of two views: a top view and a side view (3-3). Top view: Shows a circular part with a central rectangular slot. Dimensions include a width of 6.55, a radius of R29^{+0.6}/_{+0.5}, and a surface finish of Ra 6.3. There are four small circles around the perimeter, each with a diameter of 3. Side view (3-3): Shows the profile of the part. Dimensions include a total width of 185±0.1, a central slot width of 3.5±0.1, and a total height of 22. Surface finish requirements are Ra 3.2 for the main body and Ra 2.5 for the top and bottom surfaces. There are two grooves (канавки) on the top and bottom surfaces, each with a width of 4 and a depth of 0.2. A detail view (Ж-Ж(2:1)) shows a cross-section of a groove with a width of 4, a depth of 19, and a surface finish of Ra 2.5.	10. Фрезерувати канавки, витримуючи розміри 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34 та параметри шорсткості. 11. Поворот столу на кут 90° за годинниковою стрілкою.

Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part, likely a flange or bracket. The drawing shows a top-down view with a central rectangular hole and six surrounding circular holes. Key dimensions and features include: - Overall height: $109,5 \pm 0,3$ - Central hole width: 35 - Surface finish: $Ra\ 3,2$ (top surface) and $Ra\ 6,3$ (outer curved surface).	Позиція II 12. Фрезерувати поверхню платика, витримуючи розмір 35 та шорсткість $Ra\ 3,2$.

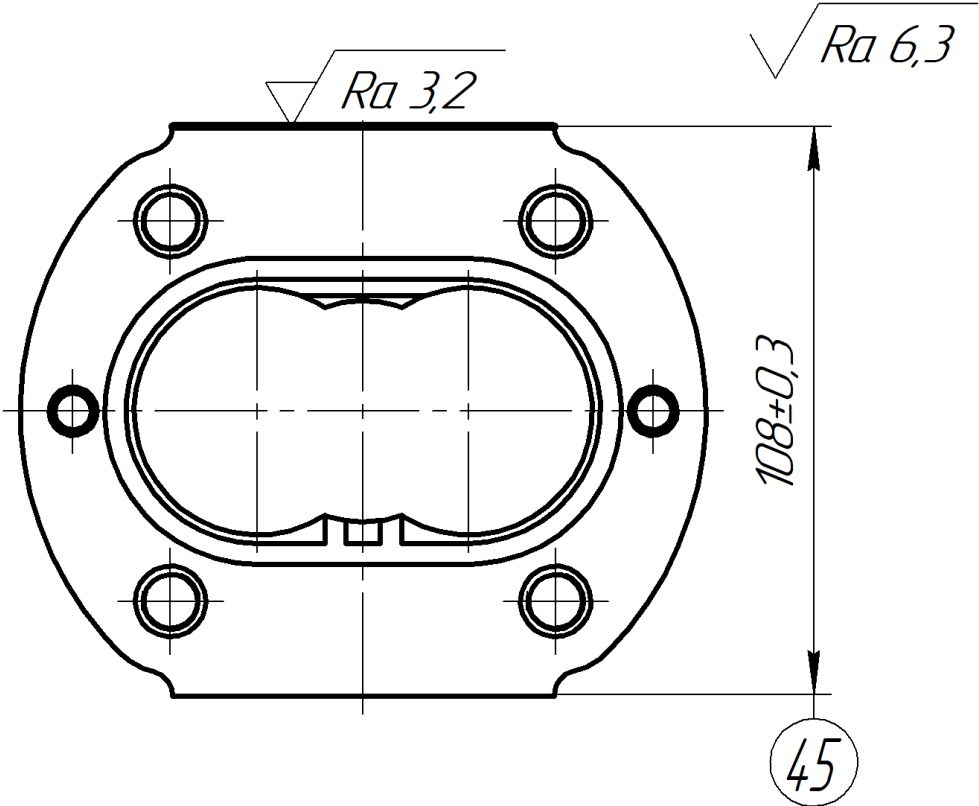
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	$\sqrt{Ra\ 6,3}$ 	13. Свердлити отвір, витримуючи розміри 36, 37.

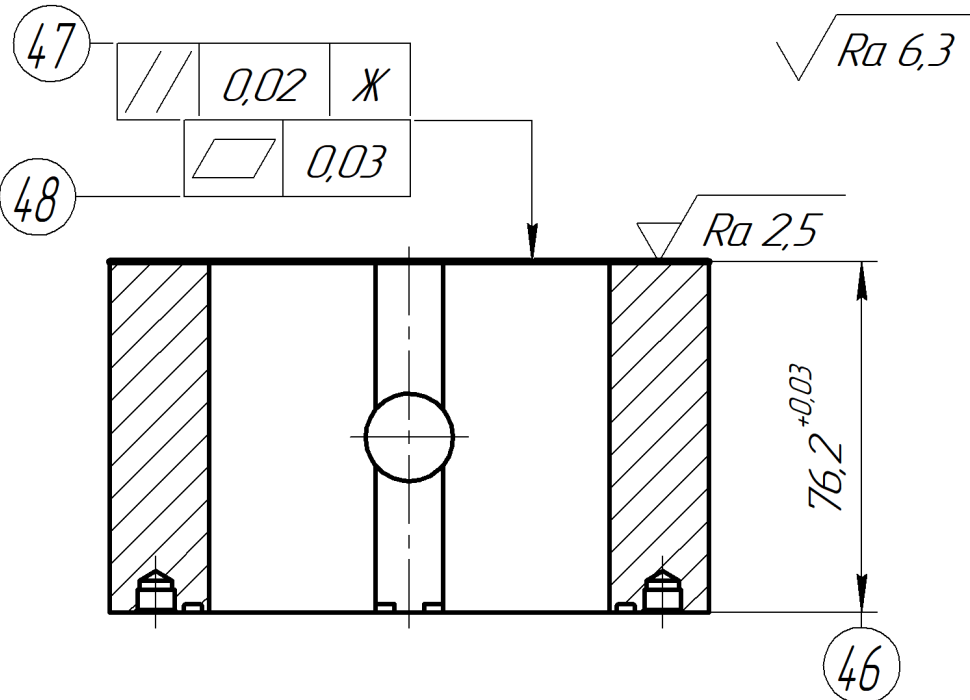
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	Technical drawing showing a top view and a cross-section (K-K) of a mechanical part. The top view is a rectangle with a central circular feature containing four holes. Dimensions include a diameter of 38, a surface roughness of $Ra\ 6,3$, and a section line A-A. The cross-section K-K shows a circular profile with a central hole of diameter $\phi 6,8^{+0,1}$, four holes of diameter 38, and a hole of diameter 42. The cross-section also shows a hole of diameter 43, a hole of diameter 41, a hole of diameter 44, and a hole of diameter 39. The cross-section is labeled with dimensions 16x45, 17 min, and 23. The cross-section is labeled with a hole of diameter 38, a hole of diameter 42, a hole of diameter 43, a hole of diameter 41, a hole of diameter 44, and a hole of diameter 39.	14. Свердлити чотири отвори, витримуючи розміри 38, 39, 40. 15. Зняти фаски на чотирьох отворах, витримуючи розміри 40, 41. 16. Нарізати різьбу у чотирьох отворах, витримуючи розміри 40, 42, 43, 44. 17. Поворот столу на кут 180° за годинниковою стрілкою.

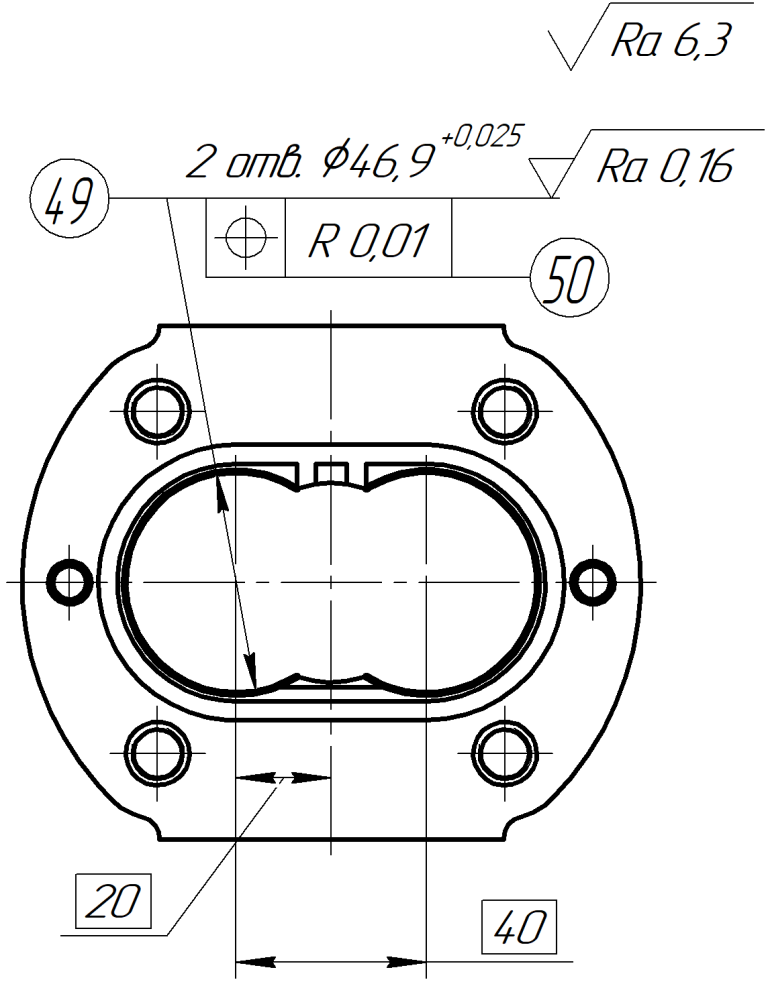
Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part, likely a flange or plate. The drawing shows a top view with a central rectangular hole and a complex internal profile. The outer edge is circular with four mounting holes. Surface finish requirements are indicated: $Ra\ 3,2$ for the top surface and $Ra\ 6,3$ for the outer edge. A dimension of $108 \pm 0,3$ is shown for the overall height. A circled number 45 is at the bottom right.	Позиція III 18. Фрезерувати поверхню платика, витримуючи розмір 45 та шорсткість $Ra\ 3,2$. 19. Повторити переходи 13, 14, 15, 16. 20. Поворот столу на кут 90° проти годинникової стрілки.

Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS		Позиція IV 21. Фрезерувати площину розе'му, витримуючи розмір 46, допуски 47, 48 та шорсткість Ra 2,5. 22. Повторити переходи 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10.

Продовження табл. 3.10.

Номер та найменування операції	Найменування та модель верстата	Ескіз обробки зі схемою базування	Зміст операції
205 Комплексна з ЧПУ	Обробний центр з ЧПУ VF-3 HAAS	 Technical drawing of a mechanical part, likely a flange or mounting plate. The drawing shows a circular outer profile with a central rectangular opening. Key features and dimensions include: - Two holes at the top with diameter $\phi 46,9^{+0,025}$ and surface finish $Ra 0,16$. - Surface finish $Ra 6,3$ on the outer edge. - Surface finish $Ra 0,16$ on the inner surface of the central opening. - Dimension $R 0,01$ indicating a small radius or fillet. - Dimension 20 indicating the width of the central opening. - Dimension 40 indicating the width of the outer flange. - Dimension 49 indicating the distance from the center to the center of the top holes. - Dimension 50 indicating the distance from the center to the center of the bottom holes.	23. Відключити гідравліку затиску деталі. 24. Розточити два отвори на прохід, витримуючи розміри 23, 24, 49, допуск 50, та шорсткість $Ra 0,16$. 25. Відкріпити та зняти деталь. 26. Перевірити розміри.

3.2.9 Вибір затискних пристосувань

На наступному етапі обираємо затискні верстатні пристрої на кожну операцію технологічного процесу [6, 7].

Вплив на вибір затискних пристроїв чинить ряд факторів, зокрема тип та особливості верстата, схема базування деталі та вимоги щодо точності обробки.

Обрані затискні пристрої та їх характеристика наведені в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

№ оп.	Найменування пристрою	Стандарт (код)	Вид приводу
200	Лещата спеціальні	7030-6001	Гідравлічний
205	Спеціальний затискний пристрій	7271-6004	Гідравлічний

3.2.10 Вибір різального інструменту

Вибираємо різальний інструмент на кожну операцію механічної обробки, для кожного переходу, беручи до уваги наступні фактори [6, 7]:

- визначений тип виробництва;
- вид обробки, стадія (чистова або чорнова);
- фізико-хімічні параметри матеріалів як деталі так і інструменту;
- особливості конкретного випадку.

Інформацію по інструментам вибираємо з довідників, каталогів виробників, а також використовуємо мережу Інтернет. Характеристики обраного інструменту зводимо у табл. 3.12.

3.2.11 Вибір вимірювальних пристроїв та інструментів

Вимірювальні пристрої та інструменти для механічних операцій обираємо з урахуванням точності вимірювального розміру, габаритів деталі, якості вимірювальної поверхні і типу виробництва [6, 7]. Вибрані засоби технічного контролю зведено в табл. 3.13. В таблиці не вказано:

- шорсткість поверхонь перевіряємо за допомогою профілометра системи «М» ГОСТ 19300-86;
- для контролю інших, лінійних, розмірів застосовуємо штангенциркуль електронний 150-0,01 Mitutoyo 500-181 U.

Таблиця 3.12.

Операції	Номер		Найменування інструменту	Стандарт (код)	Пластина, різальна частина
	Переходу	Інструменту			Матеріал, код
200	2, 4		Пилка	3700x27x0,9	HSS M42
205	2, 12, 18, 21	T ₁	Фреза торцева	745-125Q40-21M	745R-2109E-H50 3040
	3	T ₂	Свердло Ø7	B411A07000	KF1
	4	T ₃	Зенкер Ø7,99	C411A7990	KF1
	5	T ₄	Свердло Ø10,2	B411A10200	KF1
	6	T ₅	Свердло Ø13	B411A13000	KF1
	7	T ₆	Мітчик M12	2620-4218	P6M5
	8	T ₇	Борштанга	6330-6030	CCGT060208HP KC5410
	9	T ₈	Борштанга	6330-6026	CCGT060208HP KC5410
	10	T ₉	Фреза Ø4	2223-6003	BK8
	13	T ₁₀	Свердло Ø19	B505Z19000	K10
	14	T ₁₁	Свердло Ø6,8	B411A06800	KF1
	15	T ₅	Свердло Ø13	B411A13000	KF1
	16	T ₁₂	Мітчик M8	6511 art. 1400257	HSS
	24	T ₁₃	Розточувальна головка	KM40SVS1B1100M	CPGT060202LF

Таблиця 3.13.

№ оп.	Контрольований параметр	Назва вимірювального інструменту (пристрою)	Стандарт (код)
205	1,6x45 ⁰ 40±0,23 $\oplus R0,015 \text{ (M)}$ $\square 0,03$ $\parallel 0,12 \text{ Ж}$	Калібр Пристосування контрольне Пристосування контрольне	8371-4067-03 8358-4028 8353-4071
	38,1±0,3	Пристосування контрольне	8533-4075 8533-4075
	Ø7,99 ^{+0,058}	Пристосування контрольне	8534-6208
	Ø7,99 ^{+0,058}	НИ6...10 Нутромір індикаторний	ГОСТ 9244-75
	$\perp 0,025/50 \text{ Ж}$ $\oplus R0,01$ $\text{Ж } 0,01$	Пристосування контрольне Пристосування контрольне	8338-4111 8353-4063
		Пристосування контрольне	8333-4069
	M8-6H 17min	Калібр-пробка Калібр на глибину	8221-3036 ГОСТ 17758 8151-4089-03
	M12-6H 23min	Калібр-пробка Калібр на глибину	8221-3053 ГОСТ 17758 8151-6091
	1,85±0,1	Пристосування контрольне	8151-4177

3.2.12 Визначення припусків та міжопераційних розмірів

Наступним етапом, після вибору стратегії обробки поверхонь, розробки маршрутної технології обробки деталі, є розрахунок припусків на механічну обробку [6, 7].

Приклад розрахунку припусків здійснюємо розрахунково-аналітичним методом для внутрішньої циліндричної поверхні 2 (рис. 3.1) $\varnothing 46,9^{+0,025}$ мм.

Маршрут обробки поверхні:

- розточування чорнове;
- розточування чистове.

Заготовка – відлитий алюмінієвий профіль, допуск на розмір $\delta_{\text{заг}} = 0,8$ мм (верхнє відхилення $+0,6$, нижнє $-0,2$). Значення елементів припуску заготовки та механічної обробки вибираємо з довідників, та заносимо до табл. 3.14.

Загальне значення просторових відхилень для заготовки типу відливка, при обробці отворів при базуванні на площину знаходиться за формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{зм}}^2},$$

де $\rho_{\text{кор}}$ – відхилення пласкої поверхні відливки від площинності (короблення);
 $\rho_{\text{зм}}$ – зміщення формувальних стрижнів, які утворюють отвір.

З огляду на те, що заготовка із відлитого профілю підлягає розрізанню на штучні заготовки на стрічкопильній операції, тобто базова площина підлягає механічній обробці, то значенням короблення заготовки $\rho_{\text{кор}}$ можна знехтувати.

Похибку сумарного зміщення стрижнів, які утворюють отвір, слід приймати рівною допуску на розмір від оброблюваної поверхні до вісі баз, тобто $\rho_{\text{зм}} = \pm 0,042$ мм = 84 мкм.

Отже:

$$\rho_{\text{заг}} = \rho_{\text{зм}} = 84 \text{ мкм.}$$

Похибка на кожну операцію визначається по формулі:

$$\rho_{\text{зал}} = K_y \cdot \rho_{\text{заг}},$$

де K_y – коефіцієнт уточнення; $K_{y1} = 0,06$, $K_{y2} = 0,04$.

Підставимо значення:

1 операція – розточування чорнове: $\rho_1 = 0,06 \cdot 84 = 5,04$ мкм;

2 операція – розточування чистове: $\rho_2 = 0,04 \cdot 84 = 3,36$ мкм.

Мінімальний припуск при обробці поверхні визначаємо за формулою:

$$2z_{i \min} = 2 \left(R_{zi-1} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right),$$

де R_{zi-1} – висота нерівностей профілю на попередньому переході;

T_i – глибина дефектного шару на попередньому переході;

ρ_{i-1} – сумарне відхилення розміщення поверхні (відхилення від паралельності, перпендикулярності, точності, симетричності, перетину осей) в деяких випадках відхилення форми на попередньому переході;

ε_i – похибка встановлення деталі (нехтуємо, тому що обробка виконується за одну установку і реалізується принцип суміщення баз).

Отже, мінімальні припуски по операціям, мкм:

1 операція - розточування чорнове:

$$2z_{\min 1} = 2(60 + 100 + 84) = 2 \cdot 244;$$

2 операція - розточування чистове:

$$2z_{\min 2} = 2(50 + 50 + 5,04) = 2 \cdot 105,4.$$

Визначимо значення розрахункових розмірів по кожній операції, починаючи із розміру на кресленні, із віднімання вже розрахованого значення мінімального припуску для кожної операції, мм:

$$D_{p2} = 46,925;$$

$$D_{p1} = 46,925 - 0,211 = 46,714;$$

$$D_{p \text{ заг}} = 46,714 - 0,488 = 46,226.$$

Розрахункові розміри $D_{\max}$ отримуємо округленням значення D_p по точності допуску відповідного переходу, заносимо результати у табл. 3.14.

Розрахунковий граничний розмір $D_{\min}$ визначаємо шляхом віднімання від розрахункового значення розміру $D_{\max}$ допуску на розмір по кожному переходу, також починаємо із фінального розміру за кресленням:

$$D_{\min 2} = D_{\max 2} - \delta_2 = 46,925 - 0,025 = 46,9 \text{ мм};$$

$$D_{\min 1} = D_{\max 1} - \delta_1 = 46,72 - 0,16 = 46,56 \text{ мм};$$

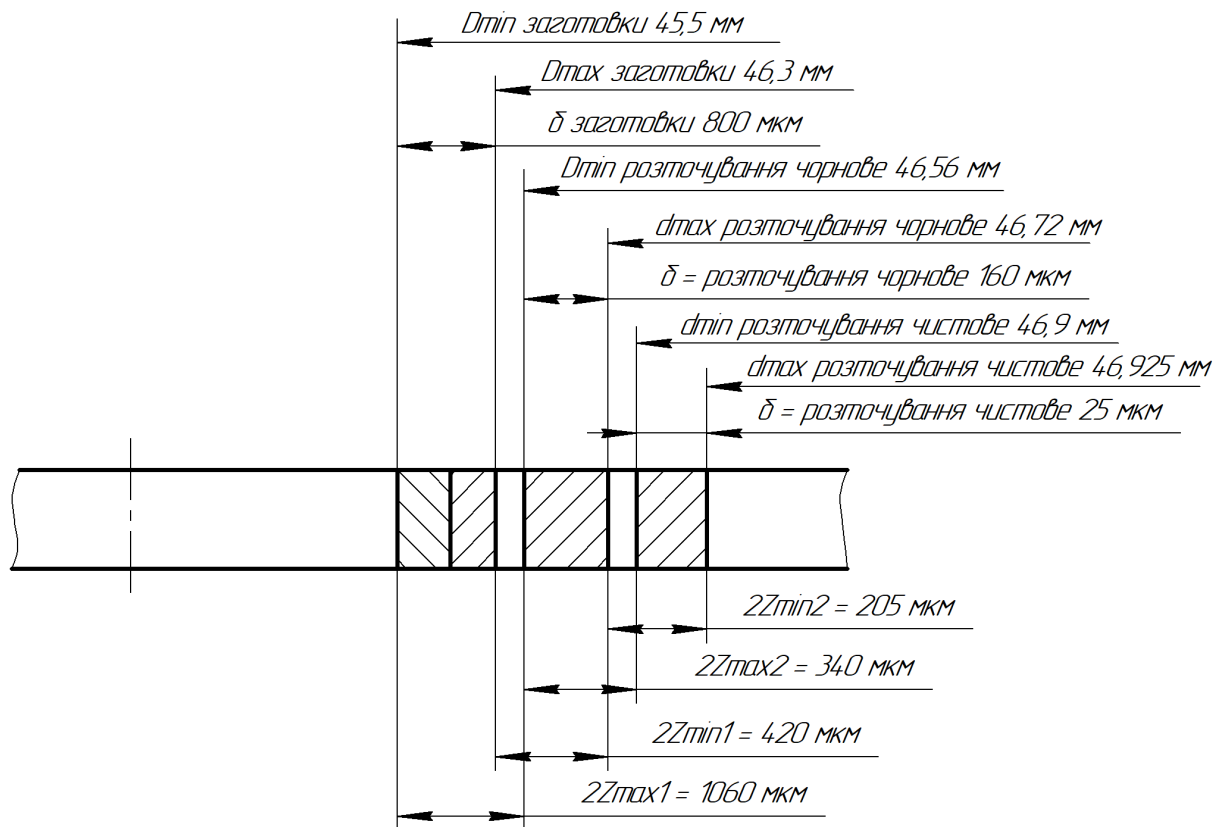


Рис. 3.3 Схема розташування допусків і припусків на обробку поверхні 2.

На решту поверхонь деталі припуски визначаємо за довідниковими таблицями. Вибрані величини припусків представлені в таблиці 3.15.

Таблиця 3.15.

№ пов.	Найменування поверхні	Маршрут обробки	Припуск по переходам, на сторону, мм	Міжопераційний розмір, технологічний допуск
1	Площина	1. Фрезерування попереднє 2. Фрезерування кінцеве	3,8 2	$78,2 \pm 0,3$ $76,2^{+0,03}$
6	Ступінчастий отвір	1. Свердління 2. Зенкерування	3,5 0,495	$\varnothing 7^{+0,2}$ $\varnothing 7,99^{+0,058}$
2	Отвір	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове	3,25 0,45	$\varnothing 46 \pm 0,3$ $\varnothing 46,9^{+0,025}$
3	Площина	1. Фрезерування	1,5	$108 \pm 0,3$
4	Отвір	2. Свердління	9,5	$\varnothing 19^{+0,5}$
5	Отвір різьбовий	1. Свердління 2. Нарізання різьби	5,1 1	$\varnothing 10,2^{+0,2}$ M12-6H
7	Канавка радіусна	1. Фрезерування	4	$1,85 \pm 0,1$
8	Отвір різьбовий	1. Свердління 2. Нарізання різьби	3,4 1	$\varnothing 6,8^{+0,1}$ M8-6H
9	Отвір	1. Розточування	2	$\varnothing 42^{+0,62}$
11	Вибіррка	1. Фрезерування	4	$3,5^{+0,1}$
12	Паз	1. Фрезерування	4	$6,55_{-0,36}$

3.2.13 Визначення режимів різання

Розрахунок режимів різання [6, 7] виконуємо на операцію 205 комплексна з ЧПУ, 2 перехід. Операція виконується на обробному центрі з ЧПУ HAAS VF-3.

На обумовленому переході виконується фрезерування площини розе'му, на глибину $t = 2$ мм, шириною $B = 110$ мм, довжиною $l_o = 125$ мм, забезпечуючи при цьому шорсткість $Ra 2,5$.

Інструмент – торцева фреза $D = \varnothing 125$ мм, різальна частина із твердого сплаву, кількість зубців $z = 8$ шт, $\varphi = 30^\circ$.

1) Обираємо подачу на зуб фрези, мм/зуб:

$$s_z = 0,3.$$

2) Розраховуємо швидкість різання за формулою:

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

де $C_v = 255$; $q = 0,35$; $m = 0,2$; $x = 0,1$; $y = 0,2$; $u = 0,15$; $p = 0,1$ – коефіцієнт та показники степеня у формулі;

T – стійкість фрези 180 хв;

K_v – загальний поправочний коефіцієнт впливу умов різання:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{iv} \cdot K_{\varphi},$$

де K_{mv} – коефіцієнт впливу матеріалу заготовки, $K_{mv} = 1,0$;

K_{pv} – коефіцієнт стану поверхні заготовки, $K_{pv} = 1,0$;

K_{iv} – коефіцієнт впливу матеріалу інструменту, $K_{iv} = 2,7$;

K_{φ} – коефіцієнт впливу геометрії фрези, для кута $\varphi = 30^\circ$ – $K_{\varphi} = 1,25$.

Отже, сила різання, м/хв:

$$V = \frac{285 \cdot 125^{0,3}}{180^{0,2} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,3^{0,2} \cdot 110^{0,15} \cdot 8^{0,1}} \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,7 \cdot 1,25 = 786,38.$$

3) Частота обертів шпінделя, об⁻¹:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 786,38}{3,14 \cdot 125} = 2003.$$

Приймаємо $n = 2000$ об⁻¹.

4) Головна складова сили різання при фрезеруванні – окружна сила, Н:

$$F_z = \frac{10C_p t^x s_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{mp},$$

де $C_p = 205$; $q = 1,3$; $w = 0,2$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $u = 1,1$; – коефіцієнт та показники степеня у формулі;

K_{mp} – коефіцієнт впливу матеріалу, для дюралюмінію $K_{mp} = 1,5$.

Отже:

$$F_z = \frac{10 \cdot 205 \cdot 2^1 \cdot 0,3^{0,75} \cdot 110^{1,1} \cdot 8}{125^{1,3} \cdot 2000^{0,2}} \cdot 1,5 = 1443 \text{ Н.}$$

5) Крутний момент на шпінделі інструменту, Н·м:

$$M_{кр} = \frac{F_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{1443 \cdot 125}{2 \cdot 100} = 901,6.$$

6) Потужність різання, кВт:

$$N_e = \frac{F_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = 18,537.$$

Ефективна потужність шпінделю верстата HAAS VF-3 $N_{в\ e} = 22,4$ кВт, тобто $N_{в\ e} > N_e$, здійснення обробки можливе.

7) Визначаємо основний час на обробку:

$$t_o = \frac{(l_o + l_{вр} + l_{п})i}{s_z z n},$$

де l_o – довжина оброблюваної поверхні, $l_o = 125$ мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання інструменту, $l_{вр} = 36$ мм;

$l_{п}$ – довжина перебігу інструменту, $l_{п} = 5$ мм;

i – кількість проходів, $i = 1$.

Підставивши значення, отримаємо, хв:

$$t_o = \frac{(125 + 36 + 5)}{0,3 \cdot 8 \cdot 2000} = 0,035.$$

На інші операції та переходи технологічного процесу механічної обробки деталі елементи режимів різання визначаємо по нормативам, а дані заносимо в табл. 3.16.

Таблиця 3.16.

Номер		Елементи режимів різання					
Операції	Переходу	t, мм	S, об/хв	V, м/хв	n, хв. ⁻¹	i	t _о , хв
200	2	1,1	100*	140	300	2	3,0
205	2	1,9	0,3	785	2000	1	12,7
	3	3,5	0,2	44	2000	2	
	4	0,492	0,2	50,2	2000	2	
	5	5,1	0,2	64	2000	4	
	6	1,4	0,2	81,6	2000	4	
	7	1,25	1,25	30,1	800	4	
	8	2,5	0,25	433,3	3000	2	
	9	2,5	0,25	395,6	3000	1	
	10	1,9	0,15	27,6	2200	1	
	12	1,5	0,3	785	2000	1	
	13	9,5	0,2	119,3	2000	1	
	14	3,4	0,15	53,4	2500	4	
	15	1,4	0,2	81,6	2000	4	
	16	1,0	1,0	20,1	800	4	
	18	1,5	0,3	785	2000	1	
	21	1,9	0,3	785	2000	1	
	24	0,45	0,1	589,1	4000	2	

3.2.14 Технічне нормування операцій

Розрахунок норм часу виконуємо на операцію 205 комплексна з ЧПУ. Операція здійснюється на обробному центрі з ЧПУ HAAS VF-3.

На операцію 200 виконуємо нормування згідно відомих рекомендацій [6, 7] з використанням таблиць, довідників, виробничих нормативних документів. Результати зводимо у табл. 3.17.

Для крупносерійного виробництва визначаємо штучно-калькуляційний час:

$$t_{\text{шт.-к.}} = t_{\text{шт.}} + \frac{t_{\text{п.з.}}}{n},$$

де $t_{\text{п.з.}}$ – підготовчо-заклучний час, визначається за довідниками, $t_{\text{п.з.}} = 29$ хв.;

$t_{\text{шт.}}$ – штучний час, хв.;

n – кількість деталей в партії, шт.:

$$n = \frac{N_{\text{е}} \times a}{F},$$

де $N_{\text{е}}$ – програма випуску продукції – 5500 шт

a - періодичність запуску-випуску виробу, $a = 5$ днів;

F - число робочих днів в році, $F = 259$ днів (за 2023 рік).

$$n = \frac{5500 \cdot 5}{259} = 106 \text{ шт.}$$

Штучний час на операцію визначається за формулою, хв:

$$t_{\text{шт}} = t_o + t_d + t_{\text{т.о}} + t_{\text{о.о}} + t_{\text{відп}},$$

де t_o – основний час на обробку (табл. 3.16), хв;

t_d – допоміжний час, хв;

$t_{\text{т.о}}$ – час на технічне обслуговування верстату, хв;

$t_{\text{о.о}}$ – час на організаційне обслуговування, хв;

$t_{\text{відп}}$ – час на перерву, на відпочинок і особисті потреби робітника, хв.

Допоміжний час це сума часів на допоміжні дії, які обираються за нормативними таблицями:

$$t_d = t_{\text{в.з.}} + t_{\text{п.в.}} + t_{\text{кер.}} + t_{\text{вим.}},$$

де $t_{\text{в.з.}}$ – час на встановлення та зняття деталі – 0,053 хв.;

$t_{\text{п.в.}}$ – час на підведення та відведення інструмента – 0,04 хв.;

$t_{\text{кер.}}$ – час на керування верстатом – 0,038 хв.;

$t_{\text{вим.}}$ – час на проведення контрольних вимірів – 0,79 хв.

Отже, допоміжний час, хв:

$$t_d = 0,053 + 0,04 + 0,038 + 0,79 = 0,921.$$

Після розрахунку допоміжного часу, визначаємо оперативний час, хв:

$$t_{\text{опер.}} = t_o + t_{\text{доп.}} = 12,7 + 0,921 = 13,621.$$

Час на технічне обслуговування обладнання $t_{\text{т.о}}$ розраховується за формулою:

$$t_{\text{т.о}} = \alpha \cdot t_{\text{оп}},$$

де: α – нормативний процент від оперативного часу, обираємо 3,5%.

$$t_{\text{т.о}} = 0,035 \cdot 13,621 = 0,477 \text{ хв.}$$

Час на організаційне обслуговування $t_{\text{о.о}}$ розраховується за формулою:

$$t_{\text{о.о}} = \beta \cdot t_{\text{оп}},$$

де: β – нормативний процент від оперативного часу, обираємо 1,4%;

$$t_{o.o} = 0,014 \cdot 13,621 = 0,1907 \text{ хв.}$$

Час на перерви, відпочинок та особисті потреби $t_{\text{відп}}$ розраховується за формулою:

$$t_{\text{відп}} = \gamma \cdot t_{\text{оп}},$$

де: γ – нормативний процент від оперативного часу, обираємо 4%;

$$t_{\text{відп}} = 0,04 \cdot 13,621 = 0,5448 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час, хв:

$$t_{\text{шт}} = 12,7 + 0,921 + 0,477 + 0,1907 + 0,5448 = 14,834.$$

Тоді норма штучно-калькуляційного часу буде становити, хв:

$$t_{\text{шт.-к.}} = 14,834 + \frac{29}{106} = 15,107.$$

Результати технічного нормування для корпусу наведено в табл. 3.17.

Таблиця 3.17

№ оп.	Час, хв							
	t_o	t_d	$t_{т.о}$	$t_{o.o}$	$t_{\text{відп}}$	$t_{\text{шт}}$	$t_{\text{пз}}$	$t_{\text{шт.к}}$
200	3,0	0,37	0,003	0,006	0,002	3,38	8	3,40
205	12,7	0,921	0,477	0,1907	0,5448	14,834	29	15,107

3.3 Висновки

У розділі було спроектовано технологічний процес механічної обробки деталі корпус GP20N-4-00-05. На основі аналізу базового технологічного процесу запропоноване раціоналізаторське рішення, яке дозволить зменшити кількість задіяного металорізального обладнання до двох верстатів, зменшити використовуваний різальний і вимірювальний інструмент, скоротити загальний час на обробку корпусу. Запропоновані рішення мають в результаті вплинути на собівартість обробки.

Була проведена послідовна робота по вибору і призначенню металорізальних верстатів, верстатних пристосувань, різального та допоміжного інструменту, контрольних та вимірювальних інструментів. Виконані розрахунки припусків на механічну обробку, режимів різання та технічне нормування операцій. Все це у комплексі має забезпечити вимоги до точності та якості деталі.

РОЗДІЛ 4 КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПРИСТРОЇВ ТА ІНСТРУМЕНТІВ

4.1 Розрахунок та розробка конструкції затискного пристрою

4.1.1. Опис будови та роботи пристрою

Затискне пристосування призначене для установки і закріплення корпусу насосу на операції 205 Комплексна з ЧПК, яка виконується на обробному центрі з ЧПУ Haas мод. VF-3.

На даній операції виконується повна механічна обробка деталі:

- фрезерування площин роз'єму, платиків, канавок;
- свердління отворів під штифти, кріпильних отворів, отворів на платиках;
- нарізання різьби в отворах;
- чорнове та чистове розточування центральних отворів (колодців).

Будова пристосування показана на рис. 4.1.

Пристосування складається з плит 3, 4 та призми 5, скріплених штифтами 47 та гвинтами 30. Плита 4 встановлюється та кріпиться до ділильного поворотного столу, який має керування від системи ЧПУ верстату. Ділильний поворотний стіл встановлюється на столі верстату. На плиті 3 розташовані підкладка 8 та напрямна 7, які закріплені за допомогою штифтів 47 та гвинтів 30. В отворі напрямної 7 розміщується рухома призма 6, а в розточці встановлено роликовий упорний підшипник 28. На столі верстату за допомогою болтів 26 і сухарів 19 закріплюється корпус 9 із встановленою у розточці гільзою 10 та поршнем 11, який з'єднаний зі штоком за допомогою гайки 28 та шайби 42. Шток проходить крізь отвір втулки 14, яка встановлена в розточці кришки 15 і за допомогою штифта 49 з'єднується з рухомою призмою 6. Кришка 15 з'єднується з корпусом 9 за допомогою гвинтів 31 та шайб 45, а своєю зовнішньою циліндричною поверхнею встановлюється у підшипник 38. На іншому кінці штоку встановлено за допомогою різьбового з'єднання пробку 17.

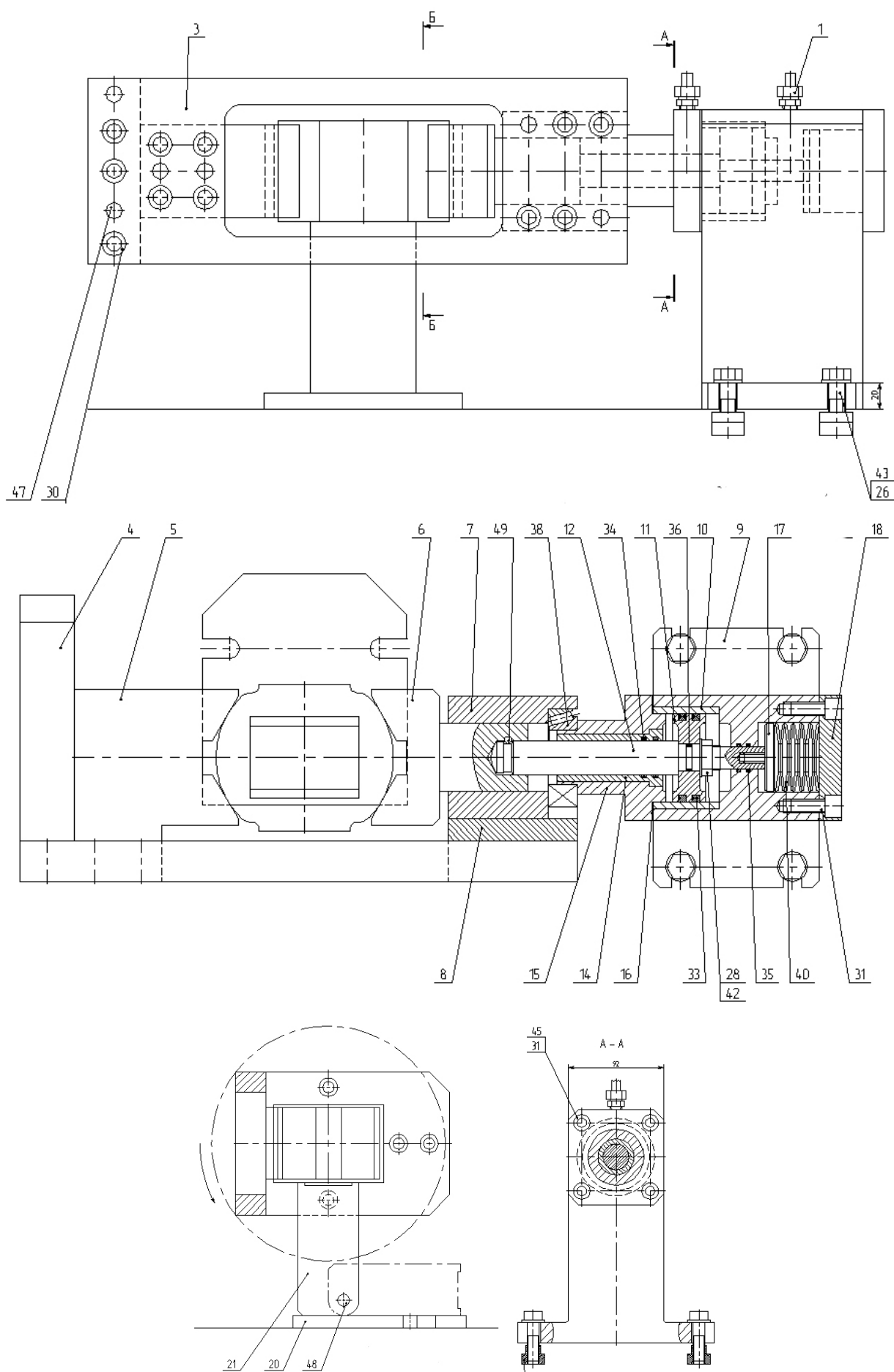


Рис. 4.1 Пристосування затискне.

Також у розточці корпусу 9 знаходиться комплект тарілчастих пружин 40, які, у свою чергу взаємодіють із торцевою поверхнею пробки 17. Притискання пружин здійснюється кришкою 18, яка приєднується до корпусу 9 за допомогою гвинтів 31.

Крім цього, до столу верстату прикріплено плиту 20 на якій встановлюється упор 21, який має можливість повороту навколо штифта 48. Упор використовується для встановлення оброблюваної заготовки між призмами і складається після затиску обробки площини роз'єму, при повороті плити 3 разом із ділильним поворотним столом.

Герметичність корпусу 9 і кришки 15 забезпечується за допомогою прокладки 16, герметичність гільзи 10 і поршня 11, забезпечується гумовими кільцями 33. Герметичність штоку 12 і втулки 15 забезпечується за допомогою гумових кілець 34. Герметичність штоку 12 і корпусу 9 забезпечується за допомогою гумових кілець 35.

Пристосування працює наступним чином.

Спершу, після натискання робітником відповідної кнопки, робоча рідина подається в штокову порожнину. Поршень 11 переміщується вправо, долаючи при цьому зусилля комплекту тарілчастих пружин 40. Деталь встановлюється між призмами 5 та 6, опираючись на відкидний упор 21. Далі, подається команда на подачу робочої рідини у безштокову порожнину гідроциліндру, чим створюється зусилля, яке необхідне для чорнової обробки - поршень 11 із штоком 12 та призмою рухомою 6 переміщується вліво і деталь затискається.

Після затиснення, відбувається чорнова обробка деталі із чотирьох сторін. Після того, як обробка першої площини роз'єму виконана, система ЧПУ верстата подає команду на поворотний стіл, який разом із плитою 3 повертається за годинниковою стрілкою на кут 90^0 , після чого відбувається обробка першого платика. По закінченню обробки першого платика поворотний стіл обертається за годинниковою стрілкою на кут 180^0 і відбувається обробка другого платика. Далі стіл повертається проти годинникової стрілки на кут 90^0 , після чого

відбувається обробка другої площини роз'єму, що завершує етап чорнової обробки.

При переході до чистової обробки, тиск в безштоковій порожнині зменшується, а затиск деталі, з зусиллям необхідним для чистової обробки, забезпечує комплект тарілчастих пружин 40. Під чистовою обробкою розуміється чистове розточування двох центральних отворів, яке виконується без повороту деталі, зі сторони другої площини роз'єму.

Після закінчення чистової обробки робоча рідина подається у штокову порожнину, при цьому поршень 11 разом з штоком 12 та призмою рухомою 6 рухаються вправо і виконується розтискання деталі. Робітник знімає деталь, упор 21 вручну відводить у початкове положення та встановлює наступну деталь.

4.1.2 Розрахунок сили затиску деталі

Призначення затискних пристосувань - надійне закріплення, яке виключає вібрації і зміщення заготовки відносно опор пристосування при обробці.

Сили закріплення заготовок повинні відповідати силам різання, а в деяких випадках силам тяжіння (при обробці масивних заготовок, встановлених консольно або з нахилом) і силам інерції (при обробці із гальмуванням та реверсом і т.д.).

Підвищення точності обробки досягається при стабільних силах закріплення, що зменшує похибку закріплення.

При виготовленні точних деталей сили затиску повинні бути такими, які б не викликали деформацій заготовок і одночасно забезпечували б надійний затиск заготовки.

При конструюванні затискного пристрою необхідно знайти силу затиску, яка визначається із умови рівноваги заготовки під дією сил різання, сил тяжіння, інерції, тертя, реакції в опорах та сили затиску [6, 7].

Схема затиску деталі, із зазначенням точки прикладання сили затиску та її напрямком, та зазначенням сил різання, сил тертя, реакцій в опорах показана на рис. 4.2.

Так як на обробному центрі з ЧПУ здійснюється чорнова та чистова обробка декількох поверхонь, необхідно визначити при обробці яких поверхонь на чорновій та чистовій обробках виникають найбільші сили різання та моменти. Визначені максимальні сили різання, які намагаються повернути або змістити деталь відносно затискних елементів пристрою будуть основними при визначенні необхідної сили затиску.

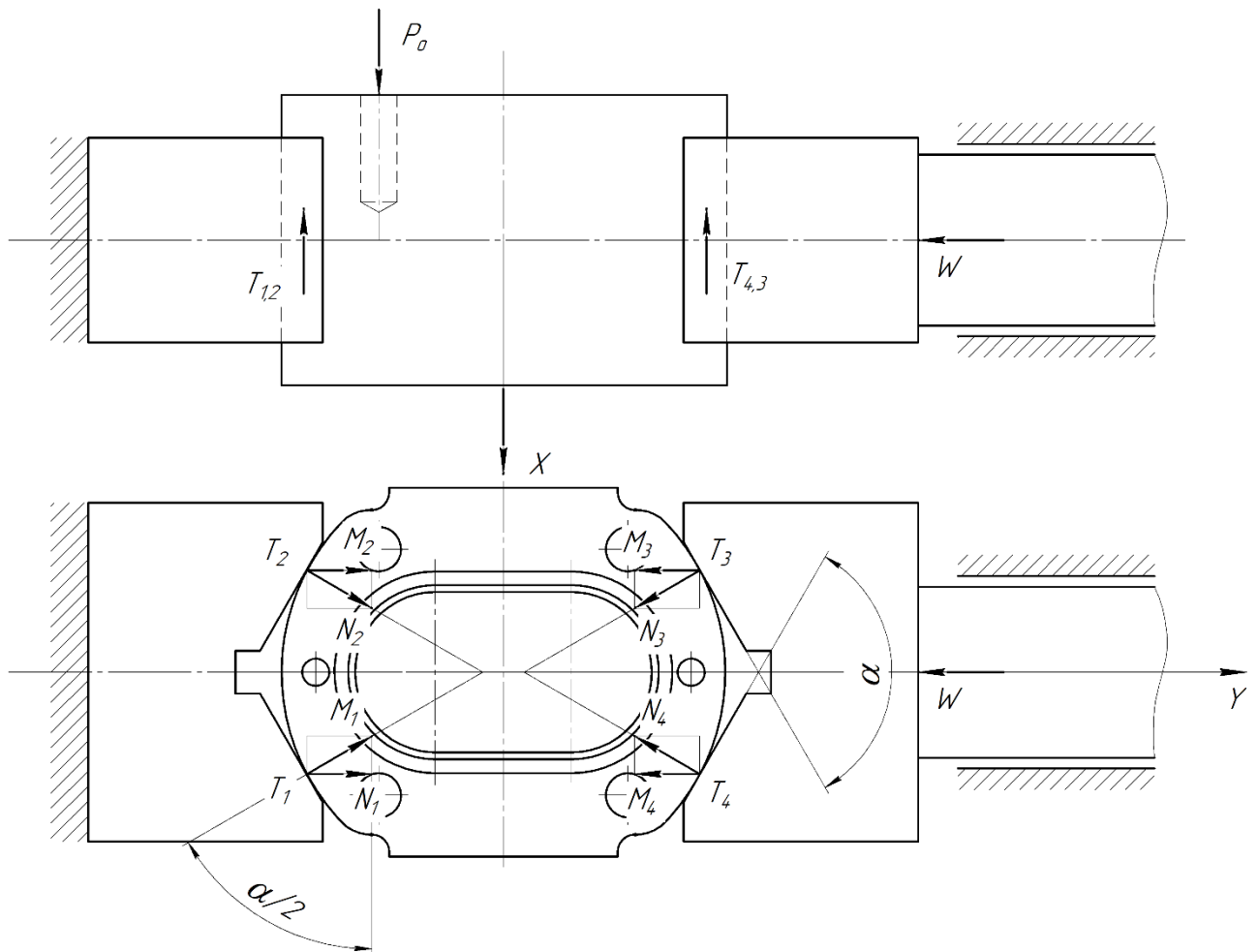


Рис. 4.2 Схема для розрахунку сили затиску.

1) Фрезерування площини роз'єму.

Розрахунок режимів різання та визначення сили різання F_z і крутного моменту на шпінделі $M_{кр}$ виконувалось у розділі 3.2.13:

$$F_z = 1443 \text{ Н}, \quad M_{кр} = 901,6 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

2) Визначаємо крутний момент на свердлі при свердлінні центрального отвору на платах $\varnothing 19$ мм.

Вихідні данні:

- частота обертів $n = 4000$ об/хв.;
- подача $S_m = 1600$ мм/об.;
- глибина різання $t = 8,5$ мм.

Крутний момент визначається за формулою:

$$M_{кр.} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p;$$

де $C_m = 0,005$, $q = 2,0$, $y = 0,8$ – коефіцієнт та показники степені;

D – діаметр свердла;

S – подача на оберт інструменту, мм/об.;

K_p – коефіцієнт, $K_p = K_{mp} = 1,0$.

Визначаємо подачу на оберт:

$$S = \frac{S_m}{n} = \frac{1600}{4000} = 0,4 \text{ мм/об.}$$

Тоді:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,005 \cdot 19^{2,0} \cdot 0,4^{0,8} \cdot 1,0 = 9 \text{ Нм.}$$

Осьова сила:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p;$$

де $C_p = 9,8$, $q = 1,0$, $y = 0,7$ – коефіцієнт та показники степені;

K_p – коефіцієнт, $K_p = K_{mp} = 1,0$.

Тоді:

$$P_o = 10 \cdot 9,8 \cdot 19^{1,0} \cdot 0,4^{0,7} \cdot 1,0 = 980 \text{ Н.}$$

3) При свердлінні кріпильних отворів $\varnothing 10,2$ мм, осьова сила становить:

$$P_o = 10 \cdot 9,8 \cdot 10,2^{1,0} \cdot 0,4^{0,7} \cdot 1,0 = 526 \text{ Н.}$$

4) Визначаємо сили різання при чорновому розточуванні центральних отворів. Вихідні данні:

- подача - $S_m = 300$ мм/об.;
- частота обертання інструменту - $n = 3000$ об/хв.;
- глибина різання - $t = 3,75$ мм.

Визначаємо подачу на оберт:

$$S = \frac{S_M}{n} = \frac{300}{3000} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Сила різання визначається за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p;$$

де $C_p = 92$; $x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = 0$ - коефіцієнт та показники степені;

K_p – поправочний коефіцієнт:

$$K_p = K_{MP}^{1,0} \cdot K_{\phi P}^{1,0} \cdot K_{\gamma P}^{1,0} \cdot K_{\lambda P}^{1,0} \cdot K_{zP}^{0,87}$$

де $K_{MP}, K_{\phi P}, K_{\gamma P}, K_{\lambda P} = 1,0, K_{zP} = 0,87$.

$$K_p = K_{MP}^{1,0} \cdot K_{\phi P}^{1,0} \cdot K_{\gamma P}^{1,0} \cdot K_{\lambda P}^{1,0} \cdot K_{zP}^{0,87} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 = 0,87$$

Отже:

$$P_z = 10 \cdot 92 \cdot 3,75^{1,0} \cdot 0,1^{0,75} \cdot 400^0 \cdot 0,87 = 534 \text{ Н.}$$

4) Визначаємо сили різання при чистовому розточуванні центральних отворів. Вихідні данні:

- подача - $S_M = 300 \text{ мм/об.}$;
- частота обертання інструменту - $n = 3000 \text{ об/хв.}$;
- глибина різання - $t = 0,45 \text{ мм.}$

Визначаємо подачу на оберт:

$$S = \frac{S_M}{n} = \frac{300}{3000} = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Отже, сила різання:

$$P_{\text{чист.}} = 10 \cdot 92 \cdot 0,45^1 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 434^0 \cdot 0,87 = 64 \text{ Н.}$$

Проведені розрахунки показали, що найбільше значення сили різання при чорновій обробці виникає при свердлінні отвору Ø19 мм на поверхнях платиків $P_o = 980 \text{ Н}$, а найбільший момент різання – під час фрезерування площини роз'єму $M_{\text{кр}} = 901,6 \text{ Н} \cdot \text{м}$. При свердлінні кріпильних отворів на поверхні роз'єму Ø10,2 мм виникає осьова сила $P_o = 526 \text{ Н}$. При чистовій обробці колодців сила різання складає $P_{z \text{ чист}} = 64 \text{ Н}$.

Розрахунок сил затиску будемо проводити відносно осьової сили різання при свердлінні кріпильних отворів Ø10,2 мм, так як обумовлена сила намагається зрушити оброблювану деталь вздовж поверхні призми, на відміну від сили різання

при обробці отворів Ø19 мм, яка притискає деталь до бічних поверхонь призм. Розрахунок сили затиску проводимо окремо для чорнової та чистової обробки.

Спершу, складаємо рівняння рівноваги відповідно до схеми рис. 4.2:

$$\sum P_x = 0;$$

$$P_z - T_1 - T_2 - T_3 - T_4 = 0;$$

$$P_z = 2T_{1-2} + 2T_{3-4};$$

$$\sum P_y = 0;$$

$$-W + M_1 + M_2 - M_3 - M_4 = 0;$$

$$W = 2M_{1-2} - 2M_{3-4};$$

$$\frac{M_1}{N_1} = \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$M_1 = N_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$N_1 = \frac{T_1}{f_1};$$

$$M_1 = \frac{T_1}{f_1} \cdot \sin \frac{\alpha}{2};$$

$$T_{1-2} = \frac{W \cdot f_1}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}; \quad T_{3-4} = \frac{W \cdot f_2}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}};$$

де f – коефіцієнт тертя.

Ураховуючи умови статички:

$$P_z = 2 \cdot \frac{W \cdot f_1}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} + 2 \cdot \frac{W \cdot f_2}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}};$$

$$P_z = W \left(\frac{f_1 + f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right);$$

$$W = \frac{P_z}{\frac{f_1 + f_2}{\sin \frac{\alpha}{2}}} = \frac{P_z \cdot \sin \frac{\alpha}{2}}{f_1 + f_2};$$

де f_1, f_2 - коефіцієнт тертя, $f_1, f_2 = 0,15 \dots 0,25$.

Підставивши значення, отримаємо:

$$W_{\text{чорн}} = \frac{526 \cdot \sin \frac{120^\circ}{2}}{0,15 + 0,15} = 1518 \text{ Н.}$$

Далі, складаємо рівняння рівноваги для розрахунку сили затиску при чистовій обробці – розточуванні двох колодців, при цьому сила різання також намагається зрушити деталь вздовж поверхонь призми:

$$\Sigma M_0 = 0;$$

$$-P_z \cdot \frac{l}{2} + F_4 \cdot l_4 + F_2 \cdot l_2 + F_1 \cdot l_1 + F_3 \cdot l_3;$$

$$P_z \cdot \frac{l}{2} = 4F_T \cdot l_0;$$

$$P_z \cdot l = 8F_T \cdot l_0;$$

$$P_z \cdot l = 8 \cdot W \cdot f \cdot l_0;$$

$$W_{\text{чист}} = \frac{P_{z \text{ чист}} \cdot l}{8 \cdot f \cdot l_0} = \frac{64 \cdot 65}{8 \cdot 0,15 \cdot 65} = 53 \text{ Н.}$$

Сила на штоці гідроциліндру Q визначається через W по формулі:

$$Q = W \cdot K \cdot f,$$

де K – коефіцієнт запасу, $K = 1,5 \dots 2,6$.

Розраховуємо силу затиску, що забезпечується гідроприводом, та яка необхідна для виконання чорнової обробки, при $K = 2,0$:

$$Q_{\text{чорн}} = W_{\text{чорн}} \cdot K = 1518 \cdot 2,0 = 3036 \text{ Н.}$$

Розраховуємо силу затиску, що забезпечується комплектом тарільчастих пружин, та яка необхідна для виконання чистової обробки, при $K = 1,5$:

$$Q_{\text{чист}} = W_{\text{чист}} \cdot K = 53 \cdot 1,5 = 80 \text{ Н.}$$

4.1.3 Розробка або вибір затискного пристрою та його приводу

В якості силового приводу у верстатному пристосуванні передбачений гідравлічний поршневий привід двосторонньої дії. Виконаємо його розрахунок,

для цього, через формулу діаметра поршня, виведемо формулу необхідного тиску гідросистеми:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_p \cdot \eta}} + d_1^2$$

$$D^2 - d_1^2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_p \cdot \eta};$$

$$D^2 = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P_p \cdot \eta} + d_1^2$$

$$(D^2 - d_1^2) \cdot \pi \cdot P_p \cdot \eta = 4 \cdot Q;$$

$$P_{p_{\text{чорн.}}} = \frac{4Q}{(D^2 - d_1^2) \cdot \pi \cdot \eta}$$

де d_1 - діаметр штоку;

η – коефіцієнт корисної дії гідроприводу, $\eta = 0,85$.

Отже, розрахуємо тиск в гідросистемі який необхідно створити для затиску деталі під час виконання чорнової обробки, якщо відомо, що діаметр поршня $D = 60$ мм, $d_1 = 18$ мм:

$$P_p = \frac{4 \cdot 3036}{(60^2 - 18^2) \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 1,4 \text{ МПа.}$$

Визначаємо тиск, який подолає зусилля тарілчастих пружин, при встановленні деталі в призми. Зусилля, яке повинні розвивати тарілчасті пружини для затиску деталі під час виконання чистової обробки становить 80 Н, отже для подолання зазначеної сили, гідропривід повинен розвивати більшу силу, приймаємо 160 Н.

Розрахуємо тиск гідроприводу, який забезпечить силу 160 Н:

$$P_p = \frac{4 \cdot 160}{(60^2 - 25^2) \cdot 3,14 \cdot 0,85} = 0,1 \text{ МПа.}$$

Отже, робочий тиск для затиску деталі здатен подолати зусилля пружин.

4.1.4 Розрахунок на міцність слабких ланок пристосування

Необхідно перевірити найбільш навантажені ланки від сил, які створює силовий привід. З міркувань безпеки кожна деталь пристосування має володіти запасом міцності, який завжди повинен бути більшим одиниці.

Виконуємо розрахунок на міцність різьбового з'єднання штоку 12 і гайки 28. Основний вид руйнування різі – зріз витків. Необхідно перевірити умову:

$$\tau \leq [\tau]$$

Допустиме напруження зрізу визначається з виразу:

$$[\tau] = 0,2 \cdot \sigma_T = 0,2 \cdot 630 = 126 \text{ МПа} = 12,6 \text{ кгс/см}^2$$

Напруження зрізу розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{W}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m},$$

де: W – сила затиску, Н;

d – внутрішній діаметр різі, мм;

H – довжина з'єднання, мм;

K – коефіцієнт, який враховує тип різі;

K_m – коефіцієнт.

$$\tau = \frac{3036}{3,14 \cdot 16 \cdot 14 \cdot 0,9 \cdot 1,0} = 4,8 \text{ кгс/см}^2$$

Умову міцності дотримано.

4.2 Розрахунок та розробка контрольного пристрою

Контрольний пристрій 8338-4111 служить для контролю допуску неперпендикулярності вісей колодців $\varnothing 46,9^{+0,025}$ до поверхні роз'єму в деталі. Технічна характеристика пристрою наведена в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри пристрою	Значення параметра
Границі вимірювання, мм	$\pm 0,025$
Похибка на всій границі вимірювання, мм	0,01
Варіація, мм	0,0003
Варіація, мм	1,200 max
Габаритні розміри, мм	215x 95x55

4.2.1 Короткий опис пристрою

Склад пристрою:

- контрольно вимірювальний пристрій 8338-4111 в зборі;
- індикатор типу 1 МИГ ГОСТ 9696-82.

Структурна схема контрольного пристрою приведена на рис. 4.3.

Контрольний пристрій складається з кільця 2 з базовою поверхнею А, закріпленого в корпусі. Контрольована деталь (на схемі – еталон 6) встановлюється на палець 1 та на поверхню А площиною роз'єму.

Замір допуску перпендикулярності вісі поверхні $\varnothing 46,9^{+0,025}$ мм до поверхні роз'єму деталі виконується важелем 3 та передається на вимірювальний наконечник індикатора 5. Вимірювальний наконечник важеля постійно притиснутий до поверхні деталі, яка контролюється за допомогою пружини.

Принцип виміру заснований на вимірюванні відхилення від перпендикулярності твірної поверхні Б від базової поверхні деталі.

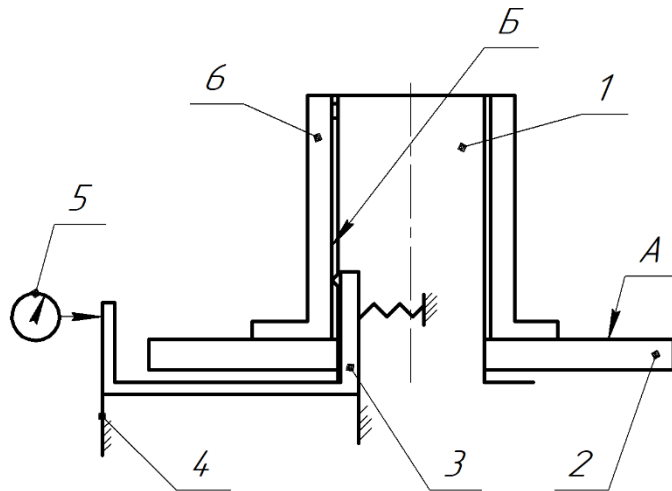


Рис. 4.3 Структурна схема пристрою.

1 – палець; 2 – кільце; 3 – важіль; 4 – пласка пружина; 5 – індикатор; 6 – еталон.

4.2.2 Конструкція пристрою

Конструкція контрольного пристрою показана на рис. 4.4.

На основі 1, встановлюється кільце із базовою площиною А. По центру кільця встановлюється палець 8, на який у процесі обміру буде встановлюватись деталь 9. Палець 8 має виріз для важеля 5 із вимірювальним наконечником 7.

Важіль 5, у свою чергу, підтискається до вимірювальної деталі спіральною пружиною, та за допомогою пружин плоских 4 має можливість коливатися, для передачі значення похибки. Значення похибки сприймає індикатор 2, що встановлений на стійці 3. Підналагодження пристосування можна здійснювати за допомогою гвинта 6, встановленого на важелі 5.

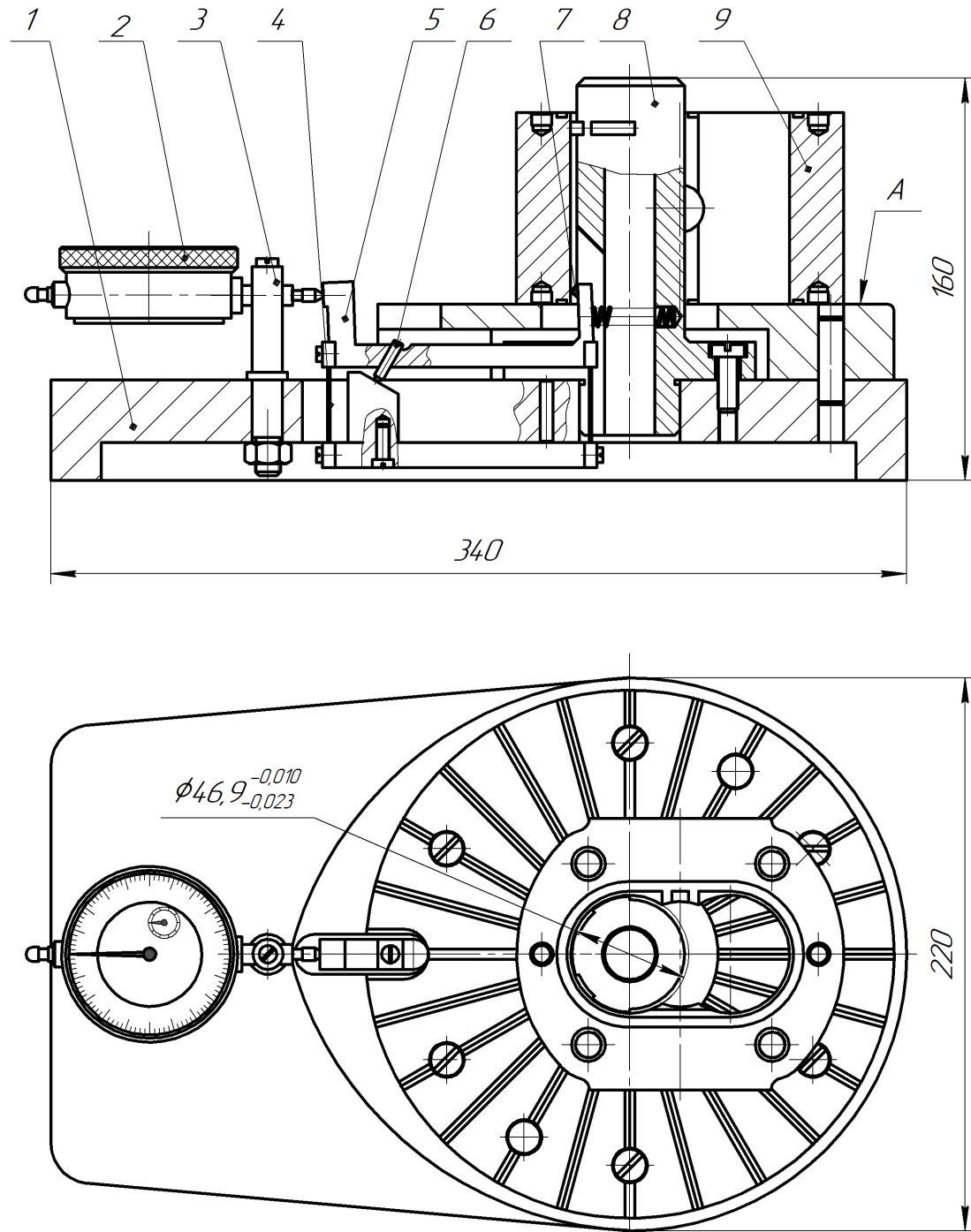


Рис. 4.4 Конструкція контрольного пристрою.

- 1 – основа; 2 – індикатор; 3 – індикаторна стійка; 4 – плоска пружина; 5 – важіль;
 6 – регулювальний гвинт; 7 – вимірювальний наконечник; 8 – палець;
 9 – вимірювальна деталь.

4.2.3 Визначення похибок вимірювання контрольного пристрою

Виконаємо перевірку контрольного пристрою по працездатності [6, 7]:

$$[\Delta_{\text{вим}}] \geq \sqrt{\Delta_6^2 + \Delta_{\text{вд}}^2 + \Delta_{\text{пп}}^2 + \Delta_{\text{вз}}^2 + \Delta_{\text{взв}}^2 + \Delta_{\text{від}}^2},$$

де: Δ_6 – похибка базування деталі, $\Delta_6 = 0$;

$\Delta_{\text{вд}}$ – похибка встановлення деталі, $\Delta_{\text{вд}} = 0,0015$ мм;

$\Delta_{\text{пп}}$ – похибка передавального пристрою, $\Delta_{\text{пп}} = 0$ мм;

$\Delta_{\text{вз}}$ – похибка вимірювального засобу, $\Delta_{\text{вз}} = 0,0025$ мм;

$\Delta_{\text{взв}}$ – похибка встановлення засобу вимірювання, $\Delta_{\text{взв}} = 0,0017$ мм;

$\Delta_{\text{від}}$ – похибка відліку, $\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot j$, де j – ціна поділки шкали вимірювального засобу, тобто маємо:

$$\Delta_{\text{від}} = 0,2 \cdot 0,001 = 0,0002 \text{ мм},$$

$[\Delta_{\text{вим}}]$ – допустима похибка вимірювання, $[\Delta_{\text{вим}}] = 0,05$ мм.

Тоді:

$$\sqrt{0,0015^2 + 0,0025^2 + 0,0017^2 + 0,0002^2} = 0,0033 \text{ мм}.$$

Допустима похибка вимірювання складає 0,05 мм, а розрахункова – 0,0033 мм. Умова $[\Delta_{\text{вим}}] \geq \Delta_{\text{пр}}$ виконується.

Складальне креслення контрольного пристосування представлено в додатках до роботи.

4.3 Розробка конструкції різального інструменту

Збірна торцева фреза [4, 10] з механічним кріпленням восьмигранних непереточуваних пластин (рис. 4.5) застосовується на операції 205 комплексній з ЧПУ при фрезерування площин корпусу. Операція виконується на обробному центрі з ЧПУ Haas мод. VF-3.

Торцева фреза являє собою корпус, в якому виконані посадочні місця під різальні пластини. Кріплення пластин до базових поверхонь корпусу виконується гвинтами.

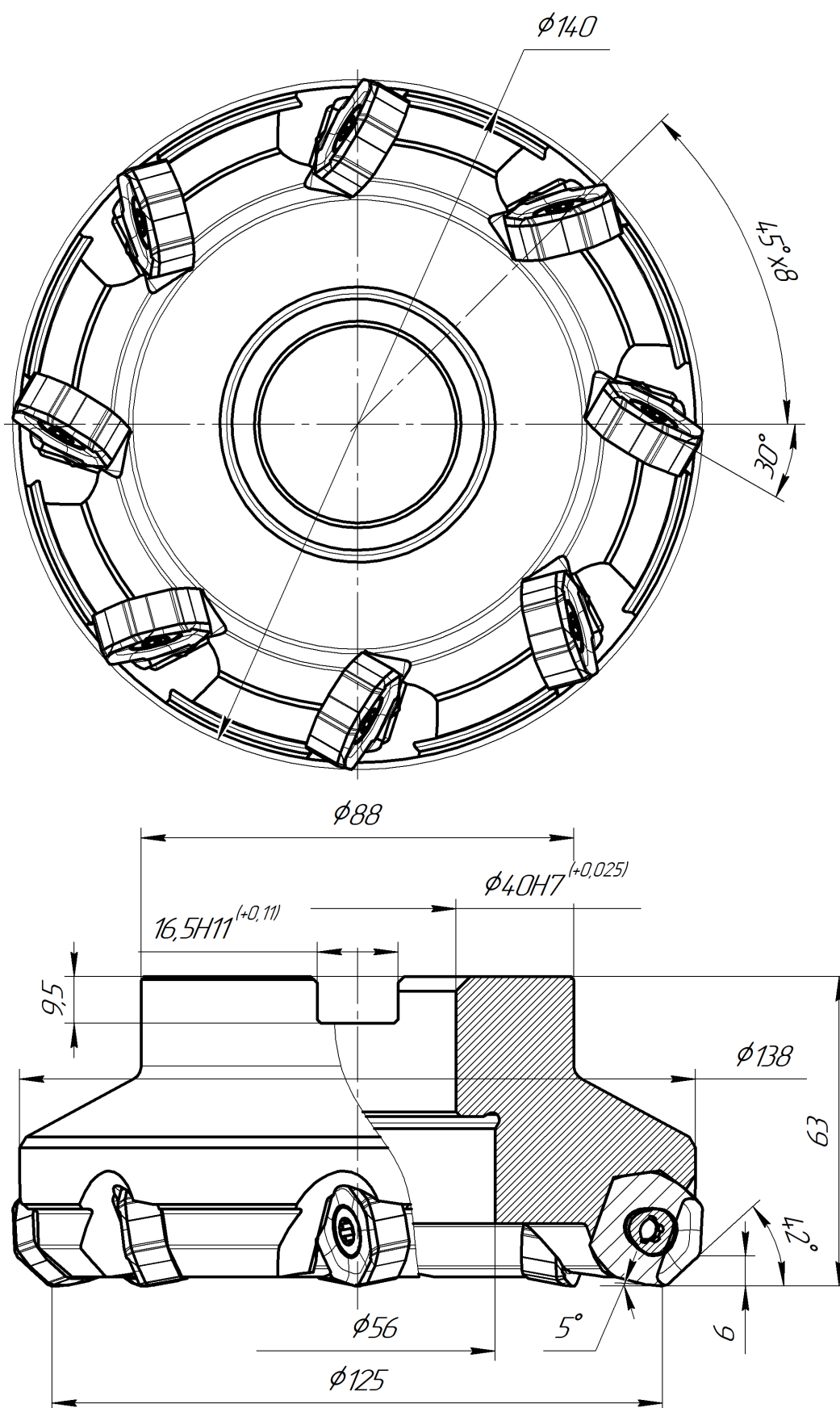


Рис. 4.5 Конструкція збірної торцевої насадної фрези з механічним кріпленням восьмигранних пластин.

Обрана фреза має просту конструкцію, проста в експлуатації, забезпечує підвищення стійкості, скорочення витрат на інструмент. У випадку зносу однієї із різальних граней фрези, відповідну різальну пластину повертають і в роботу вступає наступна грань. При повному зносі різальних кромek пластин виконується заміна усього комплекту на фрезі, при чому виконувати заміну або поворот можна безпосередньо на верстаті.

Особливістю конструкції фрез із непереточуваними змінними пластинами є фіксоване розміщення різальних елементів відносно корпусу фрези. Таким чином забезпечується постійність геометричних параметрів фрези. Точність виконання базових поверхонь корпусу фрези і точність виконання самих пластин визначають точність взаємного розміщення різальних кромek.

Також, до переваг використання непереточуваних різальних пластин можна віднести простоту надання їм додаткових елементів: створення уступів-стружколомів, утворення радіуса закруглення головної різальної кромки, інших елементів, покриття пластини одно- або багат шаровими зносостійкими покриттями (TiN, AlCrN, тощо).

Геометричні параметри різальної частини фрези, табл. 4.2:

Таблиця 4.2.

Найменування	Позначення	Значення
Головний задній кут	α	10°
Головний передній кут	γ	10°
Головний кут в плані	φ	42°
Допоміжний кут в плані	φ_1	5°
Кут нахилу головної різальної кромки	λ	30°

Матеріал різальних пластин - твердий сплав марки 3040 по Sandvik Coromant. Покриття CVD TiCN+Al₂O₃. Твердість HRA ≥ 91.5 .

Матеріал корпусу фрези - сталь 41Cr4 по DIN 17200. Твердість HRC40...50.

Робоче креслення торцевої фрези представлено в графічній частині роботи.

4.4 Висновки

У розділі представлена розроблена конструкція затискного верстатного пристрою, яка відповідає вимогам швидкого, надійного та безпечного закріплення деталі корпус під час її обробки на верстаті з ЧПУ HAAS VF-3. Пристосування дозволяє виконувати обробку деталі із чотирьох сторін, чим зменшує час на обробку, похибки, та як наслідок підвищується якість продукції.

Розроблена конструкція контрольного пристрою дає змогу виконувати перевірку допуску перпендикулярності колодязів до площини роз'єму. Цей параметр має вплив на ККД насосу, його характеристики по вібраціям і шуму.

Розроблена конструкція торцевої фрези із механічним кріпленням змінних різальних елементів, яка використовується для фрезерування площин роз'єму. Фреза здатна виконувати продуктивну механічну обробку із забезпеченням вимог точності та якості оброблюваної поверхні.

РОЗДІЛ 5. ОРГАНІЗАЦІЙНА ЧАСТИНА

5.1 Розрахунок потрібної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження

Потребу в обладнанні на операціях технологічного процесу механічної обробки деталі «корпус GP20N-4-00-05» визначимо згідно [1, 3] за формулою:

$$q_{p(i)} = \frac{N_z \cdot t_{um(i)}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot k_g}, \quad (5.1)$$

де N_z – річна програма запуску деталі (за попередніми розрахунками $N_z=5500$ шт.);

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

$F_{дрм}$ - дійсний річний фонд часу роботи обладнання (за попередніми розрахунками $F_{дрм} = 3804$ год.):

k_g - нормативний коефіцієнт виконання норм часу (приймається у розмірі 1,01-1,1 згідно з [1, 3]).

На операції 200 техпроцесу:

$$q_{p(1)} = \frac{5500 \cdot 3,38}{3804 \cdot 60 \cdot 1,01} = 0,08$$

Розрахунки виконані аналогічно за іншими операціями технологічного процесу зведено до табл. 5.1.

Таблиця 5.1.

Розрахунок завантаження обладнання

№ операції	Найменування операції	t_{um} , хв.	Кількість обладнання		η_z	$\bar{\eta}_z$
			q_p	q_{np}		
200	Стрічкопильна	3,38	0,08	1	0,08	0,22
205	Комплексна з ЧПУ	14,834	0,35	1	0,35	
	Всього	18,214	0,43	2	0,43	

Коефіцієнт завантаження обладнання по кожній деталі-операції:

$$\eta_{z(i)} = \frac{q_{p(i)}}{q_{np(i)}} \quad (5.2)$$

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

На операції 200 техпроцесу:

$$\eta_{z(1)} = \frac{0,08}{1} = 0,08.$$

Аналогічно виконані розрахунки по інших операціях техпроцесу зведено до табл. 5.1.

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

$$\bar{\eta}_z = \frac{\sum_{i=1}^m q_{p(i)}}{\sum_{i=1}^m q_{np(i)}} = \frac{0,43}{2} = 0,22 \quad (5.3)$$

де m - кількість операцій технологічного процесу.

Відповідно до знайденого значення $\bar{\eta}_z$ уточнюємо тип виробництва – великосерійний [1, 3].

5.2 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, 3], який застосовується у тому разі, коли в технологічному процесі відсутні трудомісткі за переналагоджуванням операції (тобто підготовчо-заклучний 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:

$$n_p = \frac{0,5F_{зм.д}}{t_{ум}^{min}}, \quad (5.4)$$

де $F_{зм.д}$ - дійсний фонд часу зміни (440 хв.);

$t_{ум}^{min}$ - штучний час на найбільш продуктивній операції техпроцесу, хв.

$$n_p = \frac{0,5 \cdot 440}{3,38} = 65 \text{ шт.}$$

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:

$$A_p = \frac{N_z}{n_p} = \frac{5500}{65} = 85, \quad (5.5)$$

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_ϕ , розмір партії деталей:

$$n_{np} = \frac{N_z}{A_\phi} = \frac{5500}{104} = 53 \text{ шт.} \quad (5.6)$$

Періодичність (ритм) запуску-випуску партій деталей:

$$R_z = \frac{T_p}{A_\phi} = \frac{250}{104} = 2,4 \text{ роб. днів}, \quad (5.7)$$

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:

$$T_{o(i)} = \frac{n_{np} \cdot t_{к-д(i)}}{S \cdot F_{зм.д}}, \quad (5.8)$$

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

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

$$t_{\kappa-\partial(i)} = \frac{t_{um(i)}}{k_{\varepsilon} \cdot p_{m(i)} \cdot q_{np(i)}} + \frac{t_{n-3(i)}}{n_{np}}, \quad (5.9)$$

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 операції 200:

$$t_{\kappa-\partial(1)} = \frac{3,38}{1,01 \cdot 1 \cdot 1} + \frac{8}{53} = 3,497 \text{ хв.}$$

$$T_{o(1)} = \frac{53 \cdot 3,497}{2 \cdot 440} = 0,21 \text{ дн.}$$

Результати розрахунків $t_{\kappa-\partial(i)}$ і $T_{o(i)}$ зведемо до табл. 5.2.

Таблиця 5.2.

Розрахунок тривалості циклу

№ опер	Найменування операції	t_{um} , хв.	t_{n-3} , хв.	$t_{\kappa-\partial}$, хв.	T_o , днів	t_{mo} , днів
200	Стрічкопильна	3,380	8	3,497	0,21	0,14
205	Комплексна з ЧПУ	14,834	29	15,234	0,92	0,14
	Всього	18,214	-	12,152	1,13	0,28

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.

Тривалість виробничого циклу визначаємо за формулою:

$$T_n = \sum_{i=1}^m T_{o_i} + \sum_{i=1}^m t_{mo} = 1,13 + 0,28 = 1,41 \text{ днів}, \quad (5.10)$$

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

$$t_{mo} = \frac{(0,25 \dots 0,8) \cdot \sum_{i=1}^m T_{o_i}}{m} = \frac{0,25 \cdot 1,13}{2} = 0,14 \text{ дні}, \quad (5.11)$$

Графік послідовного руху партії деталей представлено на рис. 5.1.

Середній розмір циклового запасу деталей визначається за формулою:

$$z_{\text{ц}} = \frac{n_{\text{пр}} \cdot T_n}{R_3} = \frac{53 \cdot 1,41}{2,4} = 32 \text{ шт.}, \quad (5.12)$$

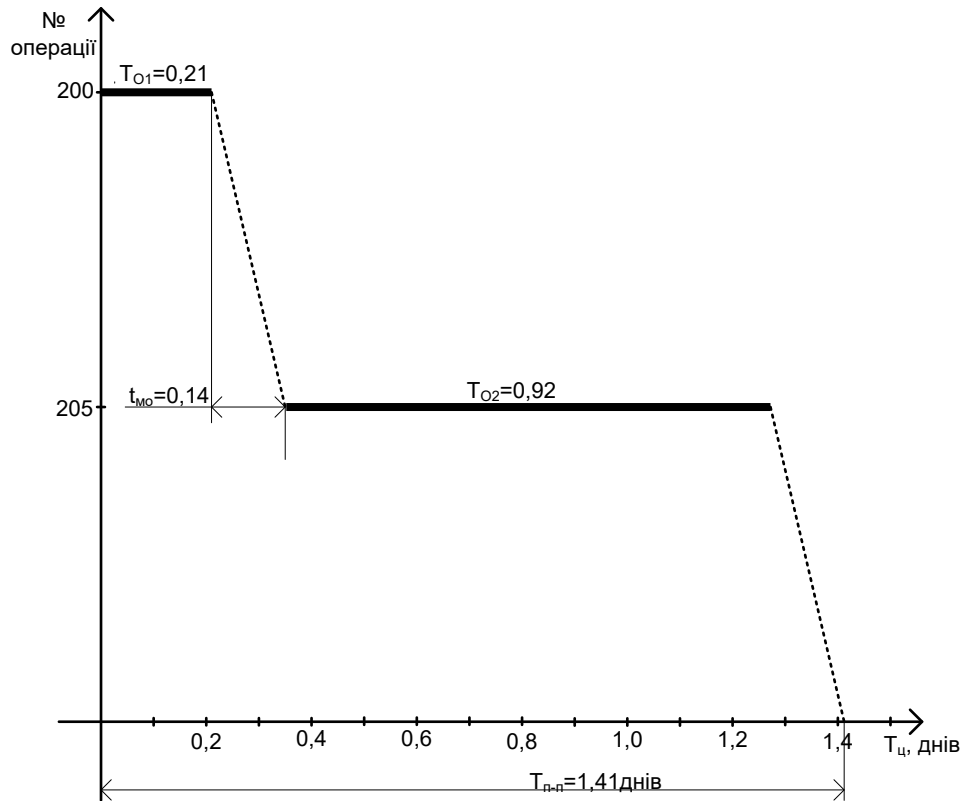


Рис. 5.1 – Графік послідовного руху партії деталей «корпус» $n_{\text{пр}}=53$ шт.

5.3 Визначення чисельності основних робітників цеху

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

$$R_o = \frac{T_p}{F_{\text{оп}}}, \quad (5.13)$$

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

$$T_p = N_3 \cdot \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}_i}}{60} \cdot K_{\text{доп}} \cdot (1 + 0,01 \cdot d), \quad (5.14)$$

де $K_{\text{дов}}$ - коефіцієнт довантаження обладнання до нормативного ($\eta_{\text{зн}}$) для даного типу виробництва [1, 3]:

$$K_{\text{дов}} = \frac{\eta_{\text{зн}}}{\bar{\eta}} = \frac{0,8}{0,22} = 3,64 \quad (5.15)$$

d - процент додаткових робіт, непередбачених технологічним процесом (виправлення браку, доробка, комплектація тощо), $d=15\ldots 20\%$;

$F_{\text{др}}$ - 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 ($8\ldots 10\%$)):

$$F_{\text{др}} = F_n \cdot (1 - 0,01 \cdot C_n) = 2000 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8) = 1840 \text{ год.}, \quad (5.16)$$

$$T_p = 5500 \cdot \frac{18,214}{60} \cdot 3,64 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) = 7293 \text{ нормо-год.}$$

$$R_o = \frac{7293}{1840} = 4 \text{ осіб.}$$

5.4 Висновки

У розділі виконано розрахунок необхідної кількості обладнання та коефіцієнту його завантаження, календарно-планових нормативів, визначено чисельність основних робітників цеху по виробництву деталі корпус GP20N-4-00-05.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

6.1 Аналіз варіантів технологічного процесу

Для доведення доцільності впровадження запропонованого варіанту технологічного процесу, необхідно провести його економічний аналіз на основі визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по кожному з альтернативних варіантів (базовому і проектному):

$$C_{tex} = V \cdot N_z + P, \quad (6.1)$$

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. Так само, порівнювати доцільно лише операції, які відрізняються (табл. 6.1, 6.2).

Таблиця 6.1.

Характеристика змін при обробці деталі «корпус»

№ оп.	Базовий варіант		Розряд	№ оп.	Проектний варіант		Розряд
	Найменування операції	t_{um} , хв.			Найменування операції	t_{um} , хв.	
210	Комплексна на ОЦ НСЕ400Р	17,27	4	205	Комплексна з ЧПУ на VF-3 HAAS	14,834	4
215	Комплексна на ОЦ HAAS VF-3	9,93	4				
	Всього	27,20			Всього		

6.1.1 Розрахунок змінних витрат

За поелементним методом розрахунку змінні витрати визначаються за формулою:

$$V = M_o + Z_{одв} + E_c + B_p + B_{мд} + B_{ін.ун} + B_{пр.ун} + B_{ам.у} + B_{ен}, \quad (6.2)$$

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

$B_{ін.ун}$ – витрати на експлуатацію універсального ріжучого інструменту, грн.

(однакові у порівнюваних варіантах);

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

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

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

$$Z_{одв} = C_{z(i)} \frac{t_{ум(i)}}{60} (1 + K_o) \cdot (1 + K_c), \quad (6.3)$$

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

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

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

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot 27,2}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 47,4410 \text{ грн.};$$

$$Z_{одв.баз} = \frac{77,98 \cdot 14,834}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) = 25,8728 \text{ грн.}$$

Наступні статті витрат пов'язано з утриманням та експлуатацією обладнання. Тому, перед їх розрахунком, на основі [1, 3] складемо таблицю щодо характеристики обладнання, яке використовується у порівнюваних операціях базового та проектного технологічних процесів (табл. 6.2).

Витрати на електроенергію силову:

$$E_c = \frac{N_e \cdot K_o \cdot K_N \cdot K_o}{\eta_e \cdot \eta_m} \cdot \frac{t_{ум}}{60} \cdot \Pi_{ел}, \quad (6.4)$$

де N_e – встановлена потужність електродвигунів обладнання, кВт;

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

K_N – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за потужністю (приймається у розмірі 0,7...0,8 – для обробних центрів);

K_δ – коефіцієнт, який враховує завантаження електродвигунів за часом, $K_\delta=0,3...0,5$;

η_ϵ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі, $\eta_\epsilon=0,92...0,96$;

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

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

Таблиця 6.2.

Характеристика обладнання

Модель обладнання	Габаритні розміри: довжина × ширина, м	Потужність електродвигунів верстата, кВт	Група ремонтної складності механічної/електричної частини, УРО	Площа в плані $S_{од}$, м ²	Оптова ціна, тис. грн.
Базовий варіант					
Обробний центр HCE400P	3,50×3,06	30,0	28/20	10,71	2370,70
Обробний центр HAAS VF-3	3,90×2,40	22,4	26/18	9,36	2285,54
Проектний варіант					
Обробний центр HAAS VF-3	3,90×2,40	22,4	26/18	9,36	2285,54

У базовому техпроцесі:

$$E_{с.баз} = \frac{(30 \cdot 17,27 + 22,4 \cdot 9,93) \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88 \cdot 60} \cdot 7,5 = 31,0031 \text{ грн.}$$

В проектному техпроцесі:

$$E_{с.пр} = \frac{22,4 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 0,5}{0,95 \cdot 0,88} \cdot \frac{14,834}{60} \cdot 7,5 = 13,9113 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання:

$$B_p = \frac{W_m \cdot R_m + W_e \cdot R_e}{F_{дрм}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.5)$$

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.

$$B_{p.баз} = \frac{880 \cdot 28 + 720 \cdot 20}{3804} \cdot \frac{17,27}{60} + \frac{880 \cdot 26 + 720 \cdot 18}{3804} \cdot \frac{9,93}{60} = 4,5133 \text{ грн.};$$

$$B_{p.пр} = \frac{880 \cdot 26 + 720 \cdot 18}{3804} \cdot \frac{14,834}{60} = 2,3293 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали:

$$B_{мд} = \frac{M_{зв} \cdot R_m \cdot t_{ум}}{100 \cdot 60} \cdot K_{\epsilon}, \quad (6.6)$$

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

K_{ϵ} – коефіцієнт, який враховує тип виробництва.

$$B_{мд.баз} = \frac{79,5 \cdot (28 \cdot 17,27 + 26 \cdot 9,93)}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 10,8109 \text{ грн.};$$

$$B_{мд.пр} = \frac{79,5 \cdot 26 \cdot 14,834}{100 \cdot 60} \cdot 1,1 = 5,6213 \text{ грн.}$$

Витрати на амортизацію універсального обладнання:

$$B_{ам} = \frac{\Phi_{бал} \cdot H_a \cdot t_{ум}}{F_{дрм} \cdot 60 \cdot 100 \cdot \eta_{зн}}, \quad (6.7)$$

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

$$\Phi_{бал} = \Pi_{опт} \cdot (1 + K_{тр} + K_m + K_{\phi}), \quad (6.8)$$

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

$K_{тр}$, K_m , K_{ϕ} – коефіцієнти, які враховують відповідно витрати на транспортування обладнання (0,05...0,1), його монтаж (0,04...0,06), улаштування фундаменту (0,02...0,08);

H_a – норма амортизації на реновацію, %.

$$\Phi_{бал(HCE400P)} = 2370700 \cdot (1 + 0,07 + 0,05 + 0,04) = 2750012 \text{ грн.};$$

$$\Phi_{бал(HAASVF-3)} = 2285540 \cdot (1 + 0,07 + 0,05 + 0,04) = 2651226 \text{ грн.}$$

$$B_{ам.баз} = \frac{(2750012 \cdot 17,27 + 2651226 \cdot 9,93) \cdot 15}{3804 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 60,6429 \text{ грн.};$$

$$B_{ам.пр} = \frac{2651226 \cdot 14,834 \cdot 15}{3804 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 0,8} = 32,3083 \text{ грн.}$$

Витрати на експлуатацію приміщення:

$$B_{ен} = \frac{S_{од} \cdot k_f \cdot C}{F_{дрм} \cdot \eta_{зн}} \cdot \frac{t_{ум}}{60}, \quad (6.9)$$

де $S_{од}$ – площа в плані, яку займає одиниця обладнання, m^2 ;

k_f – коефіцієнт, який враховує додаткову площу (проходи, проїзди, транспортно-складські приміщення) [1, 3].

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

$$B_{ен.баз} = \frac{(10,79 \cdot 2,0 \cdot 17,27 + 9,36 \cdot 2,5 \cdot 9,93) \cdot 780}{3804 \cdot 60 \cdot 0,8} = 2,5847 \text{ грн.};$$

$$B_{ен.пр} = \frac{9,36 \cdot 2,5 \cdot 14,834 \cdot 780}{3804 \cdot 60 \cdot 0,8} = 1,4828 \text{ грн.}$$

6.1.2 Розрахунок постійних витрат

За поелементним методом розрахунку постійні витрати включають:

$$P = B_{нал} + B_{сп.осн} + B_{ам.сп} + B_{пр}, \quad (6.10)$$

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

$B_{сп.осн}$ – витрати на експлуатацію спеціального оснащення, грн. (у базовому варіанті відсутні);

$B_{ам.сп}$ – витрати на амортизацію спеціального обладнання (у базовому варіанті відсутні), грн.;

$B_{пр}$ – витрати на створення програмного забезпечення верстатів з ЧПУ (у базовому та проєктному варіантах ці витрати близькі за величиною, тому ними можна знехтувати), грн.

Витрати на налагодження обладнання:

$$B_{нал} = C_{гн} \cdot \frac{t_{п-з}}{60} \cdot (1 + K_d) \cdot (1 + K_c) \cdot A, \quad (6.11)$$

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

$t_{п-з}$ – підготовчо-заклучний час даної операції, хв.;

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

$$B_{нал.баз} = 103,972 \cdot \frac{30 + 29}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 104 = 14269,31 \text{ грн.};$$

$$B_{нал.пр} = 103,972 \cdot \frac{29}{60} \cdot (1 + 0,1) \cdot (1 + 0,22) \cdot 104 = 7013,73 \text{ грн.}$$

6.1.3 Розрахунок технологічної собівартості

Усі виконані розрахунки змінних та постійних витрат, а також розрахунок технологічної собівартості зведемо до табл. 6.3.

Таблиця 6.3.

Розрахунок технологічної собівартості

№з/п	Статті витрат	Витрати, грн.	
		базовий варіант	проект
1.	<u>Змінні витрати V</u>		
1.1	Заробітна плата виробничих робітників основна, додаткова з єдиним соціальним внеском	47,4410	25,8728
1.2	Електроенергія силова	31,0031	13,9113
1.3	Ремонт обладнання	4,5133	2,3293
1.4	Матеріали допоміжні	10,8109	5,6213
1.5	Амортизація універсального обладнання	60,6429	32,3083
1.6	Експлуатація приміщень	2,5847	1,4828
	Всього змінних витрат	156,996	81,526
2.	<u>Постійні витрати P</u>		
2.1	Налагодження обладнання	14269,31	7013,73
	Технологічна собівартість річного випуску деталей $C_{тех}$	877747	455406

Технологічна собівартість:

$$C_{тех.баз} = 156,996 \cdot 5500 + 14269,31 = 877747 \text{ грн.};$$

$$C_{тех.пр} = 81,526 \cdot 5500 + 7013,73 = 455406 \text{ грн.}$$

За критерієм мінімуму технологічної собівартості більш ефективним для заданої програми запуску деталей «корпус GP20N-4-00-05» $N_3=5500$ шт. є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

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

$$N_{кр} = \frac{P_{пр} - P_{баз}}{V_{баз} - V_{пр}} = \frac{7013,73 - 14269,31}{156,996 - 81,526} = -96 \text{ шт.}, \quad (6.12)$$

Від'ємне значення $N_{кр}$ означає, що за будь-якої програми запуску деталі «корпус GP20N-4-00-05» ефективнішим з економічної точки зору є проектний варіант технологічного процесу механічної обробки даної деталі.

6.1.4 Розрахунок показників економічної ефективності проектного варіанту технологічного процесу

Річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу:

$$E_p = (C_{\text{тех.баз}} + E_n \cdot K_{\text{баз}}) - (C_{\text{тех.пр}} + E_n \cdot K_{\text{пр}}), \quad (6.13)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт порівняльної економічної ефективності капітальних вкладень;

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

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

$$K = (\Phi_{\text{бал}} + B_{\text{осн}} + K_{\text{буд}}) \cdot \eta_{zi}, \quad (6.14)$$

Капітальні вкладення в будівлі розраховуємо за формулою:

$$K_{\text{буд}} = S_{\text{од}} \cdot K_f \cdot q_{\text{пр}} \cdot h \cdot \Pi_{\text{буд}}, \quad (6.15)$$

де h – висота приміщення цеху, м;

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

$$K_{\text{буд.баз}} = (10,79 \cdot 2,0 + 9,36 \cdot 2,5) \cdot 8 \cdot 6200 = 2231008 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{буд.пр}} = 9,36 \cdot 2,5 \cdot 8 \cdot 6200 = 1160640 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{баз}} = (2750012 + 2651226 + 2231008) \cdot 0,33 = 2518641 \text{ грн.}$$

$$K_{\text{пр}} = (2651226 + 1160640) \cdot 0,35 = 1334153 \text{ грн.}$$

$$E_p = (877747 + 0,16 \cdot 2518641) - (455406 + 0,16 \cdot 1334153) = 611860 \text{ грн.}$$

6.2 Розрахунок планової цехової собівартості деталі

Цехова собівартість виготовлення деталі визначається як сума калькуляційних статей витрат:

$$C_{\text{цех}} = M_o + Z_{od} + B_c + B_{in} + B_o + B_{\text{ц}}, \quad (6.16)$$

де M_o - вартість основних матеріалів, грн.;

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

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

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

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

$B_{\text{ц}}$ - цехові витрати, грн.

Вартість основних матеріалів:

$$M_o = a_p \cdot C_m \cdot K_{mp} - a_{\text{с}} \cdot C_{\text{с}}, \quad (6.17)$$

де a_p - норма витрат матеріалу (алюмінієвий сплав Д16), кг;

C_m - ціна матеріалу, грн./кг;

K_{mp} - коефіцієнт, який враховує транспортно-заготівельні витрати, витрати при зберіганні матеріалів (приймається у розмірі 1,05...1,08);

$a_{\text{с}}$ - маса відходів, кг;

$C_{\text{с}}$ - ціна відходів, грн./кг;

$$M_o = 1,95 \cdot 184,0 \cdot 1,05 - (1,95 - 1,706) \cdot 27,6 = 356,537 \text{ грн.}$$

Заробітна плата основна й додаткова виробничих робітників:

$$Z_{od} = P_{\text{с}} (1 + K_{\text{д}}), \quad (6.18)$$

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

$$P_{\text{с}} = \sum_1^m P_{on_i} = \sum_1^m \frac{e_{\text{зод}_i}^{\text{с}} \cdot t_{\text{ум}-\kappa_i}}{60}, \quad (6.19)$$

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

t_{um-ki} - штучно-калькуляційний час i -ої операції технологічного процесу,
хв.:

На першій операції техпроцесу:

$$P_{on(200)} = 70,180 \cdot \frac{3,531}{60} = 4,130 \text{ грн./шт.}$$

Розрахунок відрядної розцінки на деталь зведемо до табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Розрахунок відрядної розцінки на деталь

№ оп.	Найменування операції	$t_{um-к, хв.}$	Розряд	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Розцінка на деталь, грн.
200	Стрічкопильна	3,531	3	70,180	4,130
205	Комплексна з ЧПУ	15,381	4	77,980	19,990
	Всього	12,166	-	-	24,120

$$З_{од} = 24,120 \cdot (1 + 0,1) = 26,532 \text{ грн.}$$

Відрахування на соціальні потреби виробничих робітників:

$$B_c = 26,532 \cdot \frac{22}{100} = 5,837 \text{ грн.,} \quad (6.20)$$

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).

$$B_{осн} = 25 \cdot \frac{18,214}{60} = 7,589 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання і експлуатацію обладнання:

$$B_o = 24,120 \cdot \frac{320}{100} = 77,184 \text{ грн.,} \quad (6.21)$$

де Π_{60} - процент витрат на утримання та експлуатацію обладнання;

$З_o$ - основна заробітна плата за виготовлення деталі, грн.

Загальноцехові витрати в собівартості деталі:

$$B_{ц} = 24,120 \cdot \frac{280}{100} = 67,636 \text{ грн.,} \quad (6.22)$$

де $\Pi_{\text{ц}}$ – процент цехових витрат.

Калькуляцію цехової собівартості деталі слід звести до табл. 6.5.

Таблиця 6.5.

Калькуляція цехової собівартості виготовлення деталі

№ з/п	Найменування статей	Витрати, грн.
1.	Матеріали основні з відрахуванням зворотних відходів	356,537
2.	Основна заробітна плата виробничих робітників	24,120
3.	Додаткова заробітна плата виробничих робітників	2,412
4.	Відрахування у соціальні фонди	5,837
5.	Експлуатація спеціального оснащення	7,589
6.	Витрати на утримання і експлуатацію обладнання	77,184
7.	Цехові витрати	67,636
8.	Всього цехова собівартість $C_{\text{ц}}$	541,315

6.3 Планування підсумкових техніко-економічних показників

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

- зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу (у відсотках):

$$\Delta T_p = \frac{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{баз}}}{\sum_{i=1}^m t_{\text{ум}(i)}^{\text{np}}} \cdot 100 - 100 = \frac{27,2}{14,834} \cdot 100 - 100 = 83,4\%, \quad (6.23)$$

- виробіток продукції на одного робітника:

$$B_n = \frac{T_p}{R_o} = \frac{7293}{4} = 1823,3 \text{ нормо-год./ос.}, \quad (6.24)$$

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

R_o – чисельність основних робітників цеху, осіб;

- зарплатомісткість продукції:

$$Z_{\text{зн}} = \frac{Z_{\text{од}}}{C_{\text{ц}}} \cdot 100 = \frac{26,532}{541,315} \cdot 100 = 4,9\%, \quad (6.28)$$

де $Z_{\text{од}}$ – основна й додаткова заробітна плата у собівартості деталі, грн.;

$C_{\text{ц}}$ – цехова собівартість деталі, грн.

- матеріаломісткість продукції:

$$Z_{mn} = \frac{M_o}{C_u} \cdot 100 = \frac{356,537}{541,315} \cdot 100 = 65,9\%, \quad (6.29)$$

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

- собівартість товарної продукції цеху:

$$C_{mn} = C_u \cdot N_z \cdot K_{дов} = 541,315 \cdot 5500 \cdot 3,64 = 10837126 \text{ грн.} \quad (6.30)$$

Підсумкові техніко-економічні показники роботи цеху зведемо до табл. 6.6.

Таблиця 6.6.

Техніко-економічні показники цеху

№ з/п	Показник	Величина
1.	Програма запуску деталі (N_z), шт./рік	5500
2.	Трудомісткість виробничої програми (T_p), нормо-год.	7293
3.	Цехова собівартість деталі, грн.	541,32
4.	Собівартість товарної продукції цеху (C_{mn}), тис. грн./рік	10837,13
5.	Чисельність основних робітників, осіб	4
6.	Виробіток продукції на одного робітника, нормо-год./ос.	1823,3
7.	Матеріаломісткість продукції, %	65,9
8.	Зарплатомісткість продукції, %	4,9
9.	Зниження трудомісткості виготовлення деталі при впровадженні проектного варіанту техпроцесу ΔT_p , %	83,4

6.4 Висновки

У розділі зроблено економічний аналіз доцільності впровадження запропонованого у даній роботі варіанту технологічного процесу. Цей аналіз виконано шляхом визначення та порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі по базовому і проектному технологічних процесах.

Розрахунки показали, що річний економічний ефект від застосування обраного варіанту технологічного процесу буде становити 611860 грн., також слід очікувати зниження трудомісткості виготовлення деталі на 83,4%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі на тему: «Дослідження способів обробки переривчастих отворів з розробкою технології виготовлення деталі корпус» виконано аналіз сучасного стану методів механічної обробки отворів у корпусних деталях. На основі цього аналізу розроблено рекомендації для обробки функційних отворів (колодців) корпусу шестеренного насосу – методику вибору подачі при розточуванні отворів з переривчастою поверхнею із забезпеченням міцності різального клину. Виведено рівняння, яке дозволяє розрахувати раціональну подачу з огляду на ці обмеження.

Також, у роботі проведено аналіз діючого на підприємстві технологічного процесу та запропоновано рішення, яке підвищить продуктивність обробки, знизить собівартість виготовленої продукції. Виконано підбір заготовки, металорізального обладнання, затискних та вимірювальних пристроїв, різального інструменту. Розраховано припуски та міжопераційні розміри, режими різання та проведено нормування операцій.

Спроектовано верстатний пристрій, контрольно-вимірювальний, різальний інструмент. Проведено необхідні конструкторські розрахунки.

Проведені організаційно-планові та економічні розрахунки для спроектованого технологічного процесу. Очікуване зниження трудомісткості обробки на 83,4%, а річний економічний ефект 611860 грн.

Розроблений технологічний процес ефективніший у порівнянні з базовим, підвищення продуктивності забезпечується за рахунок максимальної концентрації механічної обробки на одному верстаті типу обробний центр з ЧПУ. Це дозволяє використовувати високопродуктивний різальний інструмент, верстатне оснащення, та значно скоротити допоміжний час.

Всі прийняті технічні рішення підтверджено відповідними розрахунками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Економічні та організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності 133 – «Галузеве машинобудування». / Укл. І.В. Журило, Л.М. Романюк – Кропивницький: ЦНТУ, 2017 – 25 с.
2. Короткий курс опору матеріалів: Навч. посіб. / І. М. Ольховий, Б. М. Стасюк, В. З. Станкевич; Нац. ун-т «Львів. політехніка». Ін-т дистанц. навчання. – Л. : Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2004. – 194 с.
3. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту для студентів спеціальності 8.090202. Організаційно-планові розрахунки при проектуванні цеху механічної обробки. / Укл.: Л.В. Лебедева. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – 44 с.
4. Методичні вказівки до дипломного проектування зі спеціальності 8.090202 “Технологія машинобудування” – Кіровоград: КДТУ, 2002.
5. Методичні рекомендації до виконання самостійних робіт з дисципліни: «Технологія обробки типових деталей та складання машин». Для здобувачів спеціальностей: 131 Прикладна механіка, 133 Галузеве машинобудування / Укл.: О.І. Скібінський, В.М. Селехова. – Кропивницький: ЦНТУ, 2023. – 93 с.
6. Методичні рекомендації до кваліфікаційної роботи / Укл.: І.І. Павленко, В.А. Мажара, К.К. Щербина, О.І. Скібінський. - Кропивницький: ЦНТУ, 2021 – 42 с.
7. Технологія машинобудування. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Прикладна механіка», «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / Укл.: І.І. Павленко, А.М. Артюхов, М.М. Підгасцький, В.А. Мажара, М.О. Сторожук. – Кропивницький: ЦНТУ, 2018. – 68 с.
8. Kennametal – Products – Metalworking Tools [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kennametal.com/us/en/products/metalworking-tools.html>.

9. Oerlikon - Oerlikon Balzers Coating Guide [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.oerlikon.com/balzers/at/en/coating-guide/?selector%5Bnode%5D=8>.
10. Sandvik Coromant – Metal cutting tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/tools>.
11. Sandvik Coromant – Metal cutting knowledge – Drilling [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling>.
12. Seco Tools Interactive Catalogues [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.secotools.com/article/84565>.
13. Walter – Tools [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.walter-tools.com/en-us/products>.

ДОДАТОК А
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Машинобудування, мехатроніки і робототехніки»

КОМПЛЕКТ
ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Виконав здобувач вищої освіти
гр. ПМ-22Мз-3

Євген КУПЧЕВИЧ

Керівник роботи

Олександр СКІБІНСЬКИЙ

Завідувач кафедрою

Андрій ГРЕЧКА

Кропивницький - 2024

Розроб.	Купчевич ЄО			ЦНТУ	GP20N-4-00-05		
Перев.	Скібінський ОІ						

Наименование операции	Материал	Твердость	ЕВ	МД	Профиль и размеры	МЗ	КОИД
Стрічкопильна	Алюмінієвий сплав Д16 ГОСТ 4784-97		кг	1,706		1,95	

P		ПИ	D или B	L	t	i	S	n	V
---	--	----	---------	---	---	---	---	---	---

T02	ПР. 7030-6001 Лещата спеціальні
-----	---------------------------------

T04	РИ. М42 3700х27х0,9 Пила
-----	--------------------------

T06	СИ. 8358-4028 Пристосування контрольне $40 \pm 0,23$
-----	--

Т08	СИ. 8533-4075 Приспособление контрольное
-----	--

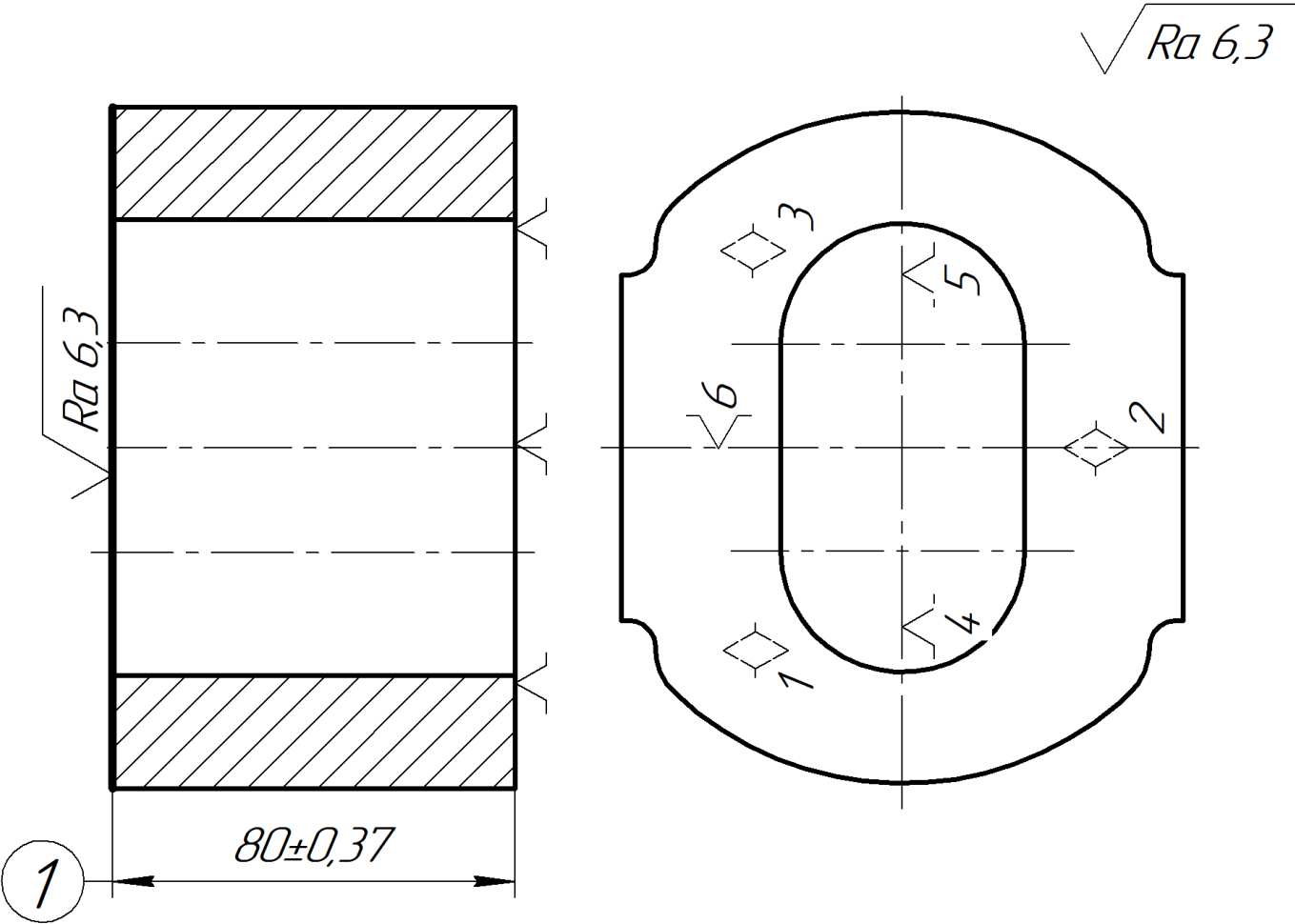
О10	3. Пересунути профіль на розмір 1.
-----	------------------------------------

О12	5. Перевірити розміри - 5%.
-----	-----------------------------

ОК	Операционная карта
----	--------------------

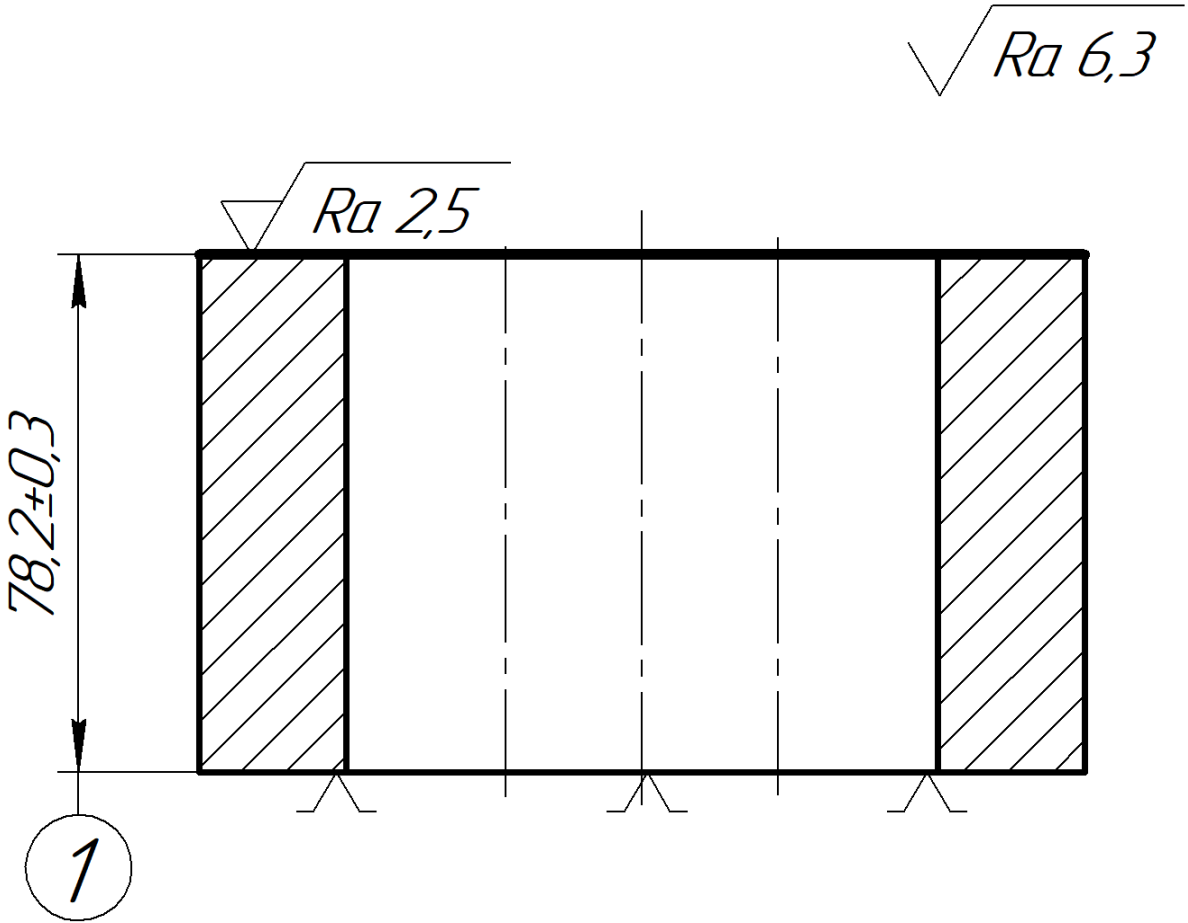
Дубл.			
Взам.			
Подл.			

										1	1	
Розроб.	Купчевич ЄО			ЦНТУ	GP20N-4-00-05							
Перев.	Скібінський ОІ											
				КОРПУС								200
Н.контр.												



Дубл.			
Взам.			
Подл.			

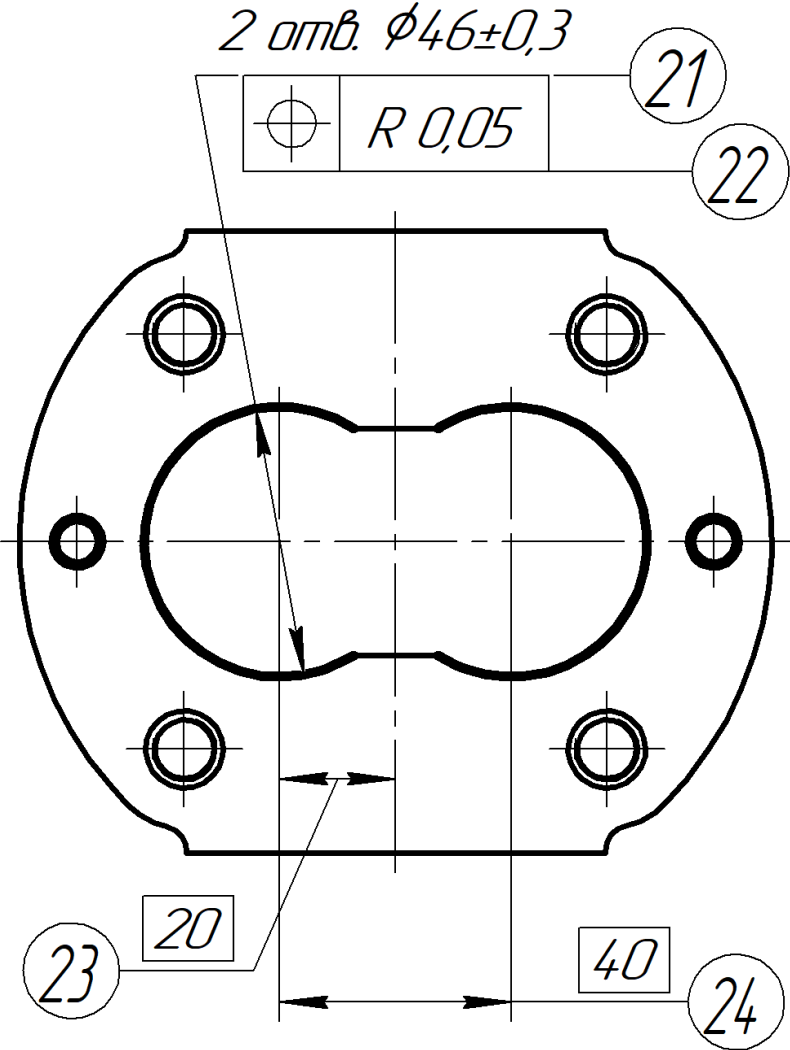
										15	1		
Розроб.	Купчевич ЄО			ЦНТУ	GP20N-4-00-05								
Перев.	Скібінський ОІ												
				КОРПУС									205
Н.контр.													



Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--

										GP20N-4-00-05				7
										Корпус			205	



$\sqrt{Ra 6,3}$

Дубл.			
Взам.			
Подл.			

--	--	--	--	--	--

					GP20N-4-00-05								10
										Корпус			205

