

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Технологія машинобудування, верстати та інструменти
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проекту)

другий (магістерський)
(освітньо-науковий рівень)

на тему **«Удосконалення технологічного процесу виготовлення
направляючого апарата 002.002.00.03-03 шляхом вибору раціональних
режимів різання на фрезерній з ЧПК операції»**

Виконав: студент ІІ курсу, групи ТМ.м-91
спеціальності: 131 – прикладна
механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми: технології
машинобудування
(назва освітньої програми)

Євдокимов О. Д.
(прізвище та ініціали)

Керівники Колесник В. О.
(прізвище та ініціали)

Петерка Йозеф

Рецензент
(прізвище та ініціали)

Суми – 2020 року

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет	<u>Факультет технічних систем і енергоефективних технологій</u>
Кафедра	<u>технології машинобудування, верстатів та інструментів</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>другий (магістерський)</u> <small>(назва)</small>
Спеціальність	<u>131 – прикладна механіка</u> <small>(шифр і назва)</small>
Освітня програма	<u>технології машинобудування</u> <small>(назва освітньої програми, за наявності)</small>

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

_____ Віталій ІВАНОВ

«___» _____ 2020 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЕКТУ) СТУДЕНТУ

Євдокимов Олександр Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **«Удосконалення технологічного процесу
виготовлення направляючого апарата
002.002.00.03-03 шляхом вибору раціональних
режимів різання на фрезерній з ЧПК операції»**

керівники проекту Колесник Віталій Олександрович, канд. техн. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Петерка Йозеф, д-р філ., професор

затверджені наказом вищого навчального закладу від «13» листопада 2020 року за № 1767-III

2. Строк подання студентом роботи (проекту) «16» грудня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи (проекту) Креслення деталі, базовий маршрутний
технологічний процес виготовлення деталі

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) 1. Виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення
деталі.

2. Розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі.

3. Спроекувати спеціальний верстатний пристрій.

4. Виконати огляд технологічних факторів, що впливають на продуктивність
фрезерування та запропонувати шляхи підвищення продуктивності в заданих
виробничих умовах.

5. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	Фалько В. В., ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

6. Дата видачі завдання «01» вересня 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проекту)	Строк виконання етапів роботи (проекту)	Примітка
1	Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі	01.10.2020	Виконано
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	15.10.2020	Виконано
3	Проектування верстатного пристрою	01.11.2020	Виконано
4	Виконати огляд технологічних факторів, що впливають на продуктивність фрезерування та запропонувати шляхи підвищення продуктивності в заданих виробничих умовах	12.11.2020	Виконано
5	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях	01.12.2020	Виконано
6	Формулювання загальних висновків	10.12.2020	Виконано
7	Підготовка доповіді	14.12.2020	Виконано
8	Підготовка презентації	14.12.2020	Виконано
9	Оформлення роботи	16.12.2020	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Олександр ЄВДОКИМОВ

_____ (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

Керівники роботи (проекту)

_____ (підпис)

Віталій КОЛЕСНИК

_____ (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)



_____ (підпис)

Йозеф ПЕТЕРКА

_____ (ім'я та ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра становить 96 сторінок, в тому числі 35 рисунків, 31 таблицю, бібліографії із 49 джерел на чотирьох сторінках, п'яти додатків на 22 сторінках.

Мета роботи. Провести удосконалення технологічного процесу виготовлення «направляючого апарата 002.002.00.03-03», шляхом вибору раціональних режимів різання на фрезерній з ЧПК операції.

Для досягнення поставленої мети в роботі було встановлено та вирішено наступні **завдання**: 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі; 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі; 3) спроектувати спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки на фрезерній операції з ЧПК; 4) провести натурний експеримент по визначенню раціональних режимів різання при фрезеруванні та проаналізувати отримані дані; 5) Визначити область найбільш раціональних режимів різання для операції фрезерна з ЧПК.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «направляючого апарата 002.002.00.03-03», фрезерна операція з ЧПК.

Предмет дослідження – режими різання та зношення інструменту фрезерної операції, раціональність аналітично розрахованих режимів.

Наукова новизна: в результаті експериментального дослідження були отримані математичні поліноміальні моделі залежності зношення різального інструменту від часу обробка для п'яти режимів різання, що дозволило визначити раціональний режим різання при фрезеруванні сталі 20X13.

НАПРАВЛЯЮЧИЙ АПАРАТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕЖИМИ
РІЗАННЯ, ФРЕЗЕРНА ОПЕРАЦІЯ, РОЗРАХУНОК, ТОЧІННЯ, ОБРОБКА

ABSTRACT

The master's thesis is 96 pages, including 35 drawings, 31 tables, bibliographies from 49 sources on four pages, five applications on 22 pages.

The purpose of the work. Improvement of the manufacturing process of machining «guide device 002.002.00.03-03» based on rational cutting parameters selection on CNC milling operation.

To achieve this goal, the following **tasks** were set and solved: 1) perform an analysis of the basic technological process of manufacturing parts; 2) to develop a rational technological process of manufacturing detail; 3) to develop a special device for installation of preparation on milling operation with CNC; 4) to conduct a full-scale experiment to determine the rational modes of cutting during milling and analyze the data obtained; 5) Determine the area of the most rational cutting modes for the operation of CNC milling.

The object of study - the technological process of manufacturing "guide device 002.002.00.03-03", milling operation with CNC.

The subject of study - modes of cutting and wear of the tool of milling operation, rationality of analytically calculated modes.

Scientific novelty: as a result of experimental research, mathematical polynomial models of the dependence of the cutting tool wear on the processing time for five cutting modes were obtained, which allowed to determine the rational cutting mode for milling 20X13.

GUIDE DEVICE, TECHNOLOGICAL PROCESS, CUTTING MODES,
MILLING OPERATION, CALCULATION, TURNING, PROCESSING

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Кафедра «Технологія машинобудування, верстати та інструменти»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідуючий кафедрою

_____ Віталій ІВАНОВ

«_____» грудня 2020 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ
НАПРАВЛЯЮЧОГО АПАРАТА 002.002.00.03-03 ШЛЯХОМ ВИБОРУ
РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ФРЕЗЕРНІЙ З ЧПК ОПЕРАЦІЇ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність 131 – прикладна механіка

Освітня програма – технології машинобудування

Студент

О. Д. Євдокимов

Керівники

В. О. Колесник

Й. Петерка

Консультант з розділу охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

В. В. Фалько

Нормоконтроль

О. В. Івченко

Суми – 2020

ЗМІСТ

	с.
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	7
1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	7
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	12
1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації	16
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	18
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	18
1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	23
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	24
2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.....	24
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки.....	25
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	29
2.4 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення	32
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	41
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструментів	43
2.7 Визначення режимів різання.....	46
2.8 Технічне нормування операцій.....	58

	3
2.9 Проектування верстатного пристрою	63
2.10 Висновок.....	76
РОЗДІЛ 3 ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ФРЕЗЕРНІЙ З ЧПК ОПЕРАЦІЇ	78
3.1 Вступ.....	78
3.2 Методика дослідження	79
3.3 Експериментальна установка.....	80
3.4 План експерименту	84
3.5 Хід та результати експерименту	85
3.5 Висновки	91
Висновки	92
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	93

ВСТУП

Актуальність теми. «Направляючий апарат 002.002.00.03-03» входить до складу насосу консольного типу НК 16/70, який застосовуються в нафтовій і газовій сферах та в галузях, де є робота з рідкими корисними копалинами, а також в системах подачі палива. Потреба галузей економіки у насосах даного типу є досить високою. Задоволення наявного попиту може бути досягнуто шляхом проектування перспективних технологічних процесів виготовлення деталі, які враховують необхідність вдосконалення основних операцій, пов'язаних з формоутворенням виробу та зміною фізико-механічних властивостей його матеріалу, а також режими обробки на цих операціях. У зв'язку з чим, підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей насосів, спрямованих на підвищення продуктивності та економічності виробництва при забезпеченні параметрів якості виробів, є актуальною інженерною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема роботи пов'язана з науковим напрямком досліджень кафедри «Технологія машинобудування, верстати та інструменти» СумДУ щодо підвищення ефективності процесів механічної обробки (тема держбюджетної НДР «Підвищення ефективності технологічних процесів виготовлення деталей та складання машин шляхом вдосконалення методів механічної обробки конструкційних матеріалів, технологічного устаткування та оснащення, систем якості організації та методів викладання технічних дисциплін» (0116U000933)).

Мета і задачі дослідження. Удосконалення технологічного процесу виготовлення «направляючого апарата 002.002.00.03-03», шляхом вибору раціональних режимів різання на фрезерній з ЧПК операції.

Задачі дослідження:

- 1) виконати аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі;
- 2) розробити перспективний технологічний процес виготовлення деталі;
- 3) спроектувати спеціальну конструкцію верстатного пристрою для установки заготовки на операції комплексній на обробних центрах з ЧПК;

4) провести натурний експеримент по визначенню раціональних режимів різання при фрезеруванні та проаналізувати отримані дані;

5) визначити область найбільш раціональних режимів різання для операції фрезерування з ЧПК.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення «направляючого апарата 002.002.00.03-03», фрезерування операція з ЧПК.

Предмет дослідження – режими різання та зношення інструменту фрезерної операції, раціональність аналітично розрахованих режимів.

Методи дослідження. Основними методами дослідження були теоретичні та практичні положення технології машинобудування та теорії різання. Зокрема, розрахунок припусків на механічну обробку було виконано за методом проф. Кована. Зношення різального інструменту досліджувалося у ході натурального експерименту. Планування та обробка результатів експериментального дослідження було здійснено на основі теорії багатофакторного експерименту. Дослідження стану різальної кромки фрези проводилась за допомогою методу оптичної мікроскопії на інструментальному мікроскопі МБС-9.

Наукова новизна: в результаті експериментального дослідження були отримані математичні поліноміальні моделі залежності зношення різального інструменту від часу обробки для п'яти режимів різання, що дозволило визначити раціональний режим різання при фрезеруванні сталі 20Х13.

Практичне значення отриманих результатів полягає у тому, що на основі експериментальних досліджень сформульовані рекомендації, спрямовані на раціоналізацію режимів обробки при фрезеруванні «направляючого апарата 002.002.00.03-03», забезпечення більшої стійкості інструменту та підвищення продуктивності на даній операції.

Апробація роботи. Немає.

Публікації. Немає.

Особистий внесок автора. Автором виявлені недоліки базового технологічного процесу виготовлення деталі. Запропоновані нововведення, спрямовані на вдосконалення існуючої технології. Спроектвані конструкцію

верстатного пристрою. Виконано дослідження режимів різання експериментальним методом, та сформульовано рекомендації щодо підвищення продуктивності.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 3-х розділів, загальних висновків, переліку використаних посилань з 49 найменувань, 96 сторінок основного тексту, 35 рисунків та 31 таблицю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.

Насоси типу НК застосовуються в нафтовій і газовій сферах та в галузях, де є робота з рідкими корисними копалинами, а також в системах подач палива. Особливе значення надається установці насосів на тих підприємствах, де є висока пожежонебезпека і вибухонебезпечність, як правило це підприємства-виробники. Дані насоси здатні витримати температуру рідини від 10°C до 400°C .

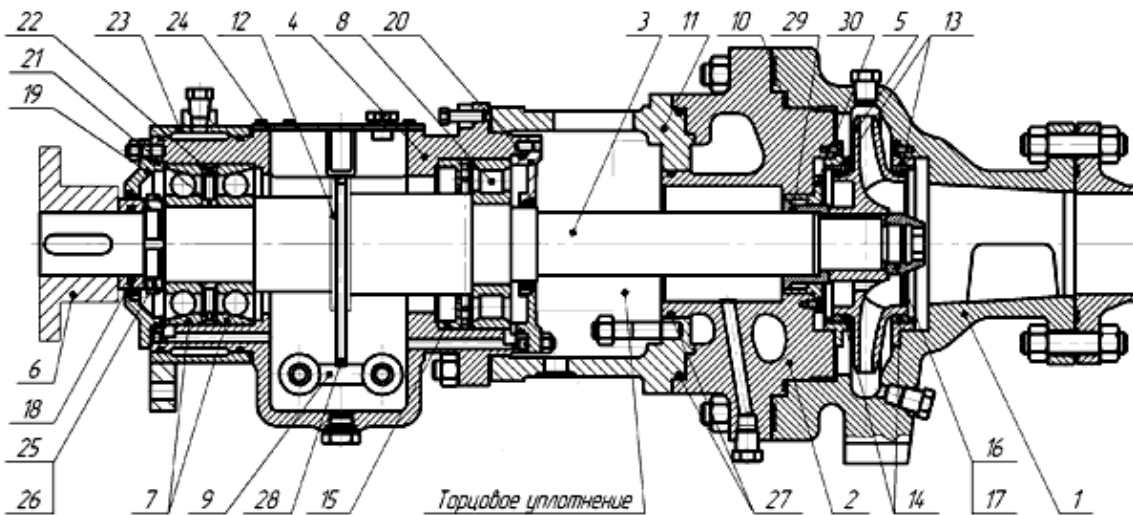


Джерело: <https://stigmash.ru/>

Рисунок 1.1 – Загальний вид насоса типу НК

Насоси НК являють собою конструкцію, що має по одному або по два вала, які розташовуються відповідно спереду або з боку консолі. Для перекачування невеликого обсягу нафтової та іншої рідини використовують насоси з одним валом. Але якщо обсяг рідини перевищує певні показники, то застосовують насос з двома валами, який здатний перекачувати більший об'єм.

Основною конструктивною особливістю насосу є наявність спеціальної компенсаційної камери, що дозволяє уникнути протікання, які можуть виникати тих випадках, коли значення напору рідини, створюваного насосом, перевищує нормативні показники.



1-корпус насоса; 2-крышка насоса; 3-вал; 4-корпус подшипников; 5-колесо рабочее; 6-муфта; 7-подшипники радиально-упорные; 8-подшипник радиальный; 9-холодильник; 10-прокладка спирально-навитая; 11-проставок; 12-кольцо; 13-кольца уплотняющие корпуса и крышки; 14-кольца уплотняющие колеса; 15-штулка; 16-гайка; 17-шайба; 18-штулка распорная; 19, 20-крышки корпуса подшипников; 21, 22-шайбы комплектующие; 23-рубашка; 24-крышка; 25-гайка; 26-шайба; 27-кольца уплотнительные; 28-кольцо маслоразбрызгивающее; 29-гильза; 30-грундбукса.

Джерело: <https://sumnt.com/>

Рисунок 1.2 – Схема консольного насосу

Захист від внутрішніх та зовнішніх протікань через корпус пристрою забезпечується переднім та заднім ущільнювальним елементами. В конструкції таких консольних насосів також є змінна захисна втулка. Її використання дозволяє знизити зношування валу, на якому фіксується робоче колесо пристрою, частиною якого є направляючий апарат.

Робоче колесо консольного насоса увляє собою барабан, що складається з двох дисків і перегородок, які розташованих під певним кутом. Барабан поміщений в порожнину і приводиться в обертання за допомогою вала, підшипниковий вузол якого захищений від рідини всередині порожнини. Таким чином барабан (ротор) розташовується консольно на валу всередині корпусу насоса. Порожнина в якому розташоване робоче колесо насоса має два отвори - одне з протилежного боку від вала

(в центрі, в районі осі вала), а друге на колу корпусу. Перший отвір служить для підведення робочої рідини до робочого колеса консольного насоса, другий – для відводу рідини під тиском.

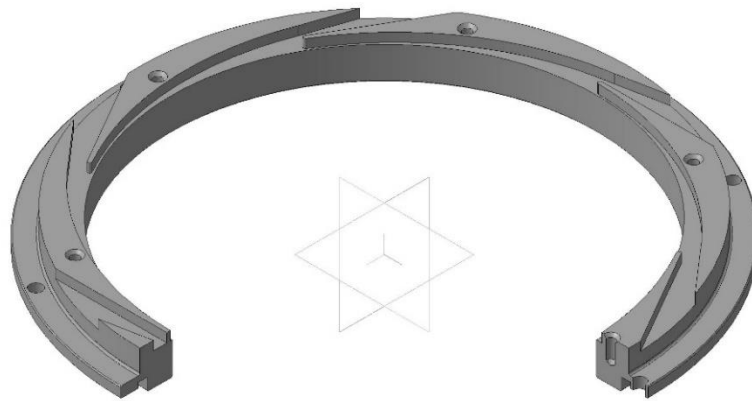
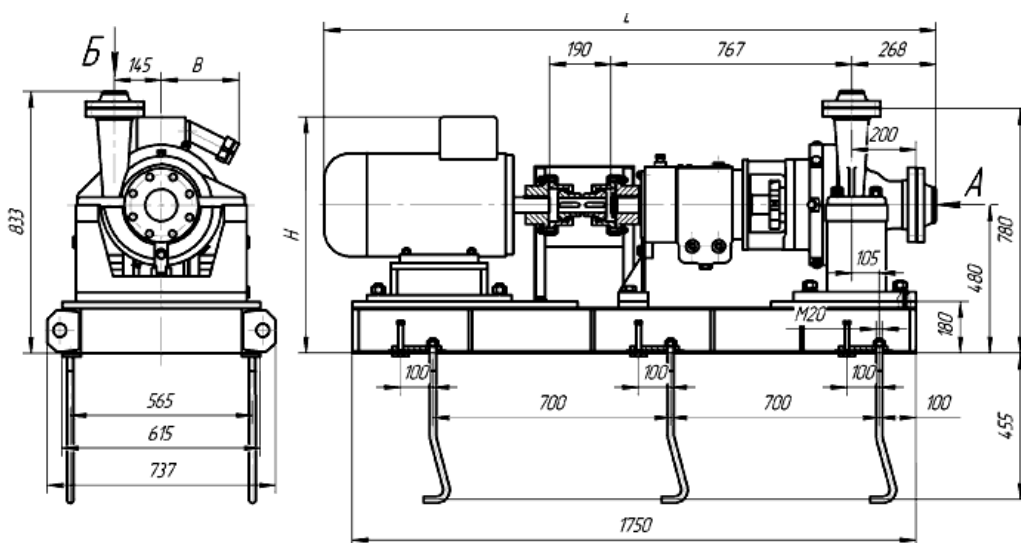


Рисунок 1.3 – 3D модель направляючого апарату насоса

Тиск рідини виникає в результаті обертання робочого колеса і виникає внаслідок цього центроспрямувального прискорення в рідині, що обертається перегородками робочого колеса – лопостями консольного насоса.



Джерело: <https://sumnt.com/>

Рисунок 1.4 – Габаритні розміри насосу НК 16/70

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики насосу НК16/70

Характеристика	Показник
Подача, м ³ /год	16
Напор, м	70
Частота обертання, об/хв	2950
Мощність двигателя, кВт	5,5/7,5
Кпд, %	70
Габарити, мм	1750x615x725
Маса без двигуна, кг	350
Маса насосу, кг	750

Деталь направляючий апарат - це тіло обертання з відношенням довжини до діаметру $l/d < 1$. Він є частиною вузла «корпус насосу», та частиною робочого колеса.

Габаритні розміри деталі: $\varnothing 295 \times 23$ мм, маса – 2,58 кг, матеріал – Сталь 20Х13

Направляючий апарат - кільце, що охоплює з невеликим проміжком робоче колесо, що складається з двох дисків з лопатками, загнутими в бік, протилежний напрямку лопаток робочого колеса.

Направляючий апарат призначений для зменшення швидкості рідини, що виходить з робочого колеса. При цьому процесі кінетична енергія потоку частково переходить в енергію тиску: тиск на виході з направляючого апарату завжди більше, ніж при вході в нього.

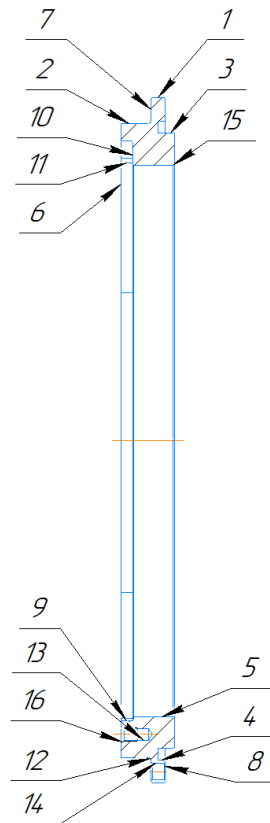


Рисунок 1.5 – Поверхні деталі

Розглянемо функціональне призначення поверхонь деталі, на рисунку 1.5 зображено ескіз деталі з нумерацією поверхонь, які заносимо у таблицю 1.2

Таблиця 1.2 – Поверхні деталі

№	Назва поверхні	Кількість	Точність	Якість	Вид поверхні
1	2	3	4	5	6
	Зовнішні циліндри				
1	∅295	1	h14	6.3	Базова
2	∅273	1	h11	6.3	Базова
3	∅265	1	f7	1.6	Базова
	Внутрішні циліндри				
4	∅275	1	H9	6.3	Базова
5	∅237	1	H14	6.3	Базова

Продовження таблиці 1.2

1	2	3	4	5	6
	Торці				
6	23	2	h11	6.3	Виконавча
7	13	1	h12	6.3	Виконавча
8	4	1	h12	3.2	Базова
	Інші				
9	Канал	6			Виконавча
10	Дно каналу	6	h12	3.2	Виконавча
11	Бокові поверхні каналу	12	h14	3.2	Виконавча
12	Радіус R1	6	h14	3.2	Вільна
13	Різьбові отвори	6	h14	3.2	Базова
14	Отвори $\varnothing 7$	6	h14	6.3	Базова
15	Фаски $0,5 \times 45^\circ$	18	h14	6.3	Вільна
16	Фаски $1 \times 45^\circ$	6	h14	6.3	Вільна

Поверхні 1 та 2 служать для базування направляючого апарату в корпусі насосу у осьовому напрямку. Поверхня 3 використовуються у базуванні направляючого апарату в радіальному напрямку. Поверхні 4, 5 та 8 контактують із кришкою насосу, та використовуються для базування вузла. Канали 9 та їх поверхні 10 та 11, а також поверхня 23 є виконавчими, так як апарат завдяки ним виконує своє службове призначення, та взаємодіє із робочим середовищем. Отвори 13 та 14 служать для закріплення направляючого апарату до робочого колеса. Поверхні 12, 15 та 16 - призначені для підвищення технологічності деталі та є вільними.

1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Розглянута деталь «Направляючий апарат» являє собою тіло обертання із відношенням довжини l до діаметру d – $\frac{l}{d} = \frac{23}{295} = 0.077 < 1$, маса деталі – 2,58 кг.

Технічні вимоги на виготовлення виробу або складальної одиниці характеризують основні параметри їх якості, що перевіряються при остаточному контролі або випробуваннях. Тому важливо правильно визначити технічні вимоги деталі.

Виконавши аналіз креслення деталі, робимо наступні висновки: Креслення дає повне уявлення про конфігурацію, розміри, точності форми всіх поверхонь деталі, матеріал та його властивості, і цілком відповідає прийнятим стандартам на оформлення конструкторської документації, і креслень (ГОСТ 2.109, ГОСТ 2.305, ГОСТ 2.307). Наявних на кресленні видів, розрізів, проекцій та виносних елементів достатньо для розуміння загального вигляду виробу.

На кресленні присутні технічні вимоги до деталі, згідно з якими:

1) *Розмір забезпечити інструментов – ця вимога визначає, що вказані розміри, а саме розмір каналу, повинен бути забезпечений діаметром фрези.

2) Невказаний розмір фасок 0,5x45 визначає, що всі неказані на кресленні фаски повинні бути виконані з даним розміром.

3) Невказані граничні відхилення розмірів: H14 , h14 , \pm IT14/2. Розміри з цим квалитетом не вимагають точної обробки. Для досягнення цих розмірів не потрібно виконувати чистову операцію, і в основному, дані розміри обробляються на чорновій операції, що підвищує технологічність деталі, зменшує час обробки та зменшує знос інструменту.

4) Твердість HB 126...197 - визначає, що деталь має мати твердість в діапазоні 126...197 по Брінелю. Необхідна твердість досягається відпалом заготовки після заготівельної операції, що необхідно для зменшення напруг металу та підвищення оброблюваності заготовки.

5) Матеріал заміник: 12X13, 14X17H2 – данною вимогою зазначено, що матеріал деталі 20X13 може бути замінений матеріалами замінниками, у випадку, якщо його нема на виробництві, але є його зазначені аналоги, які відповідають умовам експлуатації деталі, та не вплинуть на її функціональність.

Проаналізуємо матеріал деталі – сталь 20X13.

Сталь 20X13 є корозійно-стійкою жароміцною сталлю, вона застосовується для виробів, які піддаються впливу слабоагресивних середовищ (в атмосферних умовах, крім морських, водних розчинів, солей, органічних кислот при кімнатній температурі, розчинів азотної кислоти слабкої та середньої концентрації, при помірних температурах і т. д.), для випадків, коли виробам потрібно мати досить високу міцність і одночасно достатній запас пластичності та ударної в'язкості. Також сталь 20X13 застосовують в якості жароміцного матеріалу при температурах до 450-550 ° С і в якості жаростійкого - до 700 ° С.

Сталь 20X13 має достатньо хорошу технологічність при гарячій пластичній деформації. Для деформації рекомендовано наступні інтервали початок 1100 ° С, кінець 875-950 ° С, нагрівання під прокатку і ковку проводять повільно до 780 ° С, після деформації також слід застосовувати повільне охолодження. Вона цілком задовольняє технічним умовам деталі, та може використовуватись для її виготовлення та використання по призначенню. (таб. 1.3-1.5)

Таблиця 1.3 – Хімічний склад сталі 20X13 ГОСТ 25054-81, у відсотках

C	Cr	Fe	Mn	P	S	Si
0,16-0,25	12-14,0	Осн.	≤0,8	≤0,030	≤0,025	≤0,8

Таблиця 1.4 – Фізичні властивості сталі 20X13 ГОСТ 25054-81

T, Град	E 10⁻⁵, МПа	λ, Вт/(м·град)	R, кг/м ³	C, Дж/(кг·град)	R 10⁹, Ом·м
20	2.18	23	7670	–	588

Таблиця 1.5 – Механічні властивості сталі 20X13 ГОСТ 25054-81

σ_b, МПа	σ_T, МПа	σ₅, %	Ψ, %
630	400	14	40

Сталь 20Х13 має не дуже задовільну оброблюваність, але її вибір передумовлений середою використання деталі та умовами її експлуатації.

Розглянемо відповідність розмірів та допусків зображених на кресленні. (рисунок 1.5)

На кресленні зазначені поверхні підвищеної точності, а саме: діаметри $\varnothing 265f7$, $\varnothing 273h11$, $\varnothing 275H9$ та лінійні розміри $23h11$, $13h12$ та $4h12$. Підвищена точність зумовлена їх призначенням. Дані розміри є базовими або виконавчими. Інші поверхні звичайної якості, та відповідають 14 квалітету точності. Шорсткість поверхонь, що проставлена на кресленні, відповідає квалітетам поверхонь деталі та їх призначенню. Зазначена шорсткість отримується у процесі механічної обробки деталі, та не потребує додаткових операцій.

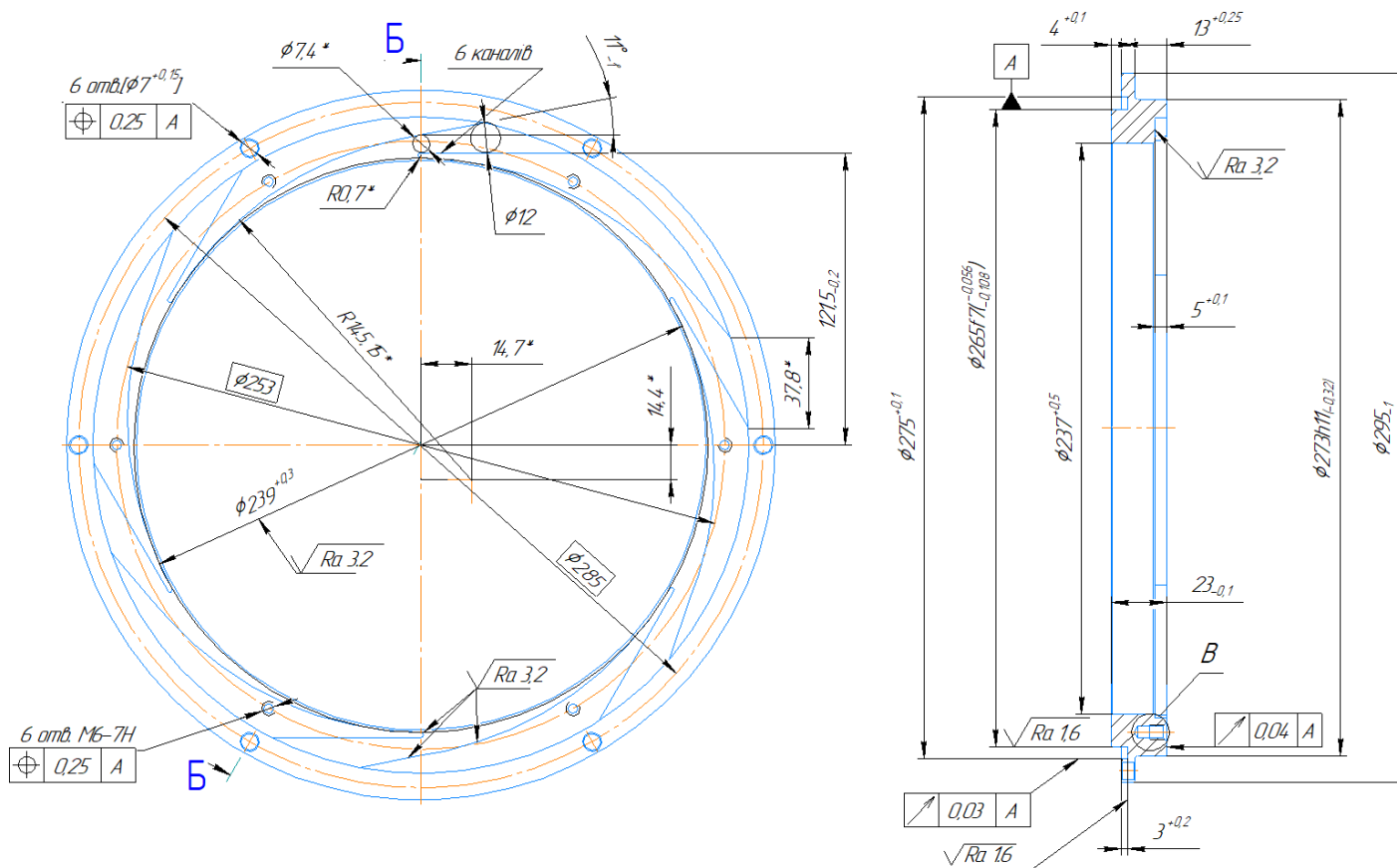


Рисунок 1.6 – Ескіз деталі

Проаналізуємо та розшифруємо допуски форми та розташування, що зображені на кресленні:

↗	0,04	A
---	------	---

Допуск торцевого биття відносно бази А дорівнює 0,04мм.

↗	0,03	A
---	------	---

Допуск торцевого биття відносно бази А дорівнює 0,03мм.

⊕	0,25	A
---	------	---

Позиційний допуск відносно бази А дорівнює 0,25мм.

Всі необхідні допуски форми та розташування зображені на кресленні конструктором.

При недотриманні допусків можуть виникнути проблеми при збиранні вузла, в якому використовується деталь, що в свою чергу призведе до неможливості використання деталі та вузла по призначенню.

1.3 Характеристика заданого типу виробництва та форми його організації

Для визначення типу виробництва табличним методом використовується річний обсяг випуску та маса деталі. Виходячи з цього, із річною програмою випуску $N_p = 2000$ шт та масі деталі 2,58 кг тип виробництва відповідає дрібносерійному.

Серійне виробництво - виробництво, при якому виготовлення виробів проводиться партіями або серіями, які складаються з однойменних та однотипних за конструкцією і розмірами виробів, запущених у виробництво одноразово.

В залежності від кількості виробів у серії, їх характеру, трудомісткості і частоти повторюваності серій, протягом року розрізняють виробництва – дрібносерійне, середньосерійне і великосерійне.

Дрібносерійний тип виробництва характеризується обмеженою номенклатурою виробів, виготовлених періодично повторюваними партіями і порівняно великим обсягом випуску. Коефіцієнт закріплення операцій 20-40.

Використовується універсальне обладнання, а також, широко використовуються верстати з ЧПК та обробні центри.

У якості вихідних заготовок використовується гарячий і холодний прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, кування і точні штампування.

Кваліфікація робітників - середня, вона вище, ніж в масовому виробництві, але нижче, ніж в одиничному. Поряд з робітниками високої кваліфікації, які працюють на складних універсальних верстатах, і налагоджують, використовуються робітники-оператори, що працюють на настроєних верстатах.

Технологічна документація та технічне нормування докладно розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації та дослідно-статистичного нормування найпростіших заготовок.

Застосований ріжучий інструмент - універсальний і спеціальний.

Вимірювальний інструмент - калібри, спеціальний вимірювальний інструмент.

Верстатний парк повинен бути спеціалізований в такій мірі, щоб був можливий перехід від виробництва однієї серії деталей до виробництва іншої, яка кілька відрізняється від першого в конструктивному відношенні. Повинні застосовуватися спеціалізовані і спеціальні пристосування, спеціалізований і спеціальний різальний інструмент і вимірювальний інструмент у вигляді граничних калібрів і шаблонів, які забезпечують взаємозамінність оброблених деталей. В якості спеціалізованих пристроїв (або інструментів) можуть використовуватися нормалізовані конструкції, пристосовані для даної операції.

Розрахункову кількість деталей у партії розраховуємо за формулою:

$$N = \frac{N \cdot a}{259} \quad (1.1)$$

де $a = 24$ дні – періодичність запуску деталей у виготовлення [1]

$$N_{\text{парт.р}} = \frac{2000 \cdot 24}{259} = 185 \text{ шт.}$$

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Підвищення технологічності конструкції дозволяє знизити трудомісткість та собівартість її виробництва без збитків для службового призначення.

Виходячи з призначення деталі, ми не можемо спростити елементи конструкції, так як це призведе до неможливості використання деталі за призначенням.

Якісна оцінка технологічності конструкції деталі:

- більшість оброблюваних поверхонь деталі мають оптимальні ступінь точності і шорсткість;
- для отримання всіх поверхонь достатньо застосування стандартних ріжучих інструментів;
- контур деталі має просту конфігурацію, що забезпечує досить вільний доступ ріжучого інструменту;

Мінімальні значення квалітету точності мають канавка d265f7 та 6 отворів з різьбленням М6-7Н, що відповідає 7 –му квалітету точності, а мінімальне значення шорсткості Ra1,6. Зазначені параметри цілком можна забезпечити на верстатах з нормальною точністю.

Для фрезерно сверлильної операції при серійному виробництві буде доцільно використати спеціальний верстатний пристрій, що дозволить зменшити похибку базування та час на закріплення деталі.

Виходячи з функціонального призначення деталі і аналізу технічних вимог, та обраного матеріалу можна зробити наступні висновки: призначені конструктором розмірна і геометрична точність забезпечать нормальну роботу механізмів, а використовуємий матеріал деталі цілком задовольняє необхідним вимогам.

1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу, що використовувався для виробництва деталі на підприємстві. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає

загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу. Технологічний процес виготовлення деталі та обладнання операції наведено в таблиці 1.6, а нижче розглянемо його більш детально.

Таблиця 1.6 – Базовий технологічний процес

№ операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	-
010	Термічна	Піч термічна
015	Токарна з ЧПК	Верстат 16A20Ф3
020	Токарна з ЧПК	Верстат 16A20Ф3
025	Токарна з ЧПК	Верстат 16A20Ф3
030	Контроль ВТК	Стіл ВТК
035	Токарна з ЧПК	Верстат 16A20Ф3
040	Контроль ВТК	Стіл ВТК
045	Фрезерна з ЧПК	ГФ2171Ф3
050	Слюсарна	Верстак слюсарний
055	Контроль ВТК	Стіл ВТК

Розглянемо технологічний процес більш детально.

005 Заготівельна

На даній операції виконується відрізка заготовки

010 Термічна

На даній операції виконується відпуск заготовки, та досягається критерій твердості НВ 126...197

015 Токарна з ЧПК

На даній операції виконується чорнова обдирка $\varnothing 297$ мм та $\varnothing 275$ мм, при цьому витримуються розміри L13 мм та L26 мм та виконується контроль деталі на робочому місці згідно креслення.

Обладнання - верстат токарно-гвинторізний 16A20Ф3

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

020 Токарна з ЧПК

На операції виконується обтачування $\varnothing 268$ мм витримуючи лінійний розмір L4, розсверлювання та розтачування $\varnothing 235$ мм, витримуючи розміри L24 мм. Контроль деталі на робочому місці.

Обладнання – верстат токарно-гвинторізний 16А20Ф3

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

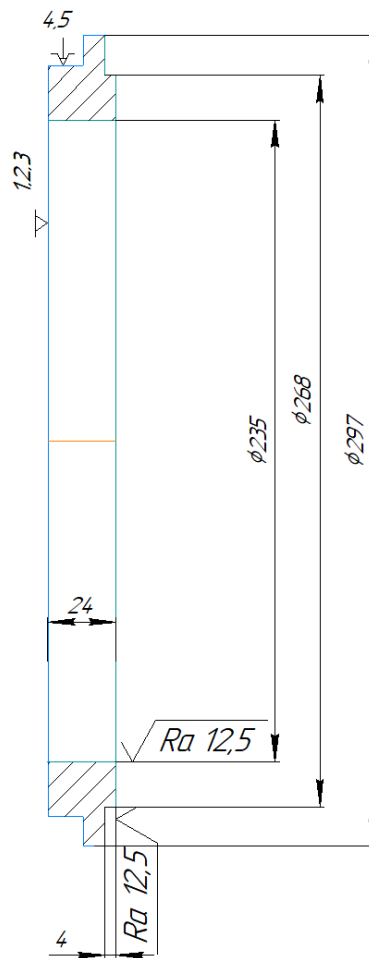


Рисунок 1.7 – ескіз операції 020

025 Токарна з ЧПК

На цій операції виконується чистове точіння поверхонь $\varnothing 295$, $\varnothing 273h11$ витримуючи розміри 13 мм, 23,5 мм та критерій шорсткості $Ra 6.3$.

Обладнання - верстат токарно-гвинторізний 16А20Ф3

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

030 Контроль ВТК

На операції проводиться контроль отриманих розмірів на столі ВТК.

035 Токарна з ЧПК

Виконується остаточна обробка поверхонь $\varnothing 275$ мм, канавки $\varnothing 265f7$ з шорсткістю Ra 1.6 та розточування отвору $\varnothing 237$, витримуючи розміри 3 мм, 4 мм та 23 мм.

Обладнання – верстат токарно-гвинторізний 16A20Ф3.

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

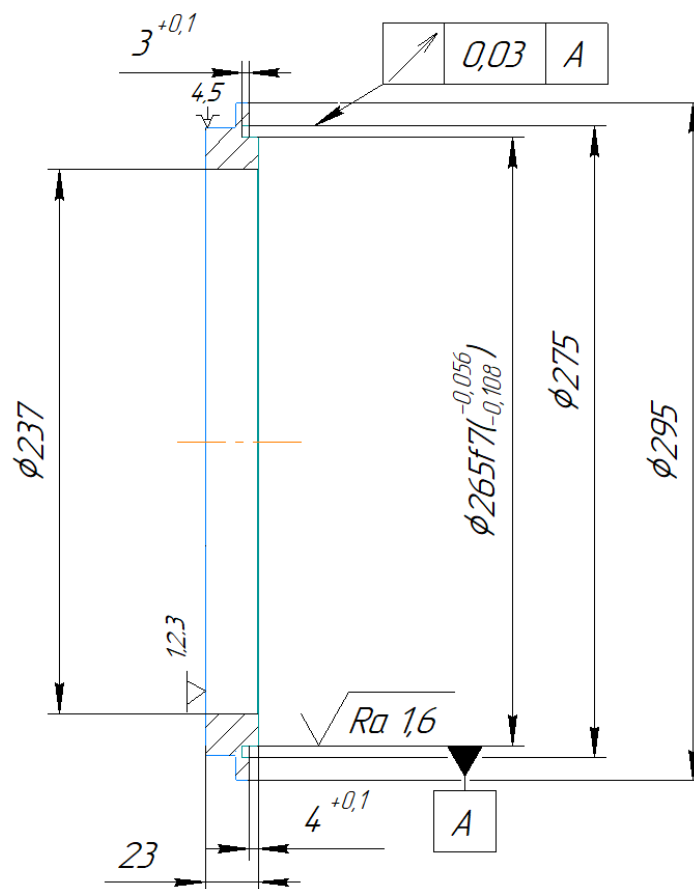


Рисунок 1.8 – ескіз операції 035

040 Контроль ВТК

Виконується контроль розмірів та шорсткостей отриманих на попередній операції, контролюється канавка $\varnothing 265f7$ та зовнішній вигляд деталі. Допуск торцевого биття контролюється індикатором годинникового типу ИЧ10 ГОСТ 577-68.

045 Фрезерна з ЧПК

На даній операції фрезеруються 6 каналів, сверляться 6 отворів $\varnothing 5$ мм та $\varnothing 7$ мм, нарізається різь М6-7Н.

Обладнання – верстат фрезерний ГФ2171Ф3

Пристрій – трьохкулачковий патрон.

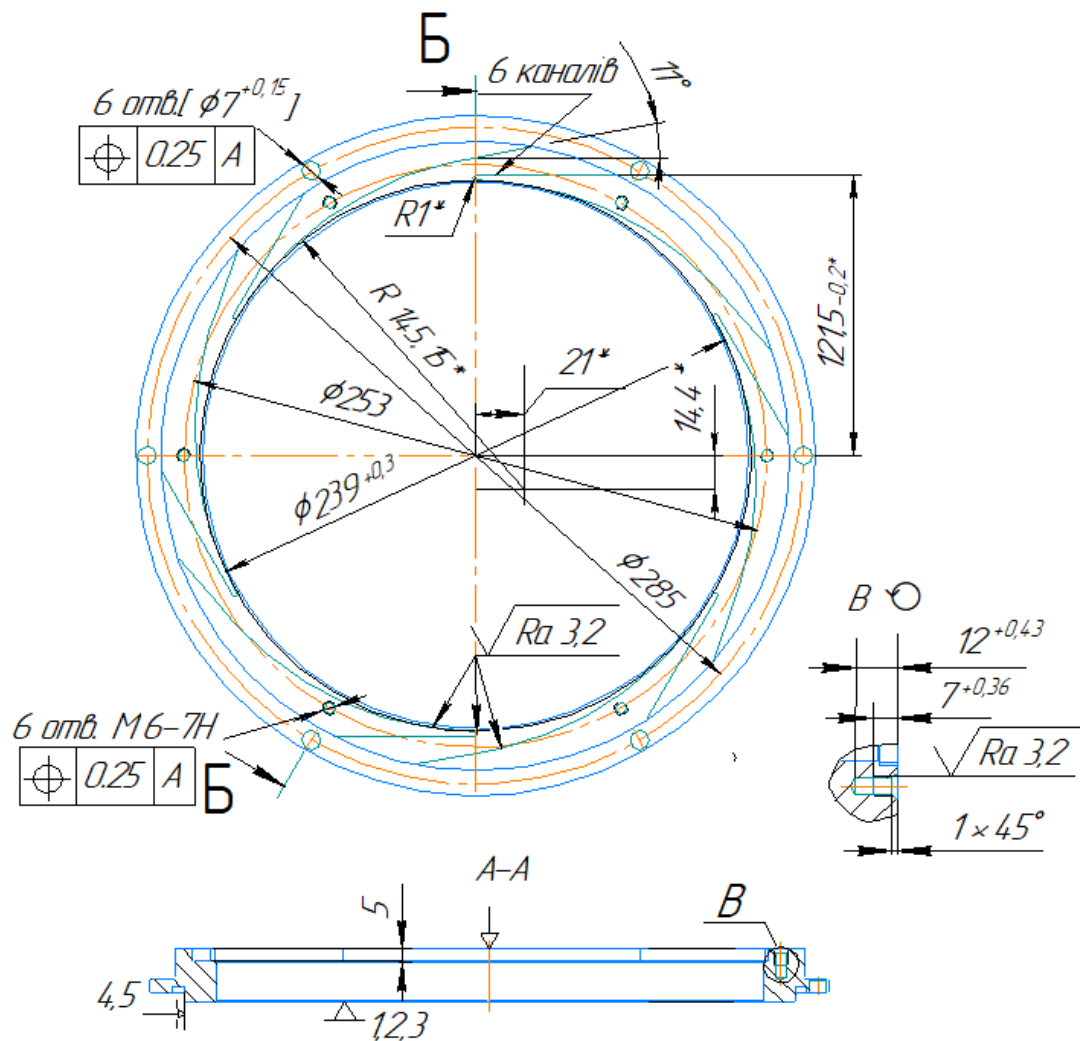


Рисунок 1.9 – ескіз операції 045

050 Слюсарна

Виконується зняття завусенців та фасок зі зворотньої сторони отворів $\varnothing 7$ мм.

055 Контроль ВТК

Контроль отриманих розмірів на операції 045, остаточний контроль отриманої деталі згідно креслення.

1.6 Висновки та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

У базовому технологічному процесі є ряд недоліків. Згідно ГОСТ3.1129-93 для заповнення карт технологічного процесу вказується повна назва операції. На операціях базового процесу не вказані пристрої та устаткування які використовуються на операціях. Відсутні номери цеху, дільниць та робочих місць, невказані коди операцій, обладнання, пристроїв та інструментів. Взагалі про заготовку у базовому технологічному процесі окрім виду та профілю нічого не вказано. Відсутні режими різання та карти ескізів. Пристрої та устаткування – застарілі, неекономічні та низькопродуктивні. Деякі верстати можна замінити на верстати з ЧПК, або більш продуктивні сучасні верстати. Замість ручного закріплення заготовки, доцільніше використовувати механізоване. Щодо базування деталі, то можна сказати, що деталь має постійні базові поверхні – торці та зовнішні поверхні, тому може оброблятися у стандартних пристроях, без застосування спеціальних.

Отже, в ході виконання дипломного проекту потрібно виконати наступні завдання:

- Обрати заготовку та метод її отримання, який буде відповідати типу виробництва та буде максимально економічно вигідним.
- Оптимізувати технологічний процес виготовлення деталі, обрати доцільний маршрут обробки деталі;
- Правильно оформити карти технологічного процесу;
- Замінити застаріле обладнання та ріжучий інструмент;
- Розрахувати режими різання та норми часу;
- Згідно типу виробництва розробити верстатний пристрій, який дозволить зменшити похибку базування деталі, підвищити продуктивність роботи та зменшити час на встановлення та зняття заготовки.

РОЗДІЛ 2

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання раціонального технологічного маршруту виготовлення деталі.

Вихідними даними для виконання цього етапу є знання про типові маршрути обробки поверхонь, або груп поверхонь.

У багатьох випадках укрупнені операції включають переходи, що не можна виконати за одного установа. Отже, необхідно прийняти рішення про принцип подальшого проектування – диференціації або концентрації побудови операцій.

– При проектуванні маршрутного технологічного процесу необхідно врахувати:

– технологічні процеси рекомендується проектувати згідно з принципом поетапності, тобто необхідно забезпечити виконання чорнових, а потім чистових способів обробки;

– впершу чергу обробляють бази для наступних операцій потім обробляють поверхні з найбільшим припуском і напуском, так як використовуються форсовані режими різання, а отже і будуть великі сили різання;

– обробка поверхонь, в яких можуть бути виявлені дефекти заготовки;

– найбільш точні поверхні обробляються в останню чергу.

Детально розглянутий в пункті 1.5 базовий технологічний процес виготовлення деталі «Направляючий апарат» в плані технологічного маршруту виготовлення є раціональним. Об'єднання токарних операцій не є можливим, так як закріплення деталі на токарних операціях виконується різними способами:

– у операціях 015 Токарна з ЧПК та 025 Токарна з ЧПК на розжим

– у операціях 020 Токарна з ЧПК та 035 Токарна з ЧПК на зажим

Ми не можемо змінити хід обробки деталі, та поєднати дані установи (чорновий 015 та чистовий 025, та чорновий 020 та чистовий 035) так як необхідно забезпечити

принцип поетапності обробки. Тому приймаємо базовий маршрут обробки деталі як оптимальний для даної деталі.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Метод отримання заготовки має істотний вплив на техніко-економічні показники технологічного процесу виготовлення деталі. Правильний її вибір дозволяє знизити трудомісткість механічної обробки, підвищити коефіцієнт використання матеріалу та знизити матеріаломісткість конструкції.

На вибір методу отримання заготовки впливають матеріал деталі, його призначення і технічні вимоги до виготовлення а також обсяг випуску, конфігурація, форма поверхонь і розміри.

Вимоги, що пред'являються до заготовок, які обробляються на металорізальних верстатах:

Заготовка повинна бути максимально наближена формою та розмірами до деталі, тим самим знижуючи собівартість деталі, та коефіцієнт використання матеріалу.

Чорнові поверхні, що використовуються на першій механічній операції повинні бути чистими і рівними, без ливарних ухилів, штрихів, тощо. Вид заготовки встановлюється в результаті аналізу креслення деталі та її матеріалу і технічних вимог до виготовлення, габаритів і маси, об'єму випуску, і на основі техніко-економічного порівняння кількох варіантів отримання заготовки.

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати все вищезгадане, тому що між ними існує тісний взаємозв'язок.

Розрахунки виконуємо за літературою [1]. У базовому варіанті заготовку отримували методом штамповки на КГШП.

В якості двох варіантів способу отримання заготовки приймаються:

- 1 варіант - кування на молотах;
- 2 варіант - штампування на КГШП

Вартість заготовок визначається за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{отх}}}{1000} \quad (2.1)$$

- де C_i - базова вартість однієї тони заготовок, грн;
 K_T - коефіцієнт, що залежить від класу точності заготовки;
 K_C - коефіцієнт, що залежить від групи складності заготовки;
 K_B - коефіцієнт, що залежить від маси заготовки;
 K_M - коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу;
 K_n - коефіцієнт, що залежить від обсягу виробництва;
 Q - маса заготовки;
 q - маса деталі;
 $S_{\text{отх}}$ - вартість однієї тонни відходів, грн.
Коефіцієнти обираємо за літературою [1].

Для заготівлі, отриманої куванням:

- $C_i = 60000$ грн/т;
- $K_T = 1$ [1];
- $K_C = 1$ [1];
- $K_B = 0.78$ [1];
- $K_M = 1.21$ ([1], с.37);
- $K_n = 1$ ([1], с.38);
- $Q = 5,74$ кг,
- $q = 2,58$ кг,
- $S_{\text{отх}} = 6000$ грн/т.

Вартість заготовки, отриманої куванням на молотах:

$$S_{\text{заг}} = (60 \cdot 5,74 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,21 \cdot 1) - (5,74 - 2,58) \cdot 6 = 306,08 \text{ грн}$$

Для заготовки, отриманої штампуванням:

- $C_i = 380$ грн / т,
- $K_T = 1$ ([1], с.37);

- $K_c = 1$ ([1], с.38);
- $K_B = 0.78$ ([1], с.38);
- $K_M = 1.21$ ([1], с.37);
- $K_{II} = 1$ ([1], с.38);
- $Q = 5,58$ кг.

Вартість заготовки, отриманої штампуванням:

$$S_{\text{заг}} = (60 \cdot 5,36 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,78 \cdot 1,21 \cdot 1) - (5,36 - 2,58) \cdot 6 = 286,84 \text{ грн}$$

Так як вартість заготовки, отриманої штампуванням, менше вартості заготовки, отриманої куванням, то в якості способу отримання заготовки для даної деталі приймаємо штампування.

Використовуючи ГОСТ 7505-89, визначаємо:

- Заготовка зроблена на КГШП, тому клас точності – Т3.
- Група сталі – М1.
- Ступінь точності – С (визначається в залежності від числового значення відношення $\frac{M_3}{M_\phi}$.)

де M_3 – розрахункова маса заготовки.

$$M_3 = M_D \cdot K_P \quad (2.2)$$

де M_D – маса деталі;

$K_P \approx 1.6$ – розрахунковий коефіцієнт

$$M_3 = 2,58 \cdot 1,6 = 4,12 \text{ кг}$$

M_ϕ – маса описуваної фігури.

$$M_{\phi.n} = \frac{\pi D^2}{4} \cdot L \cdot \rho \quad (2.3)$$

$$M_{\phi.1} = \frac{3.14 \cdot 301^2}{4} \cdot 15 \cdot 7,8 = 8,32 \text{ кг}$$

$$M_{\phi.2} = \frac{3.14 \cdot 279^2}{4} \cdot 13 \cdot 7,8 = 6,19 \text{ кг}$$

$$M_{\phi.3} = \frac{3.14 \cdot 231^2}{4} \cdot 28 \cdot 7,8 = 9,14 \text{ кг}$$

$$M_{\phi} = M_{\phi.1} + M_{\phi.2} - M_{\phi.3} \quad (2.4)$$

$$M_{\phi} = 8,32 + 6,19 - 9,14 = 5,36 \text{ кг}$$

Відношення $\frac{M_3}{M_{\phi}} = 0,768$ – отже, ступінь точності С1,

- Конфігурація поверхні рознімання штампа – по повздовжній осі деталі.
- Вихідний індекс – 9. Залежить від маси, марки сталі, ступеня важкості і класу точності деталі.

Додаткові припуски:

- зміщення по поверхні рознімання штампу – 0,3;
- зігнутість і відхилення від плоскості та прямолінійності – 0,5.

Розміри поковки, мм:

діаметр $295 + 2 \cdot (2,5 + 0,3 + 0,5) = 301,6$ мм – приймаємо 301 мм;

діаметр $273 + 2 \cdot (2,5 + 0,3 + 0,5) = 279,6$ мм – приймаємо 279 мм;

діаметр $237 - 2 \cdot (2 + 0,3 + 0,5) = 231,4$ мм – приймаємо 231 мм;

довжина $23 + 2 \cdot (2 + 0,3 + 0,3) = 28,2$ мм – приймаємо 28 мм;

Допустимі відхилення розмірів (таблиця 2.1):

діаметр $301^{+1,8}_{-1,0}$; діаметр $279^{+1,8}_{-1,0}$; діаметр $231^{+1,8}_{-1,0}$; довжина $28^{+1,1}_{-0,5}$

Мп. = 4,12 кг, згідно з розділом 3;

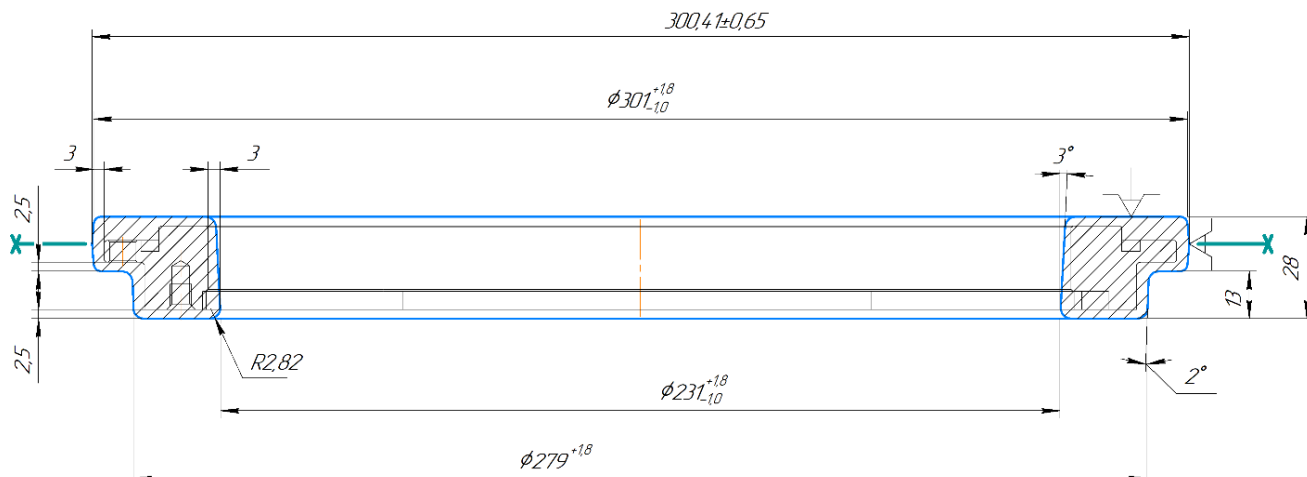


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Таблиця 2.1 – Розміри заготовки

Розмір, мм	Чистота поверхні, мкм	Основний припуск, мм	Розрахунковий розмір, мм	Розмір що приймаємо, мм	Фактичний припуск, мм
φ295	6.3	2.5	301.6	301	6
φ273	6.3	2.5	279.6	279	6
φ237	6.3	2.0	231.4	231	5
L23	6.3	2.0	28.2	28	5

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Припуск на обробку – це шар металу, який підлягає видаленню з поверхні заготовки у процесі обробки необхідної для отримання готової деталі. Розмір припуску визначається різницею між розміром заготовки і розміром деталі по кресленню, припуск задається на бік.

Припуски підрозділяють на загальні, що видаляються протягом всього процесу обробки даної поверхні, та міжопераційні, які видаляються при виконанні окремих операцій. Міжопераційний припуск визначають різницею розмірів, що були отримані на попередніх операціях.

Розрахунок припусків аналітичним методом згідно методу професора В. М. Кована [2] проводиться на поверхню деталі $\emptyset 256f7$ при цьому спосіб отримання заготовки – штампування на КГШП.

Граничні відхилення на задану поверхню складають: $es = -0,052$ мм, $ei = -0,108$ мм. Маршрут обробки на задану поверхню приводимо у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки поверхні

Маршрут	Квалітет точності	Rz	h	ϵ_y	ρ
Заготовка	T4	—	—	—	1029,6
Чорнова	14	200	250	700	61,78
Напівчистова	11	100	100	100	51,48
Чистова	7	50	50	25	41,18

Величина мінімального припуску при обробці зовнішніх і внутрішніх поверхонь (двосторонній припуск) визначаємо за формулою [4]:

$$2Z_{\text{mini}} = 2 \cdot (Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \epsilon_{yi}^2}), \quad (2.5)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей поверхні на попередньому переході (операції), мкм ([4], с.65-67);

h_{i-1} – глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції), мкм ([4], с.65-67);

ρ_{i-1} – сумарні значення просторових відхилень форми на попередньому переході (операції), мкм;

ε_{yi} - похибка установки на виконуваному переході, мкм ([4], табл. 37).

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень форми під час штампування [4]:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2} \quad (2.6)$$

де $\rho_{\text{зм}} = 900$ мкм – величина зміщення верхньої половини штампа відносно нижньої;

$\rho_{\text{кор}} = 500$ мкм – величина короблення;

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{900^2 + 500^2} = 1029,6 \text{ мкм}$$

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень форми по стадіям [4]:

$$\rho = \rho_{\text{заг}} \cdot K_y, \quad (2.7)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення [4]:

- для точіння чорнового $K_y=0,06$;
- для точіння півчистового $K_y = 0,05$;
- для точіння чистового $K_y = 0,04$;

$$\rho_{\text{чор}} = 1029,6 \cdot 0,06 = 61,78 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{н/ч}} = 1029,6 \cdot 0,05 = 51,48 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{ч}} = 1029,6 \cdot 0,04 = 41,18 \text{ мкм}$$

Розрахунок припусків виконуємо згідно рекомендацій, використовуючи програму <prp> Результати розрахунку наведені у додатку Б. Отримана схема припусків наведена на рисунку 2.2.

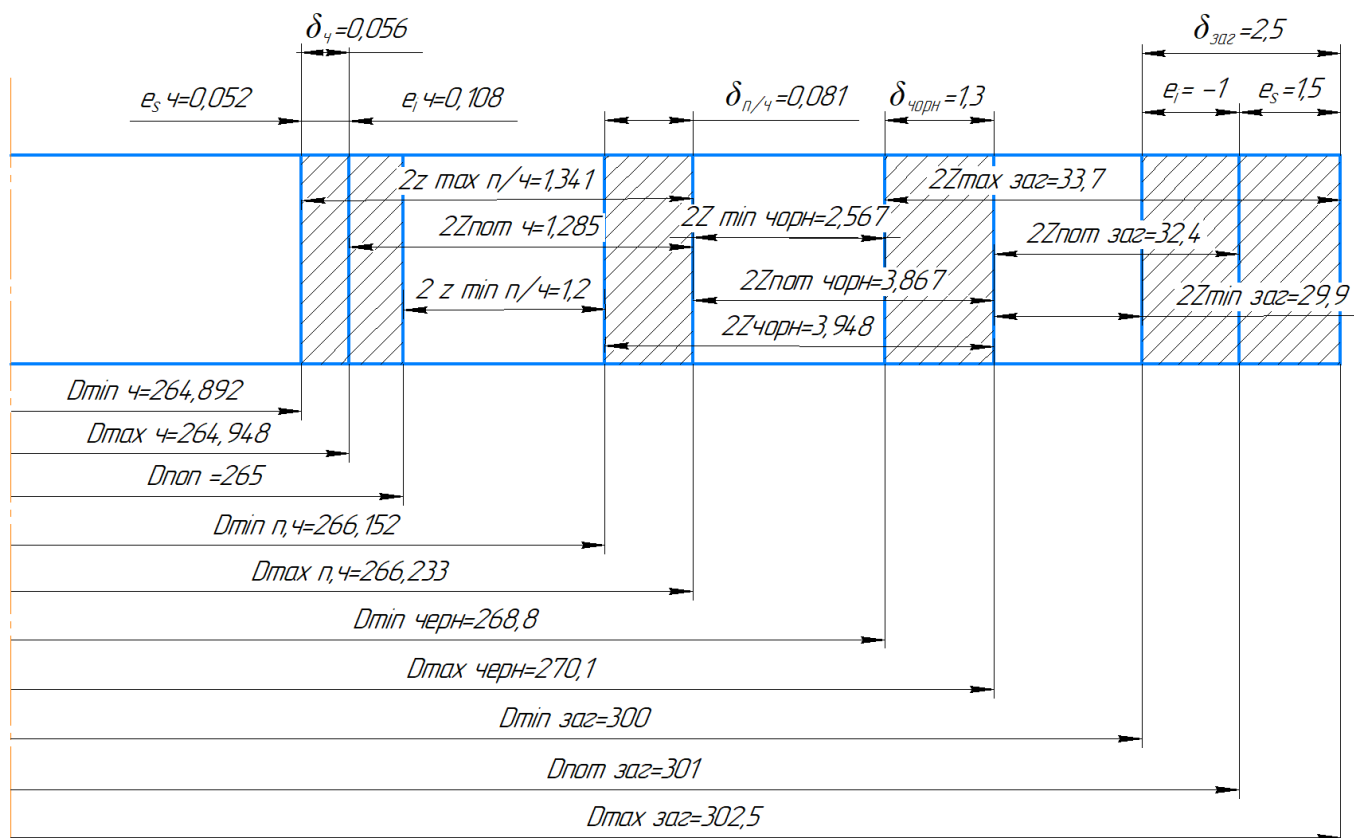


Рисунок 2.2 – Схема припусків на обробку поверхні d_{265f7}

2.4 Аналіз та обґрунтування схем базування і закріплення

Для подальшого розгляду обираємо операції 020 Токарна з ЧПК, 035 Токарна з ЧПК та 045 Фрезерну з ЧПК.

На операції 020 Токарна з ЧПК виконується обтачування $\varnothing 268$ мм витримуючи лінійний розмір L4, розсверлювання та розтачування $\varnothing 235$ мм, витримуючи розміри L24 мм. Оброблювані поверхні зображено на рисунку 2.3.

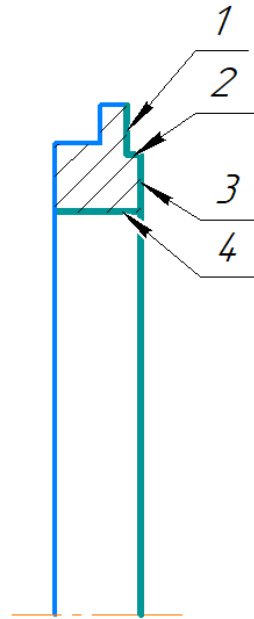


Рисунок 2.3 – Схема обробки на операції 020

Розглянемо способи закріплення та базування заготовки на даній операції більш детально.

Оскільки на даній операції оброблюється внутрішній діаметр $\varnothing 235$ мм, то закріпити деталь можна лише за зовнішні циліндричні поверхні. Такими поверхнями є діаметри $\varnothing 297$ мм та $\varnothing 275$, попередньо оброблені на попередній операції. Більш раціональним, буде закріпити деталь саме за $\varnothing 275$, так як лінійний розмір діаметру $\varnothing 297$ буде оброблюватись, у той час як ніякий розмір $\varnothing 275$ обробці не підлягає. Схему базування та закріплення наведено на рисунку 2.4.

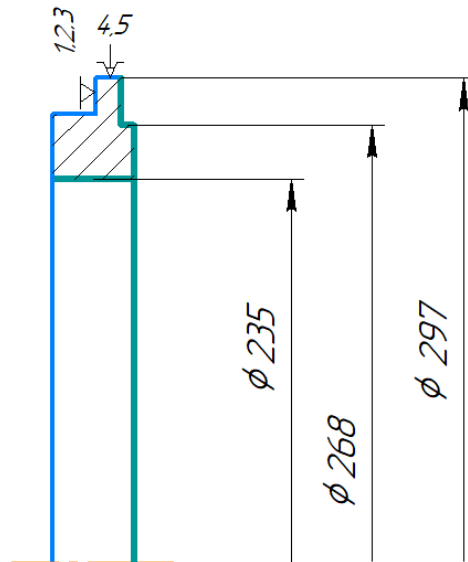


Рисунок 2.4 – альтернативна схема закріплення

Пропонований спосіб закріплення для даної операції зображено на рисунку (рис. 2.5). Заготовка береться на зажим з упором в торець. Торець є установчою базою а зовнішня циліндрична поверхня – подвійною опорною базою.

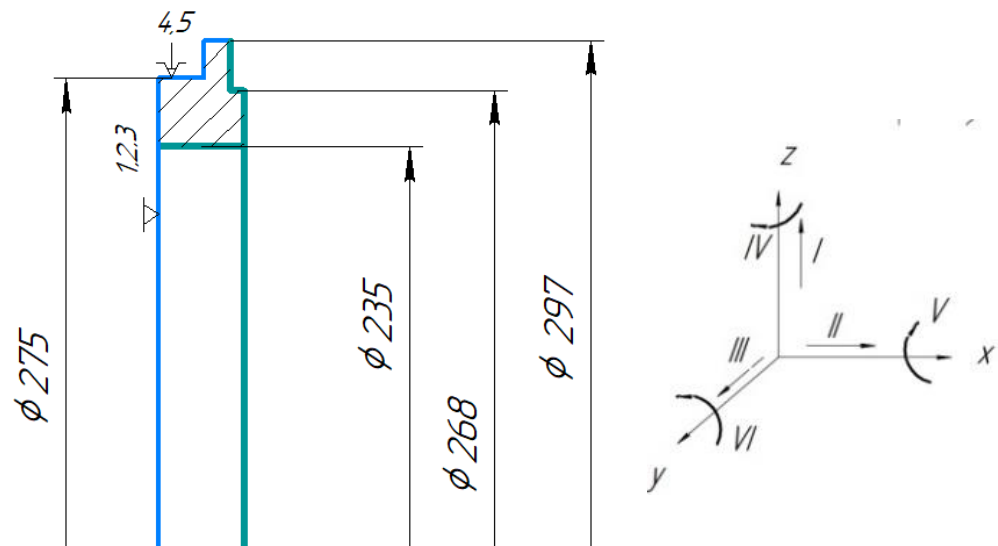


Рисунок 2.5 – схема закріплення на операції 025

Зв'язки баз та матриця зв'язків для операції 020 наведено в в таблиці 2.3 та таблиці 2.4:

Таблиця 2.3 – Зв'язки, забезпечувані базами на операції 035

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.4 – Матриця зв'язків операції 035

	X	Y	Z	
УБ	1	0	0	↔
	0	0	1	○
ПОБ	0	1	1	↔
	0	0	0	○

Наступною проаналізуємо операцію 035 Токарна з ЧПК. На операції 035 будуть остаточно оброблятися наступні поверхні, зображені на рисунку 2.6

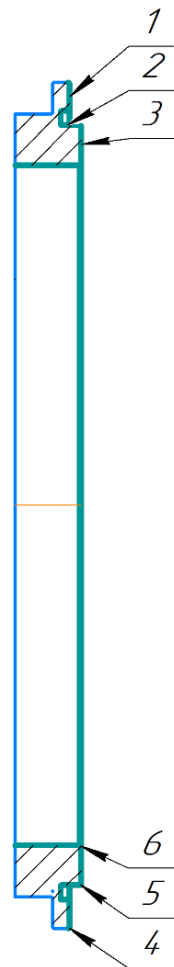


Рисунок 2.6 – Схема обробки на операції 020

Розглянемо можливі схеми базування і закріплення при обробці заготовки.

Найбільш ефективний спосіб закріплення заготовки на операції - закріплення в трьохкулачковому патроні на розжим. На схемі базування (рисунок 2.7) заготовка базується у трьохкулачковому патроні, позбавляється 5-ти ступенів вільності. Установчою базою є торець, заготовка позбавляється 3-х ступенів вільності; подвійною опорною базою зовнішня циліндрична поверхня, яка позбавляє деталь 2-х ступенів вільності. Зв'язки баз та матриця зв'язків для операції 035 наведено в таблиці 2.5 та таблиці 2.6.

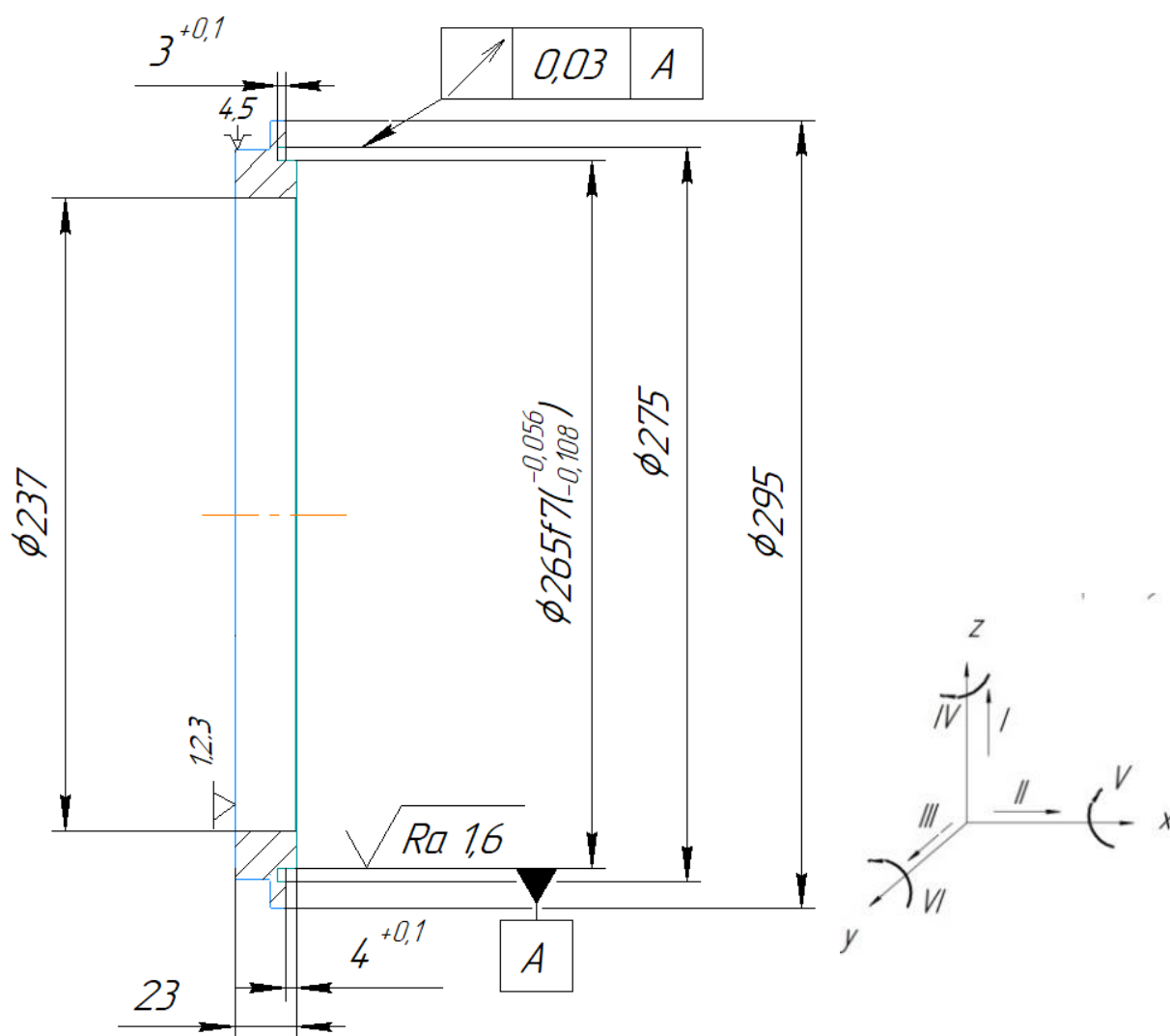


Рисунок 2.7 – Ескіз операції 035

Таблиця 2.5 – Зв'язки, забезпечувані базами.

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.6 – Матриця зв'язків.

УБ	X	Y	Z	
	1	0	0	↔
ПОБ	0	0	1	○
	0	1	1	↔
ПОБ	0	0	0	○
	0	0	0	○

При закріпленні в трикулачковому патроні похибка базування у радіальному напрямі відсутня.

Похибка базування на розмір $l=3$ та $l=4$ мм визначається допуском на розмір $l=23$ мм:

$$\varepsilon_{63,4} = T_{13} = -0,43 < T_{3,4} = +0,52 \text{ мм.}$$

Значення похибки менше значення допуску.

Розглянемо ще один спосіб закріплення заготовки, Зв'язки баз та матриця зв'язків для операції 035 наведено в таблиці 2.7 та таблиці 2.8.

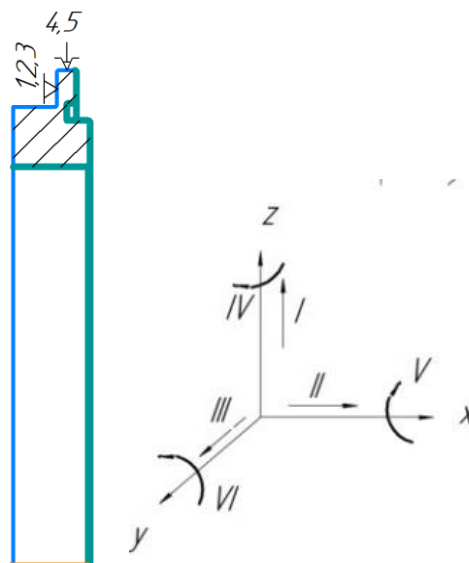


Рисунок 2.8 – Альтернативний спосіб закріплення

Таблиця 2.7 – Зв'язки, забезпечувані базами.

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	II, IV, VI
ПОБ	4,5	III, IV

Таблиця 2.8 – Матриця зв'язків.

УБ	X	Y	Z	
	1	0	0	↔
	0	0	1	○
ПОБ	0	1	1	↔
	0	0	0	○

Похибка базування на розмір $l=3$ та $l=4$ мм визначається допуском на розмір $l=13$ мм:

$$\varepsilon_{63,4} = T_{13} = -0,43 < T_{3,4} = +0,1 \text{ мм.}$$

Значення допуску менше значення похибки.

У порівнянні цих двох способів більш раціонально буде використовувати перший спосіб, так як площа контакту деталі з патроном у першому випадку буде більшою.

Отже обираємо перший спосіб базування та закріплення.

Наступною операцією для обраною для розглядання є операція 45 Фрезерно-свердловальна з ЧПК.

Функцію подвійної опорної бази може виконувати внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 237H14$.

Точність розміщення отворів на окремих складових деталях буде одержуватись завдяки точності позиціонування верстата. Тому для отримання позиційного допуску розташування отворів під болти необхідно точно збазувати та закріпити заготовку на столі верстату. В свою чергу верстат повинен виконати умову одержання даного допуску, тобто його точність повинна відповідати умовам отримання отворів - вимогам креслення, а відповідно конструктора.

Похибку базування заготовки в радіальному напрямі, при способі базування (рисунок 2.9), визначаємо за формулою:

$$\varepsilon_{\delta} = \delta_1 + \delta_2 + 2\Delta, \quad (2.8)$$

де $\delta_1 = 0,5$ мм – допуск на діаметр поверхні $\varnothing 237H14$;

$\delta_2 = 0,072$ мм – допуск на діаметр опори $\varnothing 237h8$;

$\Delta = 0,07$ – мінімальний радіальний зазор для посадки $\varnothing 237H14/h8$.

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5 + 0,072 + 2 \times 0,072 = 0,716 \text{ мм.}$$

Порівнюємо похибку базування у радіальному напрямі з позиційним допуском розташування отворів – $\varepsilon_{\delta} > T_n \Rightarrow 0,716 > 0,25$

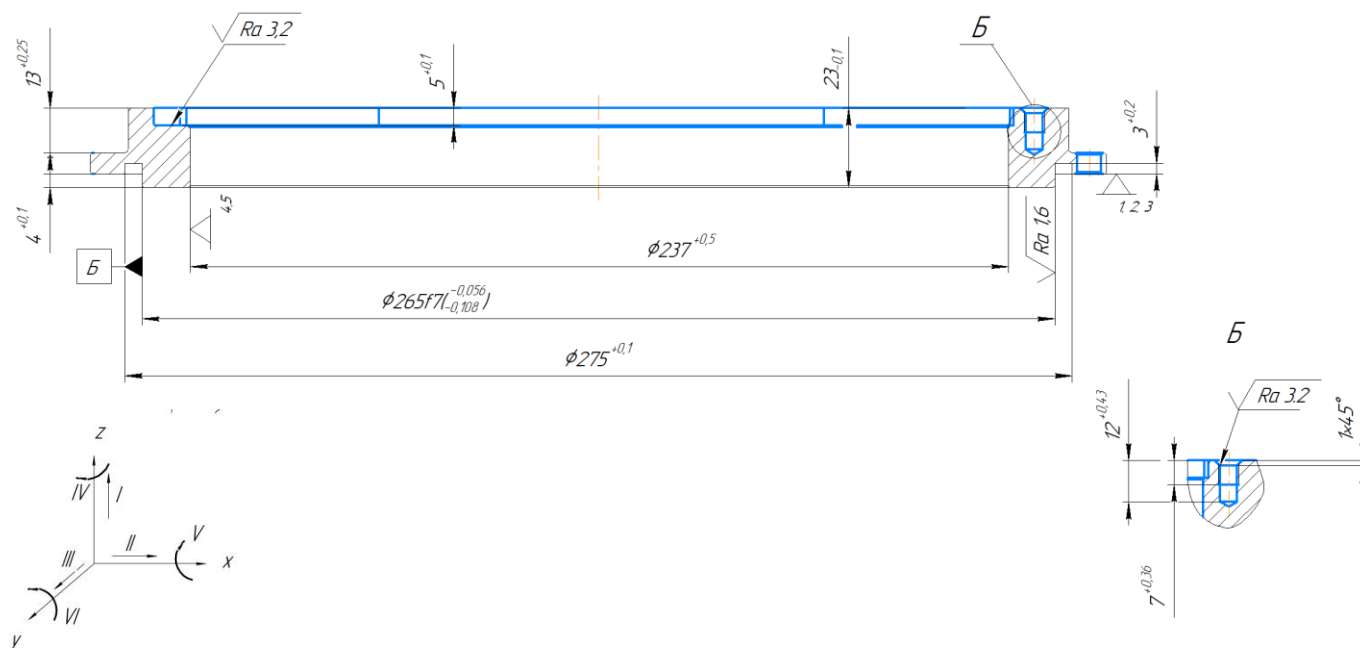


Рисунок 2.9 – Схема базування заготовки за першим способом

Таблиця 2.9 – Зв'язки, забезпечені базами

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	III, IV, V
ПОБ	4,5	I, II

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків.

УБ	X	Y	Z	
	0	0	1	↔
1	1	1	0	○
ПОБ	1	1	0	↔
	0	0	0	○

При даній схемі базування допуск не забезпечується. Розглянемо альтернативну схему базування (рисунок 2.10)

Похибка при другому способі базування:

$$\varepsilon_{\sigma} = 0,052 + 0,052 + 0 = 0,14 \text{ мм,}$$

де $\delta_1 = 0,052$ мм – допуск на $\varnothing 265f7$;

$\delta_2 = 0,052$ мм – допуск на діаметр отвору $\varnothing 265H7$;

$\Delta = O$ – мінімальний радіальний зазор для посадки $\varnothing 265f7/H7$.

Позиційний допуск забезпечити можливо – $\varepsilon_{\sigma} < T_n \Rightarrow 0,14 < 0,25$.

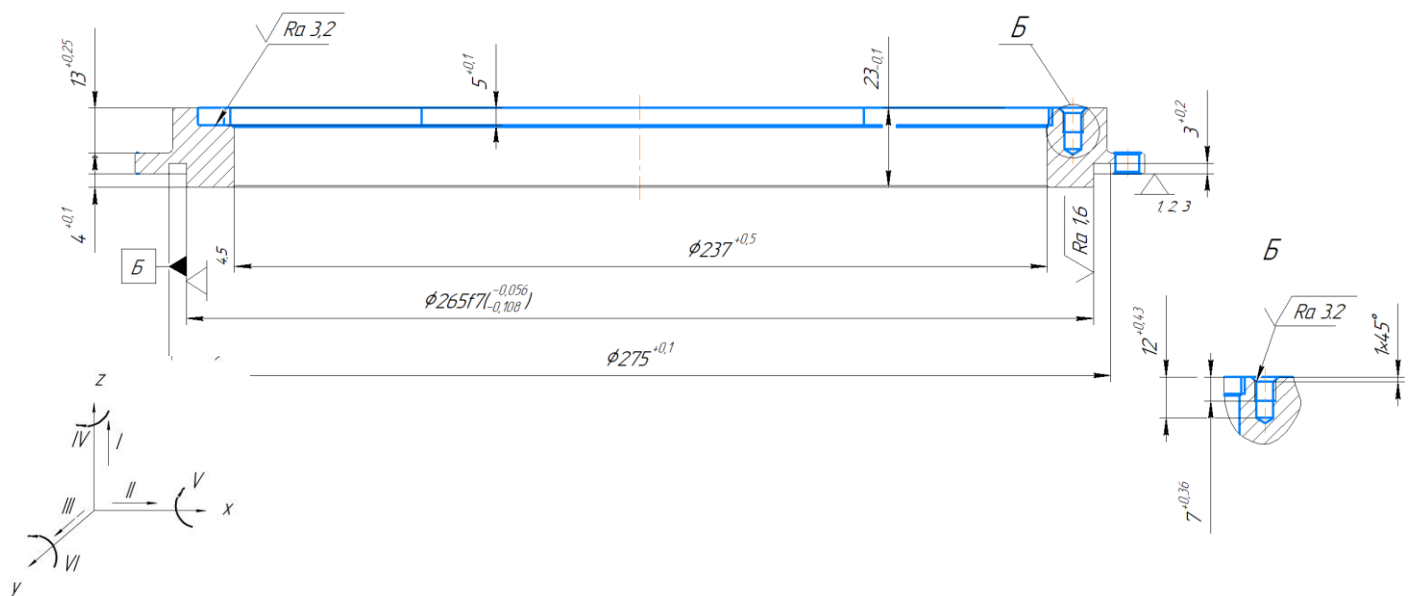


Рисунок 2.10 – Схема базування заготовки за другим способом

Таблиця 2.11 – Зв'язки, забезпечувані базами

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	III, IV, V
ПОБ	4,5	I, II

Таблиця 2.12 – Матриця зв'язків.

	X	Y	Z	
УБ	0	0	1	↔
	1	1	0	○
ПОБ	1	1	0	↔
	0	0	0	○

Порівнюємо похибку з допуском на розмір 1 12 мм:

$$\varepsilon_{\sigma} < T_8 \Rightarrow 0,14 < 0,43$$

Значення похибки базування менше за відповідні допуски, що є прийнятним.

Похибка базування на глибину отворів $\varnothing 5^{+0,1}$ визначається допуском на розмір 1 12 мм:

$$\varepsilon_{\sigma_{19,2}} < T_{19,2} \Rightarrow 0,14 < 0,43 \text{ мм.}$$

Значення похибки базування менше за відповідні допуски, що є прийнятним.

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Вибір металорізальних верстатів виконуємо виходячи з таких вимог користуючись методичними вказівками [10]:

- звертаємо увагу на технологічні методи обробки поверхонь;
- потужність двигуна з урахуванням коефіцієнта корисної дії повинна бути більше потужності різання;
- габарити робочого простору повинні дозволяти проводити обробку як можна більшого числа поверхонь за 1й установ;

- тип обладнання повинен відповідати типу виробництва;
- кількість інструментів не повинно перевищувати ємність інструментального магазину верстата.

У базовому технологічному процесі для токарної обробки використовується токарно гвинторізний верстат 16A20, який призначений для токарної обробки зовнішніх (діаметром до 400 мм) і внутрішніх поверхонь (довжиною до 1000 мм) із ступінчастим і криволінійним профілем в осьовому перерізі. В якості модернізації обладнання для операцій 020 та 035 Токарна з ЧПК обираємо верстат DOOSAN PUMA 2600B. Порівняємо його із верстатом 16A20Ф3, який використовується у базовому технологічному процесі.

Таблиця 2.13 – Порівняльна характеристика 16A20Ф3 та DOOSAN PUMA 2600B

Характеристика	Одиниці вимірювання	16A20Ф3	DOOSAN PUMA 2600B
Шпиндель/частота обертання	об/хв	2500	2800
Максимальний діаметр точіння	мм	320	480
Потужність	кВт	11	22
Максимальна довжина обробки	мм	1000	725
Кількість інструментів	шт	4	12
Габаритні розміри верстата	мм	3700×3000×2100	3870×1860×1900
Вага верстата	кг	4000	5500

Приймаємо верстат DOOSAN PUMA 2600B в заміні застарілому верстату 16A20Ф3. PUMA 2600B цілком задовольняє вимогам дрібносерійного виробництва, має менші габарити, більшу потужність, та більш сучасну систему ЧПК.

Для операції 045 Фрезерна з ЧПК обираємо верстат CINCINNATI MILACRON DART 500 він задовольняє умовам виробництва, та дозволить виконати необхідну обробку, порівняємо його з верстатом ГФ2171Ф3, який використовується у базовому технологічному процесі для обробки деталі:

Таблиця 2.14 – Порівняльна характеристика ГФ2171Ф3 та DART 500

Характеристика	Одиниці вимірювання	ГФ2171Ф3	DART 500
Частота обертання шпинделю	об/хв	2500	6000
Кількість інструментів	шт.	12	21
Хід X/Y/Z	мм	600/400/1500	762/510/510
Розмір столу	мм	400×1600	650×432
Швидкість робочої подачі	м/хв	6	12
Прискорений хід	м/хв	7	20
Потужність	кВт	8	11
Габаритні розміри верстата	мм	3680×4170×3150	2800×2650×2700
Навантаження на стіл	кг	400	350
Вага верстата	кг	6580	3050

Обираємо DART 500, оскільки він має більшу потужність, менші габарити, та більшу частоту обертання шпинделя.

Для операцій 015 Токарна з ЧПК, 020 Токарна з ЧПК, та 025 Токарна з ЧПК також замість верстату 16A20Ф3 приймаємо верстат DOOSAN PUMA 2600B.

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального й вимірювального інструментів

Вибір інструменту і технологічної оснастки потрібно робити з урахуванням:

- методів обробки поверхонь;
- етапів обробки (чорнові, чистові та інші);
- використання мастильно-охолоджуючих рідин та їх види;
- габаритів верстата;
- матеріал заготовки та її стану.

Верстатні пристрої, застосовувані в проектованому технологічному процесі, повинні відповідати вимогам точності одержуваних на даній операції поверхонь і

взаємною їх розташуванню. Бажано застосування стандартних, нормалізованих пристроїв. [10].

Обираємо необхідне оснащення, ріжучий та вимірювальний інструмент на розглянуті операції. При обранні використовуємо довідникову літературу [3], [11].

Для операції 020 Токарна з ЧПК обираємо наступне оснащення:

Обладнання: верстат DOOSAN PUMA 2600B

1) Різець прохідний DDJNL2525M15, пластина DNMG150608.

- Кут в плані $\varphi = 93$;
- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $g = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.8$;
- кут нахилу ріжучої кромки $l = 5$;
- Державка різця = 25X25;

2) Різець розточний S32TPDUNL15, пластина DNMG150608.

- Кут в плані $\varphi = 95$;
- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $g = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.8$;
- кут нахилу ріжучої кромки $l = 5$;
- Державка різця = d32;

Вимірювальний інструмент:

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;
- Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80;

Оснащення: Трьох кулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80.

Для операції 035 Токарна з ЧПК:

Обладнання: верстат DOOSAN PUMA 2600B;

1) Різець прохідний DDJNL2525M15, пластина DNMG150604;

- Кут в плані $\varphi = 93$;

- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $\gamma = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.4$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 5$;
- Державка різця = 25X25;

2) Різець розточний S32TPDUNL15, пластина DNMG150604.

- Кут в плані $\varphi = 95$;
- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $\gamma = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.4$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 5$;
- Державка різця = d32;

3) Різець канавочний TTFPL25200-4, пластина TDC4.

- Кут в плані $\varphi = 90$;
- Задній кут $\alpha = 7$;
- Передній кут $\gamma = 5$;
- Радіус вершини $r = 0.3$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 0$;
- Державка різця = 25x25;

4) Різець канавочний TTFPL25200-5, пластина TDC5.

- Кут в плані $\varphi = 90$;
- Задній кут $\alpha = 7$;
- Передній кут $\gamma = 5$;
- Радіус вершини $r = 0.3$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 0$;
- Державка різця = 25x25;

Вимірювальний інструмент:

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;
- Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80;

– Мікрометр МК 275-0,01 ГОСТ 6507-60;

Оснащення: Трьох кулачковий самоцентруючийся патрон 7100-0011 ГОСТ 2675-80.

Для операції 045 Фрезерна з ЧПК:

Обладнання: верстат CINCINNATI MILACRON DART VMC 500;

Ріжучий інструмент:

- 1) Сверло $\phi 5$ SHD3050, ТТ9030;
- 2) Сверло $\phi 7$ SHO3070, ТТ9030;
- 3) Фреза (чорнова) $\phi 7$ LH4EM-070, ТТ9020;
- 4) Фреза (чистова) $\phi 7$ LH4EM-070, ТТ9020;
- 5) Мітчик М6-6Н 2621-1493 Р6М5 ГОСТ 3266-81;
- 6) Зенковка DIN 335 форма С 90° HSS;

Вимірювальний інструмент:

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80;
- Штангенциркуль ШЦ-II-300-0,1 ГОСТ 166-80;
- Мікрометр МК 275-0,01 ГОСТ 6507-60;
- Калібр-пробка ПР М6-7Н НЕ ГОСТ 17756-72;

Оснащення: Пристрій спеціальний;

2.7 Визначення режимів різання

Режими різання розраховуємо використовуючи літературу [4]

Виконаємо розрахунок для операції 020 Токарна з ЧПК. Режими різання для обробки циліндричної поверхні $d268$ мм визначаємо розрахунково-аналітичним методом.

Вхідні дані: (для сталі 20Х13)

- Обробка $\sigma_B = 730$ МПа,
- Заготовка - штампування.
- Твердість НВ 126...197 МПа,

- Діаметр заготовки $D = 279$ мм
- Верстат - DOOSAN PUMA 2600B (паспортні дані верстата DOOSAN PUMA 2600B представлені в пункті 2.5)

Обробка ведеться прохідним збірним різцем з механічним кріпленням, лівим, спосіб кріплення пластини – прижимом. Позначення різця – різець прохідний DDJNL2525M15, пластина DNMG150608.

- Кут в плані $\varphi = 93$;
- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $\gamma = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.8$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 5$;
- Державка різця = 25x25;
- Період стійкості $T = 30$ хв;

Визначаємо режими різання. [4]:

Визначимо максимальну глибину різання. Глибина різання t , мм, визначається за формулою

$$t = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{обр}}}{2} \quad (2.9)$$

де $D_{\text{заг}}$ – діаметр заготовки до обробки, мм;

$D_{\text{обр}}$ – діаметр заготовки після обробки, мм;

$$t = \frac{297 - 268}{2} = 4,8 \text{ мм}$$

Отже, обробку будемо виробляти в 2 проходи. Призначаємо глибину різання $t = 2,4$ мм.

Подача вибирається за таблицею [4]. $S = 0,8$ мм / об.

Швидкість різання v , м / хв, визначається за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v \quad (2.10)$$

де C_v - коефіцієнт, таблична величина;

m, x, y - показники ступенів, табличні величини;

T - період стійкості, хв;

K_v - поправочний коефіцієнт.

Коефіцієнт C_v та показники ступенів вибираються за [2]: $C_v = 340$; $x = 0,15$; $y = 0,45$; $m = 0,20$.

Коефіцієнт K_v визначається за формулою:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{iv} \quad (2.11)$$

де K_v – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

K_{nv} – коефіцієнт, що враховує вплив стану поверхні;

K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу інструменту;

K_{iv} – коефіцієнт, що враховує вплив геометрії різця.

Значення коефіцієнта K_{mv} визначається за формулою:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (2.12)$$

де K_r – коефіцієнт, що характеризує групу сталі за оброблюваності

σ_B – фактичний параметр твердості матеріалу;

n_v – показник ступеня;

$K_r = 1,1$ - при обробці різцями з твердого сплаву [4];

$n_v = 1,0$ - при обробці різцями з твердого сплаву [4];

$$K_{mv} = 1,1 \left(\frac{750}{790} \right)^1 = 1,13$$

$K_{nv} = 0,8$ – для деталей з поковки [4];

$K_{iv} = 1,4$ – для інструменту з твердого сплаву [4];

$$K_v = 1,13 \cdot 0,8 \cdot 1,4 = 1,26$$

Розраховуємо швидкість:

$$v = \frac{340}{30^{0,2} \cdot 2,4^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 1,26 = 167 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об / хв, визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} \quad (2.13)$$

де D - діаметр заготовки, що формується при обробці.

$$n = \frac{1000 \cdot 167}{3,14 \cdot 275} = 193 \text{ об/хв}$$

Скоригована швидкість різання визначається за формулою:

$$v = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} \quad (2.14)$$

$$v = \frac{193 \cdot 3,14 \cdot 268}{1000} = 162 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо хвилинну подачу:

$$S_M = S_o \cdot n \quad (2.15)$$

$$S_M = 0,8 \cdot 193 = 154 \text{ мм/хв}$$

Виконаємо перевірку достатності потужності верстата. Потужність, необхідна на різання визначається за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{6120} \quad (2.16)$$

де P_z - тангенціальна складова сили різання.

$$P_z = C_p \cdot t \cdot S^{0.75} \cdot v^{-0.5}, \quad (2.17)$$

де C_p - коефіцієнт, що залежить від кута в плані.

$$C_p = 300 \text{ ([4], табл. 22, с.273).}$$

$$P_z = 300 \cdot 2 \cdot 0,8^{0.75} \cdot 162^{-0.5} = 40$$

Розраховуємо потужність:

$$N_e = \frac{36 \cdot 162}{6120} = 0,95 \text{ кВт}$$

Отже, при такому режимі різання обробка на обраному верстаті можлива.

Основний технологічний час розраховується за формулою:

$$T_o = \frac{L}{S_M} \cdot i, \quad (2.18)$$

де L – розрахункова довжина оброблюваної поверхні, мм;

S_M – хвилинна подача, мм/хв;

i – число проходів;

$$L = l + l_1 + l_2, \quad (2.19)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні, мм;

l_1 – довжина врізання, мм;

l_2 – довжина перебігу, мм;

$$L = 29 + 3 + 0 = 32 \text{ мм}$$

Розрахуємо основний час:

$$T_o = \frac{32}{154} \cdot 2 = 0,4 \text{ хв};$$

Результати розрахунку зведені в таблицю 2.14:

Таблиця 2.14 – Режими різання на операцію 020.

Найменування переходу	Параметри режимів обробки					L мм	T _о хв	Спосіб обчислення режиму різання
	t, мм	s, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
1. Підрізати торець	2	0.8	184	171	1	70	0,47	Аналітичний
2. Попередньо точити $\varnothing 268$ витримуючи розмір L4 мм	2,4	0.8	193	162	2	32	0,4	Аналітичний
3. Точити $\varnothing 267$ витримуючи L4 мм	0,5	0.8	252	211	1	5	0,03	Аналітичний
4. Розточити отвір $\varnothing 235$ мм	2	0.4	317	234	1	27	0,22	Аналітичний
Разом							1,12	

Тепер виконаємо розрахунки для операції 035:

Режими різання для обробки циліндричної поверхні $d237$ визначаємо розрахунково-аналітичним методом.

Обробка ведеться прохідним збірним різцем з механічним кріпленням, лівим, спосіб кріплення пластини – качаючимся штифтом. Позначення різця - Різець розточний S32TPDUNR15 пластина DNMG150604.

- Кут в плані $\varphi = 95$;
- Задній кут $\alpha = 32$;
- Передній кут $\gamma = -5$;
- Радіус вершини $r = 0.4$;
- кут нахилу ріжучої кромки $\lambda = 5$;
- Державка різця = d32;
- Період стійкості $T = 30$ хв;

Визначаємо режими різання. [4]:

Визначимо максимальну глибину різання t , мм, за формулою 2.9:

$$t = \frac{235 - 237}{2} = 1 \text{ мм}$$

Так як припуск невеликий, обробку будемо виробляти в 1 прохід.

Призначаємо глибину різання $t = 1$ мм.

Подача вибирається за таблицею [4]. $S = 0,144$ мм / об. Розраховуємо коефіцієнти K_{mv} та за формулами 2.11 та 2.12:

$$K_{mv} = 1,1 \left(\frac{750}{790} \right)^1 = 1,13$$

$$K_v = 1,13 \cdot 0,8 \cdot 1,4 = 1,26$$

Розраховуємо швидкість за використовуючи формулу 2.10:

$$v = \frac{340}{30^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,144^{0,45}} \cdot 1,26 = 326 \text{ м/хв}$$

Визначимо частоту обертання шпинделя n , об / хв, яка визначається за формулою 2.13:

$$n = \frac{1000 \cdot 326}{3,14 \cdot 237} = 438 \text{ об/хв}$$

Скоригована швидкість різання визначається за формулою 2.14:

$$v = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} \quad (2.14)$$

$$v = \frac{336 \cdot 3.14 \cdot 275}{1000} = 250 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо хвилинну подачу (формула 2.15):

$$S_M = 0,144 \cdot 438 = 63 \text{ мм/хв}$$

Виконаємо перевірку достатності потужності верстата. Потужність, необхідна на різання визначається за формулою 2.16:

$$P_z = 300 \cdot 1 \cdot 0,8^{0,75} \cdot 250^{-0,5} = 16$$

Розраховуємо потужність:

$$N_e = \frac{16 \cdot 250}{6120} = 0,65 \text{ кВт}$$

Отже, при такому режимі різання обробка на обраному верстаті можлива.

Основний технологічний час розраховується за формулами 2.18 та 2.19:

$$L = 24 + 1 + 1 = 25 \text{ мм}$$

Розрахуємо основний час:

$$T_o = \frac{25}{86} \cdot 1 = 0,50 \text{ хв};$$

Результати розрахунку зведені в таблицю 2.14:

Таблиця 2.14 – Режими різання на операцію 035

Найменування переходу	Параметри режимів обробки					L мм	То хв	Спосіб обчислення режиму різання
	t, мм	s, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
1. Точити фаску 0,5x45°	0,5	0.144	290	250	1	2.5	0,02	Табличний
2. Підрізати торець $\Phi 295/275$	0,5	0.144	290	250	1	20	0,23	Табличний
3. Точити фаску 0,5x45°	0,5	0.144	290	250	1	2.5	0,02	Табличний
4. Підрізати торець $\Phi 267/235$	0,5	0.144	290	250	1	23	0,26	Табличний
5. Точити d265	0,5	0.144	300	250	2	5	0,10	Табличний
6. Точити фаску 0,5x45°	0,5	0.144	438	250	1	1,5	0,02	Аналітичний
7. точити $\Phi 235$	1	0.144	438	250	1	25	0,43	Аналітичний
8. точити канавку	4	0,05	150	250	1	6	0,53	Табличний
9. точити посадку 265f7	1	0,05	150	250	1	8	0,84	Табличний
Разом							2,45	

Фрезерна операція 045.

Розрахуємо режими для чорнового фрезерування [4]:

Вхідні дані:

- Глибина різання $t = 2,4$ мм
- подача $S = 0,05$ мм/зуб
- Кількість зубів фрези $z = 4$

Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{C_v \cdot D^{qv}}{T^{mv} \cdot t^{xv} \cdot S_z^{yv} \cdot B_\phi^{uv} \cdot Z^{pv}} k_v, \quad (2.20)$$

де D – діаметр фрези;

z – число зубів фрези;

T – період стійкості інструменту;

t – глибина різання;

S_z – подача;

B – параметр зрізаємого слоя;

xv, uv, qv, mv, uv, pv – показники ступеня, обираємо за таблицею

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

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

де K_{mv} – коефіцієнт, враховуючий якість оброблюваного матеріалу; $K_{mv} = 0,8$;

K_{uv} – коефіцієнт на інструментальний матеріал, $K_{uv} = 0,9$;

K_{nv} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки, $K_{nv} = 1,0$

$$K_v = 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,72$$

Розраховуємо швидкість різання:

$$V = \frac{234 \cdot 7^{0.44}}{60^{0.37} \cdot 2.4^{0.24} \cdot 0.05^{0.26} \cdot 7^{0.1} \cdot 4^{0.1}} 0.72 = 114 \text{ м/хв}$$

Визначимо оберти шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot 114}{3.14 \cdot 7} = 4518 \text{ об/хв}$$

Розрахуємо силу різання:

$$P_z = \frac{10C_p \cdot t^{xp} \cdot S_z^{yp} \cdot B_\phi^{up} \cdot Z}{D^{qp} \cdot n^{wp}} K_{mv} \quad (2.21)$$

де C_p ; x_p ; y_p ; u_p ; q_p ; w_p - коефіцієнт пропорціональності і показники степеню:

$$K_{mv} = \left(\frac{790}{750}\right)^1 = 1.05$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 12.5 \cdot 7^{0.85} \cdot 0.05^{0.75} \cdot 7^1 \cdot 4}{7^{0.73} \cdot 4518^{0.13}} 0.72 = 880 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.22)$$

$$N = \frac{880 \cdot 114}{1020 \cdot 60} = 1.6 \text{ кВт}$$

Отже, $N = 22,4 \text{ кВт} > N_{\text{рез}} = 1,6 \text{ кВт}$, а значить різання здійснено.

Визначимо довжину обробки:

$$L = 210 + 2 + 2 = 214 \text{ мм}$$

Розрахуємо основний час:

$$T_o = \frac{214 \cdot 6}{225} \cdot 2 = 11,41 \text{ хв};$$

Отримані режими різання заносимо у таблицю 6.13 Режими різання для інших переходів обираємо за довідковою літературою [11] та також заносимо до таблиці.

Таблиця 2.15 – Режими різання на операцію 045

Найменування переходу	Параметри режимів обробки					L мм	T _о хв	Спосіб обчислення режиму різання
	t, мм	s, мм/хв	n, об/хв	V, м/хв	i			
1. Фрезерування б каналів чорнове	2,4	225	4518	114	2	214	11,41	Аналітичний
2. Фрезерування чистове	0,2	450	4549	120	1	214	2,85	Табличний
3. Свердлити б отворів d5	12	102	5095	80	1	2.5	0,8	Табличний
4. Нарізати б отворів M6	1	15	769	15	1	5	0,36	Табличний
5. Свердлити б отворів d7	6	72	3639	80	1	2.5	0,83	Табличний
6. Зняти 12 фасок	7	50	1769	50	1	5	0,72	Табличний
Разом							16,97	

2.8 Технічне нормування операцій

Технічне нормування праці – це сукупність методів та прийомів по виявленню резервів робочого часу та встановленню необхідної мірки праці.

Виконаємо розрахунки для операції 020 використовуючи літературу [1], [4], [6].

Вхідні дані:

- верстат – DOOSAN PUMA 2600B.
- інструмент - різець прохідний, різець розточний.

- оснащення - патрон трьохкулачковий.
- $T_o = 1,12$ хв;
- $T_{мд} = 0,11$ хв;

Визначаю норми штучного часу $T_{шт}$:

$T_{шт}$ – норма штучного часу – це час на виконання об’єму праці, що дорівнює одиниці нормування.

$$T_{шт} = (T_{ца} + T_d \cdot K) \cdot \left(1 + \frac{(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})}{100} \right), \quad (2.23)$$

де $T_{ца}$ – це час циклу автоматичної роботи верстату по заданій програмі.

K – поправочний коефіцієнт на час в залежності від партії оброблюваних деталей у серійному виробництві. [6]

$T_{ца}$ розраховуємо за формулою:

$$T_{ца} = \Sigma T_o \cdot \Sigma T_{мд}, \quad (2.24)$$

де $T_{мд}$ – машинно допоміжний час.

$$T_{ца} = 1,12 + 0,11 = 1,23 \text{ хв}$$

$(\alpha_{тех} + \alpha_{орг} + \alpha_{отл})$ - норма часу на організаційно-технічне обслуговування, відпочинок та особисті потреби (визначається за нормативами та у формулу підставляється у відсотках). Цей час складає 8% від оперативного часу $T_{оп}$.

$T_{оп}$ – це час, що витрачається на виконання однієї технологічної операції.

T_d – норма допоміжного часу – це час на дії, які дають можливість виконувати основну роботу

$$T_d = T_{вст} + T_{оп} + T_{вим}, \quad (2.25)$$

де $T_{вст}$ – норма допоміжного часу на установку та зняття заготовки.

$$T_{вст} = 0,1 \text{ хв ([6], карта 2, с. 10);}$$

$T_{оп}$ – Допоміжний час, пов'язаний з операцією, що містить у собі час на вмикання та вимикання верстата, перевірку повернення інструменту в задану точку після обробки.

$$T_{оп} = 0,18 \text{ хв ([1], с. 211);}$$

$T_{вим}$ – норма допоміжного часу на виконання контрольних вимірювань.

$$T_{вим} = 0,2 \text{ хв. ([1], с. 209);}$$

$$T_d = 0,1 + 0,18 + 0,2 = 0,48 \text{ хв}$$

Розхроковуємо $T_{шт}$:

$$T_{шт} = (1,23 + 0,48 \cdot 0,85) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 1,76 \text{ хв}$$

Визначаю норму штучно-калькуляційного часу $T_{штк}$ за формулою:

$$T_{штк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.26)$$

де n – кількість деталей в партії;

$T_{пз}$ – підготовчо-завершальний час – це час необхідний на підготовку робітників та засобів виробництва до виконання певної технологічної операції та приведення їх у первинний стан після її закінчення [1].

Підготовчо-заключний час на партію деталей для токарної обробки $T_{пз} = 7 \text{ хв.}$

$$T_{\text{штк}} = 1,45 + \frac{7}{185} = 1,8 \text{ хв}$$

Таблиця 2.16 Норми часу на механічну операцію 020

T_0	$T_{\text{мд}}$	$T_{\text{д}}$	$T_{\text{шт}}$	$T_{\text{пз}}$	$T_{\text{штк}}$
1,12 хв	0,11 хв	0,48 хв	1,76 хв	7 хв	1,8 хв

Для операції 035 методика розрахунку та формули будуть ті ж самі як і для операції 020.

Вхідні дані:

- верстат – DOOSAN PUMA 2600B
- інструмент - різець прохідний, різець розточний, різець канавочний
- оснащення - патрон трьохкулачковий.
- T_0 – 2,45 хв
- $T_{\text{мд}}$ – 0,18 хв

Визначемо норми штучного часу $T_{\text{шт}}$:

Спочатку розрахуємо автоматичний час $T_{\text{ца}}$:

$$T_{\text{ца}} = 2,45 + 0,18 = 2,63 \text{ хв}$$

Розраховуємо допоміжний час:

$$T_{\text{д}} = 0,1 + 0,18 + 0,52 = 0,8 \text{ хв}$$

Розраховуємо $T_{\text{шт}}$:

$$T_{\text{шт}} = (2,63 + 0,8 \cdot 0,85) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 3,57 \text{ хв}$$

Визначаємо норму штучно-калькуляційного часу $T_{штк}$:

$$T_{штк} = 3,57 + \frac{7}{185} = 3,61 \text{ хв}$$

Отримані дані зводимо до таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 Норми часу на механічну операцію 035

T_0	$T_{мд}$	T_d	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{штк}$
2,45 хв	0,18 хв	0,8 хв	3,57 хв	7 хв	3,61 хв

Пронормуємо операцію 045 Фрезерна з ЧПК.

Вихідні дані:

- верстат – CINCINATTI DART 500;

інструмент:

- Сверло $\varnothing 5$ SHD3050, ТТ9030;
- Сверло $\varnothing 7$ SHO3070, ТТ9030;
- Фреза (чорнова) $\varnothing 7$ SED3070Т, ТТ9020;
- Фреза (чистова) $\varnothing 7$ LH4ЕМ, ТТ9020;
- Мітчик М6-6Н 2621-1493 Р6М5 ГОСТ 3266-81;
- Зенковка DIN 335 форма С 90° HSS;
- оснащення – пристрій спеціальний;
- T_0 – 16,97 хв;
- $T_{мд}$ – 1,22 хв;

Розраховуємо $T_{ца}$:

$$T_{ца} = 16,97 + 1,22 = 18,19 \text{ хв}$$

Розраховуємо допоміжний час T_d :

$$T_d = 0,17 + 0,18 + 0,40 = 0,75 \text{ хв}$$

де $T_{вст} = 0,17 \text{ хв}$ ([6], карта 2, с. 10);

$T_{оп} = 0,18 \text{ хв}$; ([1], с. 211);

$T_{вим} = 0,40 \text{ хв}$ ([1], с. 209);

Розраховуємо $T_{шт}$:

$$T_{шт} = (18,19 + 0,75 \cdot 0,85) \cdot \left(1 + \frac{8}{100}\right) = 20,33 \text{ хв}$$

Визначаємо $T_{штк}$:

$$T_{штк} = 20,33 + \frac{29}{185} = 20,48 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час на партію деталей для фрезерної обробки $T_{пз}$ – 29 хв. [6]

Зводимо отримані дані в таблицю 2.17

Таблиця 2.17 - Норми часу на операцію 045

T_0	$T_{мд}$	T_d	$T_{шт}$	$T_{пз}$	$T_{штк}$
16,97 хв	1,22 хв	0,75 хв	20,33 хв	29 хв	20,48 хв

2.9 Проектування верстатного пристрою

В роботі розглядається свердлильно-фрезерна операція. На операції відбувається обробка шести каналів, шести отворів $\varnothing 7$, та шести отворів $\varnothing 5$ та нарізання різьби М6.

Для удосконалення технологічного процесу, обладнання було замінене на свердлильно-фрезерний оброблювальний центр Cincinatti Dart 500. Щоб забезпечити більш продуктивну роботу обладнання з ЧПК у серійному виробництві спроектуємо спеціальний пристрій. Використання спеціальних верстатних пристроїв допоможе скоротити час на установку, базування та закріплення заготовки, знизити розряд оператора верстата, що значно зменшить допоміжний час, та як результат безпосередньо буде зменшена собівартість деталі. Також необхідно відмітити що використання спеціального верстатного пристрою допоможе збільшити точність стабільність параметрів отриманих на операції (точність форми та розміщення, шорсткість).

Система координат пристрою буде відповідати системі верстата, вісь z направлена вертикально вздовж вісі деталі.

На операції з одного установа проводиться обробка каналів, отворів, та нарізання різі. Для досягнення точності обробки необхідно точно збазувати заготовку в пристрої, так як шпиндель верстата буде попередньо прив'язаний до центру пристрою. Від точного базування деталі на верстатному пристрої буде залежати точність оброблюваних поверхонь.

Розглядаючи креслення деталі можемо зробити висновок, що до оброблюваних поверхонь не пред'явлені жорсткі параметри.

До поверхонь, які на кресленні задані вільними, відповідно до технічних вимог до виготовлення деталі, допуски обираємо за 14 квалітетом точності згідно з ГОСТ 25347-82:

0 – Значення допуску для 6 каналів $T = -0.43$ мм, $ES = 0$ мм та $EI = -0.43$.

1 – Значення допуску для 6 отворів $\varnothing 5$ мм – $T = 0,1$ мм, $ES = +0,1$ мм та $EI = 0$.

2 – Значення допуску до фасок $1 \times 45^\circ$ – $T_{0,4} = 0,20$ мм, $ES = +0,10$ мм та $EI = -0,10$ мм, $45^\circ \pm 1^\circ$ (ГОСТ 8908 – 81).

3 – Значення допуску на глибину 16, що зумовлює розташування отвору $\varnothing 7$ $T = 0,36$ мм, $ES = +0,36$ мм та $EI = 0$;

На глибину каналів 15 мм на кресленні проставлений допуск $T = 0,1$ мм; значення допуску не відповідає стандартному: для IT13 допуск – 0,18 мм, а для IT14 допуск – 0,3 мм. Оскільки ми не маємо права брати більш грубий допуск, ніж той, що зазначив конструктор, то стандартне значення допуску буде дорівнювати – $T_{12,5} = 0,1$ мм.

На розмір 112 мм, що зумовлює розташування отвору $\varnothing 5$ проставлений допуск $T = 0,43$ мм; значення допуску відповідає стандартному IT14 – $T_l = 0,43$ мм.

На глибину 17 мм для різі М6-7Н на кресленні проставлений допуск $T = 0,36$ мм; значення допуску відповідає стандартному для IT14 приймаємо значення допуску – $T = 0,36$ мм.

Для отворів $\varnothing 7$ проставлений допуск $T = 0,15$ мм. Значення допуску відповідає стандартному для IT12 приймаємо значення допуску – $T = 0,15$ мм.

Конструктором не відзначена точність форми отриманих поверхонь, тому назначаємо її відповідно з нормальною відносною геометричною точністю – А, згідно з ГОСТ 24643-81 (60%, або 30% для допуску циліндричності, круглості та профілю повздовжнього січення, від допуску на розмір). Відповідно назначимо в відсотковій частині від допуску на розмір такі відхилення.

Допуск циліндричності та круглості, котрі складатимуть 30% від допуску для розміру:

0 – $\varnothing 7 + 0,15$, $T = 0,15 \cdot 0,3 = 0,045$ мм приймаємо 40 мкм – 8 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81;

1 – $\varnothing 5,0 + 0,1$, $T = 0,1 \cdot 0,3 = 0,03$ мм приймаємо 30 мкм – 9 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81.

На кресленні задане значення позиційного допуску розташування отворів $\varnothing 5H14$ та $\varnothing 7H14$ відносно бази Б.

Позиційний допуск за кресленням складає $T_{\Pi} = 0,25$ мм. Допуск є стандартним та відповідає 13 степені точності згідно з ГОСТ 24643-81.

Оскільки оброблювані поверхні відповідають 14 квалітету точності, то пред'явлені вимоги до шорсткості не є жорсткими.

Шорсткість усіх поверхонь, крім каналів складає $Ra = 6,3$ мкм. Шорсткість каналів $Ra = 3,2$ мкм.

На кресленні до $\varnothing 265f7$ конструктором пред'явлена така точність – допуск $T = 0,002$ мм, $ES = -0,056$ мм, $EI = -0,108$ за 7 квалітетом.

Розглянемо допуск площинності базового торцю $\varnothing 265f7 - T = 0,1$ мм. Можливе відхилення від площинності - ввігнутість, випуклість.

Розглянемо допуск радіального биття для отвору $\varnothing 265f7$ котрий складає $T = 0,03 \cdot 0,036 = 0,001$ мм, приймаємо 10 мкм – 7 степінь точності.

Шорсткість торцю $\varnothing 265f7 - Ra = 1,6$ мкм зумовлена тим, що поверхня є допоміжною конструкторською базою; шорсткість досягається шляхом тонкого точіння.

Пристрій буде використовуватися на вертикально-свердильному верстаті. Стружка видаляється з зони різання при виключеному обладнанні. Верстатний пристрій повинен обслуговуватися оператором 3-4-го розряду. Робітник повинен бути попередньо ознайомлений з правилами техніки безпеки для даного типу обладнання.

Робоча температура навколишнього середовища $t = 20^{\circ} \pm 5^{\circ}C$, відносна вологість повітря 80%, атмосферний тиск $P_{ат} = 86...106$ кПа, швидкість руху повітря – 0,5 м/с, частота вібрації, виниклих в результаті роботи обладнання в цеху $f = 20 \div 30$ Гц, освітлення приміщення (місцеве освітлення) 1500 Люкс.

Складання переліку реалізованих функцій:

Даний перелік функцій дозволяє попередньо ознайомитись з об'ємом робіт по використанню пристрою, та зробити аналіз функцій.

0 – Переміщення та попередня орієнтація пристрою.

1 – Базування заготовки.

2 – Закріплення заготовки.

3 – Базування пристрою на верстаті.

4 – Закріплення пристрою на верстаті.

5 – Підвід та відвід енергоносіїв.

6 – Утворення сили для закріплення.

7 – Управління енергоносіями.

8 – Обробка 6 каналів, шести отворів $\varnothing 7$, шести отворів $\varnothing 5$, нарізання різі М6-7Н

9 – Досягнення безпечних умов праці.

10 – Об'єднання функціональних вузлів.

Виходячи з умов реалізації цих функцій та вимог до результатів, конструктор здійснює пошук прототипів з накопленого запасу різноманітних технічних рішень. Перевагу потрібно віддавати вже перевіреним конструкціям.

У якості головної базової поверхні обираємо $\varnothing 265f7$. Оскільки вона:

0 – Найбільш точно оброблена – IT7, T = 0,052 мм.

1 – Найбільш розвинена.

2 – Шорсткість складає Ra=1,6 мкм.

Застосування даної бази у якості базової не перешкоджає доступу інструменту до оброблюваних поверхонь.

У якості бази, $\varnothing 265f7$, позбавляє заготовку трьох ступенів свободи, тобто являється установчою базою. З набору функцій, виділимо ті, котрі реалізуються при використанні даного пристрою, а саме: 0,1,2,5,6,7,10. Функції 3 та 4 впливають на підготовчо-заклучний час, функції 9 та 11 безпосередньо впливають на штучний час. Функціональна структура проектованого пристрою представлена на рисунку 2.11

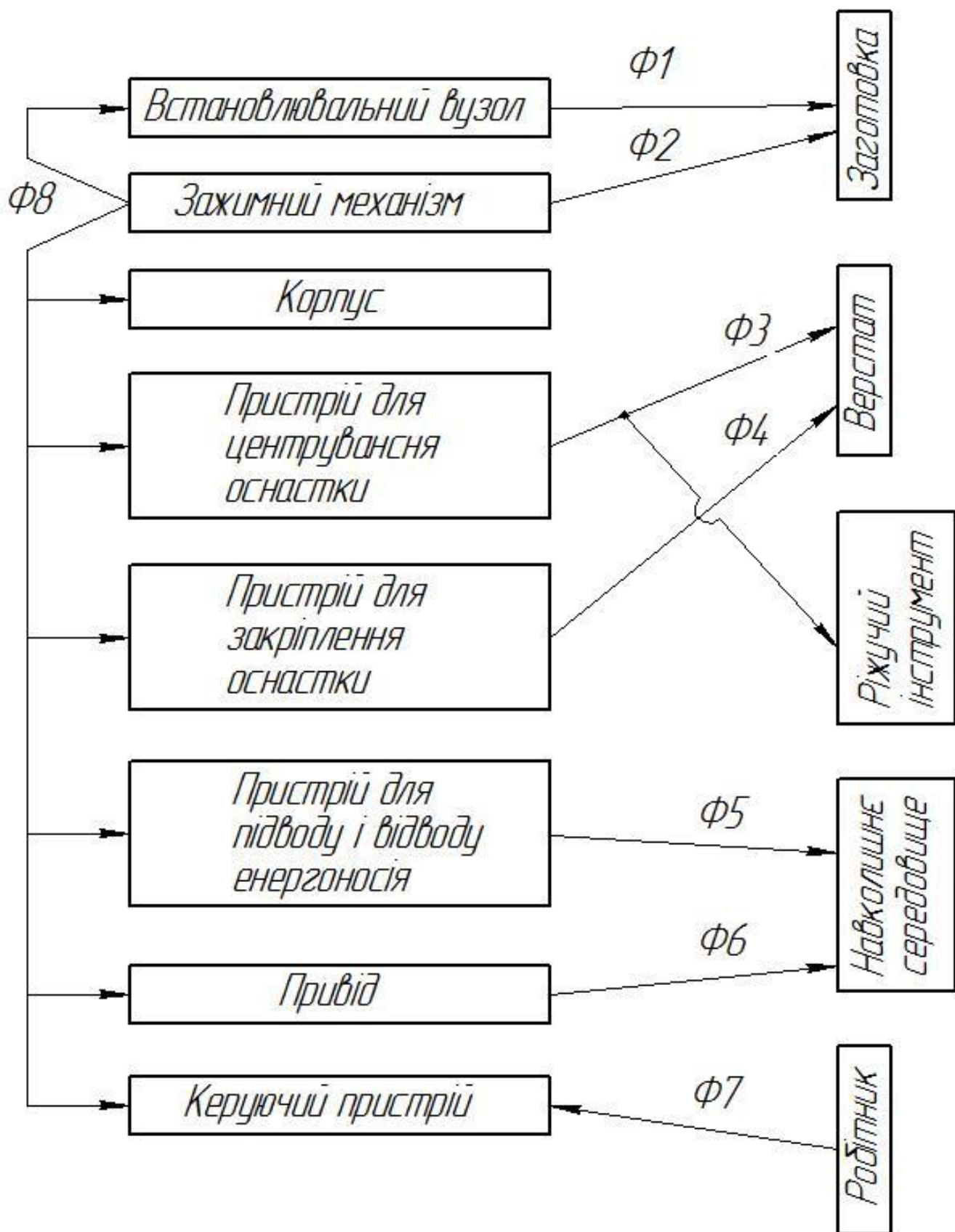


Рисунок 2.11 – Функціональна структура проектного пристрою

Для визначення взаємного впливу поля збурюючих сил і поля зрівноважувальних сил побудуємо графічну модель збурюючих сил у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування (рисунок 2.12).

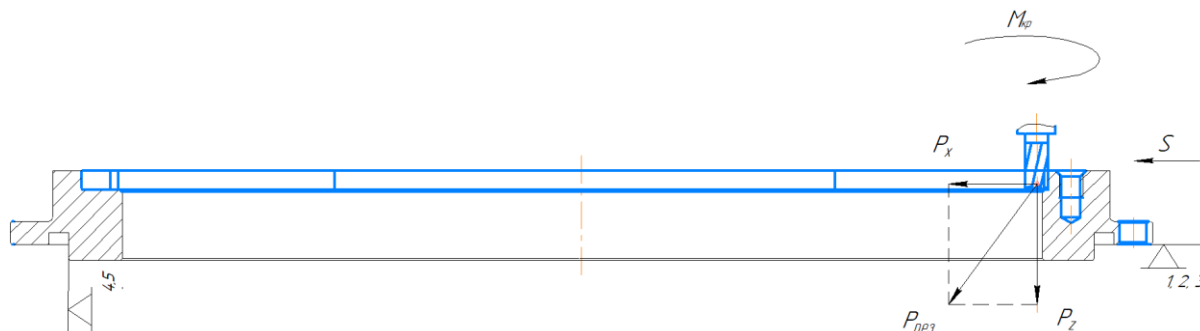


Рисунок 2.12 – Структура поля збурюючих сил

Побудуємо поле зрівноважувальних сил (рисунок 2.10).

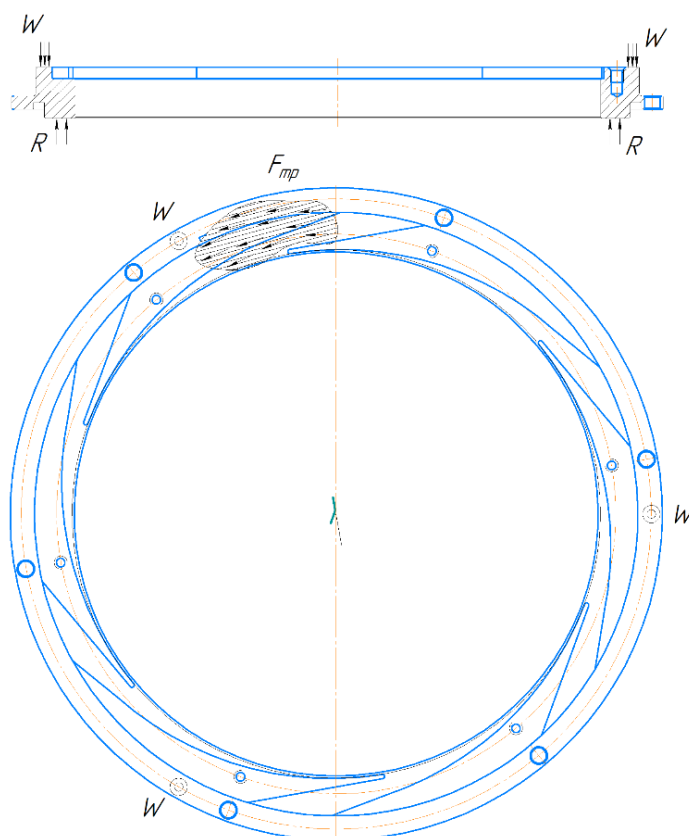


Рисунок 2.12 – Структура поля зрівноважувальних сил, створювана зажимним механізмом

Розрахуємо величину сумарного зусилля закріплення за формулою [7]:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр}}{R \cdot f}, \quad (2.28)$$

де W – сила затиску деталі;

$M_{кр}$ – крутний момент на фрезі, Н · м;

R – приведений радіус точки прикладання сил, м;

f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затискачів для обробленої заготовки з опорами та зажимними елементами пристрою $f = 0,16$.

K – коефіцієнт запасу.

Визначаємо коефіцієнт запасу:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.29)$$

де $K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого зазору;

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях;

$K_2 = 1,0$ – коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення різального інструменту;

$K_3 = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при фрезеруванні;

$K_4 = 1,0$ – коефіцієнт постійності сили закріплення;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт ергономіки;

$K_6 = 1,5$ – коефіцієнт моментів, що прагнуть повернути заготовку.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 1,95.$$

Приймаємо $K = 2$.

Визначаємо крутний момент:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100}, \quad (2.30)$$

де P_z – головна сила різання, Н;

$D = 7$ – діаметр фрези, мм.

Визначаємо головну складову сили різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^n \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (2.31)$$

де $C_P = 68,2$; $x = 0,86$; $y = 0,72$; $n = 1,0$; $q = 0,86$; $w = 0$ – відповідні коефіцієнти;

$t = 3,5$ – глибина різання, мм;

$S_z = 0,05$ – подача на зуб, м/зуб;

$B = 7$ – ширина фрезерування, мм

$z = 3$ – число зубів фрези;

$n = 1000$ – частота обертання шпинделя, об/хв;

$K_{MP} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу.

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,5 \cdot 3,5^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 7 \cdot 3}{7^{0,86} \cdot 1000^0} = 678 \text{ Н}$$

$$P_z = \frac{678 \cdot 7}{2 \cdot 100} = 24 \text{ Нм}$$

$$P_3 = \frac{24 \cdot 2,5}{0,1365 \cdot 0,16} = 2747 \text{ Нм}$$

Для аналізу структури і якості зв'язків, що виникають при закріпленні заготовки, побудуємо таблицю 2.18 односторонніх зв'язків.

Для закріплення заготовки використовується три симетрично розташованих прихвата з пневмоприводом. Оскільки сила закріплення $W = 2747$ Нм, то значення сили яка діє на кожен із прихватів – $Q = 916$ Н.

Таблиця 2.18 – Таблиця односторонніх зв'язків.

Індекс зв'язку		x	x'	y	y'	z	z'	ω_x	$\omega_{x'}$	ω_y	$\omega_{y'}$	ω_z	$\omega_{z'}$
Спосіб реалізації	Реакція	R	R	R	R	–	R	R	R	R	R	–	–
	Сила закріпл.	–	–	–	–	W	–	–	–	–	–	–	–
	Сила тертя	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	$F_{тр}$	$F_{тр}$

Визначаємо основні параметри пневмокамери:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot p \cdot \eta}{4} - q \quad (2.32)$$

- де D – діаметр пневмокамери, мм;
 $q = 200$ – сила опору пружини, Н
 $\eta = 0,85$ – ККД;
 $p = 0,4$ – тиск у пневмомережі, МПа.

$$D = \sqrt{\frac{4(Q+q)}{\pi \cdot \eta \cdot p}} \quad (2.33)$$

$$D = \sqrt{\frac{4(2747 + 200)}{0.4 \cdot 0.85 \cdot 3.14}} = 124 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр зі стандартного ряду значень – $D = 125$ мм.

Розраховуємо фактичну силу, яка діє на прихват:

$$Q = \frac{3,14 \cdot 125^2 \cdot 0,4 \cdot 0,85}{16} - 200 = 2780 \text{ Н}$$

Діаметр опорної шайби буде дорівнювати:

$$d = 0,7 \cdot D = 0,7 \cdot 125 = 87,5 \text{ мм}$$

Довжину хода штоку:

$$l = (0,18 \dots 0,22) \cdot 125 \approx 25 \text{ мм}$$

Розрахуємо на міцність при розтягуванні шток пристрою. Матеріал штоку – сталь 40. Для того, щоб при навантаженні різь штоку не зірвалась, необхідно щоб виконувались наступні умови:

$$\begin{aligned} \sigma_p &\leq [\sigma]_p, \\ [\sigma]_p &= 0,6 \cdot \sigma_T, \end{aligned} \quad (2.34)$$

де $\sigma_T = 300 \text{ МПа}$ – границя текучості сталі 40;
 $[\sigma]_p = 0,6 \cdot 300 = 180 \text{ (МПа)}$.

$$\sigma = \frac{4F}{\pi \cdot d^2} \quad (2.35)$$

де $d = 20$ – діаметр штока, мм;
 F – максимальна осьова сила, яка діє на розтягування штоку, Н.

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 3970}{3,14 \cdot 20^2} = 14 \text{ Мпа}$$

Умова виконується ($14 \text{ МПа} < 180 \text{ МПа}$), тобто різь штока може витримувати дане зусилля.

Розрахункову похибку пристрою розраховуємо за формулою 2.36. Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовують у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2 + \varepsilon_{\text{и}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2} \quad (2.36)$$

Розглянемо більш докладно складові, що входять у дану формулу.

$T = 250 \text{ мкм}$ – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, які одержують на даній операції, а саме допуск перпендикулярності фасонного отвору відносно до торця);

$K_T = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;

$K_{T1} = 0$ – коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування. (Якщо похибка базування дорівнює нулю, то й $K_{T1} = 0$. У протилежному випадку $K_{T1} = 0,8 - 0,85$);

$\varepsilon_6 = 0 \text{ мкм}$ – приймаємо рівну нулю оскільки використовується принцип сумісництва баз;

$\varepsilon_3 = 10 \text{ мкм}$ – оскільки при закріпленні деталі в конусну оправку існує ймовірність перекосу в осьовому напрямі під дією сил закріплення, приймаємо похибку закріплення рівну 10 мкм .;

$\varepsilon_y = 0 \text{ мкм}$ – приймаємо рівну 0 , оскільки похибка установки не вплине на технологічні вимоги на даній операції;

$\varepsilon_{\text{п}} = 0 \text{ мкм}$ – похибка перекосу інструменту приймаємо 0 оскільки використовується достатньо жорсткий інструмент;

$\varepsilon_{и} = 0$ мкм – похибка зношування рівна нулю оскільки ми приймаємо умові рівномірного зношування інструменту.

$K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт що враховує можливість появи похибки обробки

$\omega = 20$ мкм – економічно досягаєма точність обробки;

$\varepsilon_{поз} = 0$ мкм - приймаємо рівну 0, оскільки дана похибка не вплине на технологічні вимоги на даній операції;

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати:

$$\varepsilon_{пр} = 250 - 1,2\sqrt{(0 \cdot 0)^2 + 10^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 20)^2 + 0} = 231 \text{ мкм}$$

З урахуванням стандартного ряду беремо $\varepsilon_{пр} = 220$ мкм.

Пристрій в зборці повинен відповідати технічним вимогам креслення загального виду та забезпечувати якісну обробку заготовки за заданими розмірами.

Збірка пристрою здійснюється в наступній послідовності:

В першу чергу, в корпус пристрою поміщаємо пневмокамеру, в яку вставляємо шток та пружину. Потім, на шток саджаємо диск, який прикручуємо гайками. На диск прикручуємо 3 прижими, які будуть прижимати деталь. В корпус поміщуємо кільце, за допомогою з'єднання гвинта. До корпусу прикручуємо штуцер, в штуцер подається стиснене повітря, за допомогою якого мембрана стискає пружину.

Всі деталі і вузли пристосування піддати візуальному контролю, виявлені дефекти усунути. Пофарбувати пристосування, за винятком посадочних місць, емаль ЕП51.

Експлуатація пристрою:

1. Встановити і закріпити пристрій на верстаті з урахуванням нульової точки верстата.
2. Підготувати базові поверхні до встановлення заготовки (кільце на діаметр 265).
3. Підключити пневможивлення через перемикач 5

4. Встановити заготовку в кільце

5. Включити пневможивлення – подача воздуха в штокову полость, що збазують та закріплять заготовку.

6. Обробити заготовку.

7. Відключити пневможивлення через перемикач 5 для розтиску заготовки

8. Зняти деталь з пристрою.

9. Підготувати базові поверхні ппристрою до встановлення наступної заготовки.

10. Пристрій зберігати на дерев'яній основі. Вплив атмосферних опадів і агресивних середовищ неприпустимо.

З пневмомережі повітря під тиском подається в верхню порожнину штока, переміщаючи шток вертикально вниз. Таким чином здійснюється стиснення пружин та закріплення деталі. При знятті швидкозйомної частини штуцера повітря з порожнини через пневмоглушник подається в атмосферу, тиск в порожнині камери падає і здійснюється розтиск заготовки за допомогою пружини.

Герметичність з'єднань забезпечують манжети-ущільнювачі. Кришка служить також упором для переміщення пневмокамери вертикально вгору.

Упором для переміщення штока вертикально вниз служить мембранна, що обмежує хід штока,. Для транспортування пристосування призначені рим-болти, які кріпляться в кришці пристрою.

2.10 Висновок

В ході роботи було обрано заготовку та метод її отримання, що відповідає типу виробництва та є економічно вигідним, оптимізований технологічний процес виготовлення деталі та обрано доцільний маршрут обробки деталі;

Були правильно оформлені карти технологічного процесу, замінено застаріле обладнання та ріжучий інструмент, розраховані норми часу та режими різання.

Згідно типу виробництва розробено верстатний пристрій, який дозволить зменшити похибку базування деталі, підвищити продуктивність роботи та зменшити час на встановлення та зняття заготовки.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РАЦІОНАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РІЗАННЯ НА ФРЕЗЕРНІЙ З ЧПК ОПЕРАЦІЇ

3.1 Вступ

В ході обробки деталей різанням має місце проблематика зношення ріжучої кромки інструменту, що в свою чергу веде до зменшення часу стійкості інструменту та необхідності в переточуванні та зменшує строк служби ріжучого інструменту. Знос по задній поверхні призводить до збільшення шорсткості оброблюваної поверхні, що може бути особливо критично для виконання чистових операцій.

Для деталі «Направляючий апарат» ця проблема має місце, оскільки на це впливає матеріал заготовки сталь 20X13 та її фізико-хімічний склад.

У даному розділі ми будемо за допомогою контролю зносу по задній поверхні в ході обробки досліджувати знос інструменту використовуючи візуально-оптичний метод дослідження. Для цього ми будемо використовувати мікроскоп МБС-9, верстат MAG Fadal VMC 4020 FX, цангову оправку DIN 69871, кінцеві фрези LH4EM $\varnothing 8$, заточний верстат EMG GH 20T.

Заготовка – прокат, матеріал заготовки сталь 20X13.

Очікувані результати - провести стійкісні випробування ріжучого інструменту, оцінити знос інструменту для різних режимів різання, та підібрати найбільш раціональні режими різання для заданого ріжучого інструменту та матеріалу виходячи із отриманих в ході експерименту результатів.

3.2 Методика дослідження

В процесі обробки металів внаслідок тертя стружки по передній поверхні леза і задніх поверхонь леза по поверхні заготовки відбувається зношування ріжучого інструменту, яке проходить в вигляді стирання і видалення мікрочасток поверхонь, а також в вигляді мікросколювань (викришувань) різальної кромки. Знос ріжучого інструменту розподіляють на:

- Абразивний - зрізання, дряпання мікроскопічних об'ємів матеріалу ріжучого інструменту твердими структурними складовими металу, що оброблюється (ливарні корки, окалини, нарости, карбіди)

- Молекулярний (адгезійний) - знос, що має місце при дії сил молекулярного зчеплення між матеріалом заготовки (стружка) та ріжучим інструментом, в наслідок налипання та зварювання.

- Дифузійний – розчинення реагуючих пар матеріалу заготовки та матеріалу ріжучого інструменту.

- Окислювальний – виникає в ході хімічної реакції кисню з кобальтовою фазою твердих сплавів, карбідів титану та вольфраму при температурі 700-800 °С. При цьому послаблюється зв'язок між зернами карбідів, що призводить до виривання карбідних зерен силами тертя під час обробки.

У ході обробки усі вищезазначені види зносу мають місце, але у залежності від умов обробки, матеріалів заготовки та інструменту, хімічних та фізичних властивостей мастильно охолоджувальної рідини (МОР), геометрії ріжучого інструменту один із видів зносу буде зазвичай переважати.

Зношення по задній поверхні h_z можна виміряти за допомогою лупи або мікроскопу (візуально оптичний метод контролю).

Сумарний знос по передній та задній поверхні можна визначити використовуючи метод зважування, зважуючи на терезах інструмент до і після проведення дослідів.

Метод радіоактивних ізотопів також дозволяє визначити сумарний знос. В основі цього методу полягає опромінення інструменту ядерними частинками, які в

виді радіоактивних ізотопів будуть виноситися зі стружкою. За допомогою спеціального лічильника по радіоактивності стружки і визначають величину зносу.

У ході експерименту знос будемо контролювати по задній поверхні h_3 , за допомогою візуально оптичного методу контролю. В якості пристрою для контролю будемо використовувати стереоскопічний мікроскоп МБС-9 із ціною поділки від 0,17 мм до 0,014 мм.

3.3 Експериментальна установка

Для проведення експерименту було використано вертикальний оброблюючий центр MAG FADAL VMC 4020 FX із системою ЧПК Fanuc 0i-MC (рис. 3.1)



Рисунок 3.1 – MAG FADAL VMC 4020 FX.

Характеристики верстату та його паспортні дані в наведено у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Характеристики верстату MAG FADAL VMC 4020 FX

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Частота обертання шпинделю	об/хв	10000
Кількість інструментів	шт.	24
Хід X/Y/Z	мм	1016/508/508
Розмір столу	мм	1219×508
Навантаження на стіл	кг	1600
Конус шпинделя		SK-40
Швидкість робочої подачі	м/хв	20
Прискорений хід	м/хв	25
Потужність	кВт	11
Габаритні розміри верстата	мм	2946×2413×2921
Вага верстата	кг	4900

Для вимірювання зносу будемо використовувати мікроскоп МБС-9. Фото установки для вимірювання та контролю зображене на рисунку (рис. 3.2)



Рисунок 3.2 – Установка для вимірювання зношення інструменту

Технічні характеристики мікроскопу наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Характеристики мікроскопу МБС-9

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
Збільшення	крат	3,33-100
Лінійне поле зору	мм	39,3-2,4
Робоча відстань мікроскопу	мм	64
Габарити	мм	230x190x420
Маса	кг	7

Щоб закріпити фрезу для проведення вимірювання використовуємо цанговий патрон DIN 69871 (DIN ISO 7388-1) SK-40 та цангу ER-25 діаметром 8 мм. Для встановлення цангового патрону використовуємо призму.

Для обробки та проведення експерименту будемо використовувати такий же самий цанговий патрон та цангу.

Фреза якою будемо проводити експеримент – кінцева фреза LN4EM діаметром 8 мм (LN4EM-080). Кут підйому гвинтової канавки фрези $\omega = 35^\circ$, передній кут $\gamma = 8^\circ$, задній кут $\alpha = 12^\circ$, кут загострення $\beta = -3^\circ$.

Заготовка яку будемо використовувати під час експерименту має габарити діаметр 125x27 мм. Матеріал заготовки – корозійна жароміцна сталь 20X13 (зарубіжні аналоги - AISI 420, 1.4021, X20Cr13). Вибір сталі зумовлений її використанням для виготовлення деталі «Направляючий апарат». Склад сталі та її характеристики більш детально розглянуто у розділі 1, пункт 1.2.

Закріплення заготовки проводимо у трьохкулачковому патроні 3234-250-6-СТ Vizon діаметром 250 мм (аналог 7100-0035 ГОСТ 2675).

Фотографія фрези, цангового патрону, заготовки та принципу її закріплення у трьохкулачковому патроні на столі оброблюючого центру наведено на рисунку 3.3



Рисунок 3.3 – Закріплення фрези та заготовки в ході експерименту

Для збереження оригінальних кутів інструменту (ручна переточка інструменту не дасть необхідну точність) при переточуванні будемо використовувати заточний верстат EMG GH 20T. Фото верстату приведено на рисунку 3.4



Рисунок 3.4 – Заточний верстат EMG GH 20T

3.4 План експерименту

План експерименту та обрані режими обробки зображено у таблиці 3.2

Таблиця 3.2 - План експерименту

№	Швидкість різання V , м/хв	Частота обертання шпинделя N , об/хв	Подача S , мм/хв	Глибина різання, мм	Кількість проходів
1	40	1592	180	1	3
2	114	4518	180		
3	40	1592	225		
4	114	4518	225		
5	77	3065	203		

Траєкторія обробки для експерименту показана на рисунку 3.5, для всіх проходів та експериментів вона буде однаковою.

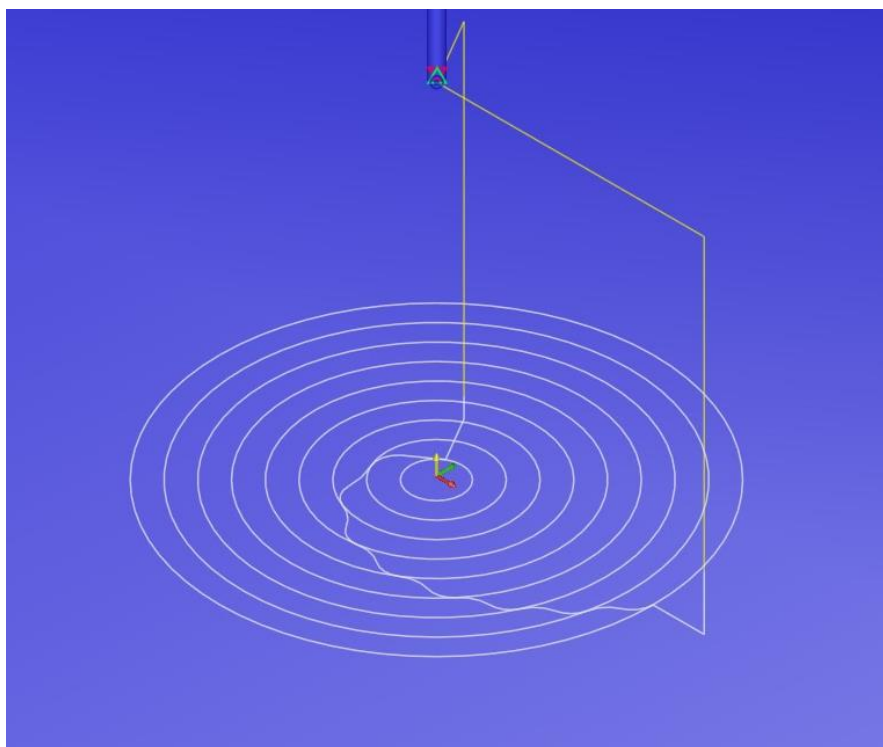
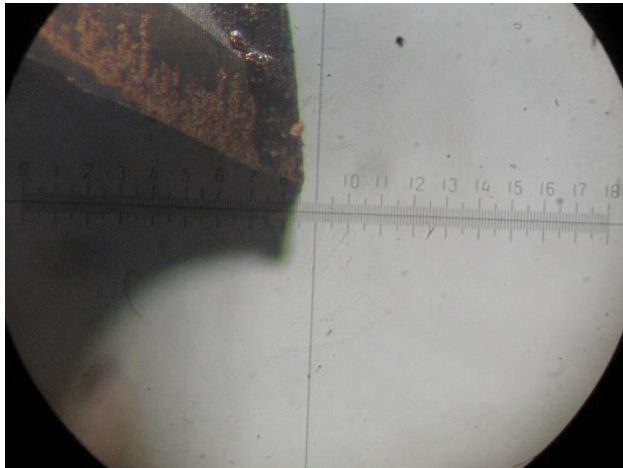


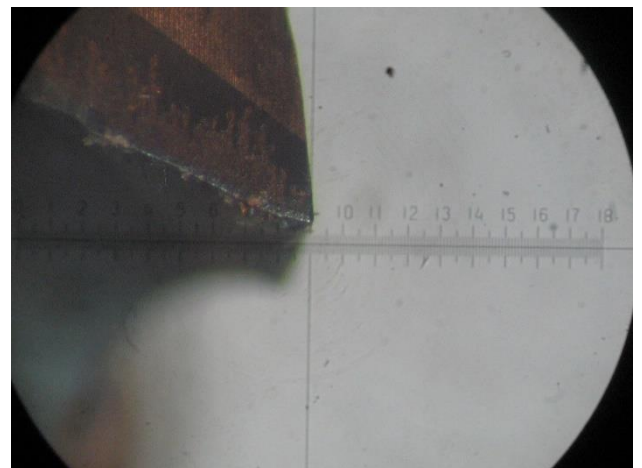
Рисунок 3.5 – Траєкторія обробки

3.5 Хід та результати експерименту

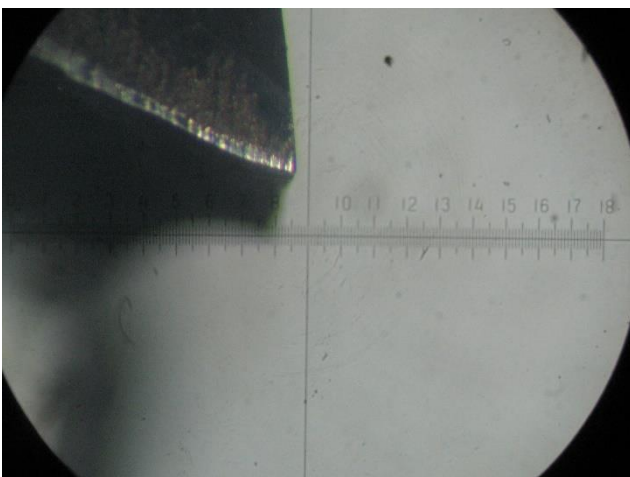
1) Режими різання: $V = 40$ м/хв, $N = 1592$ об/хв, $S = 180$ мм/хв. Знімки з мікроскопу зображено на рисунку 3.6.



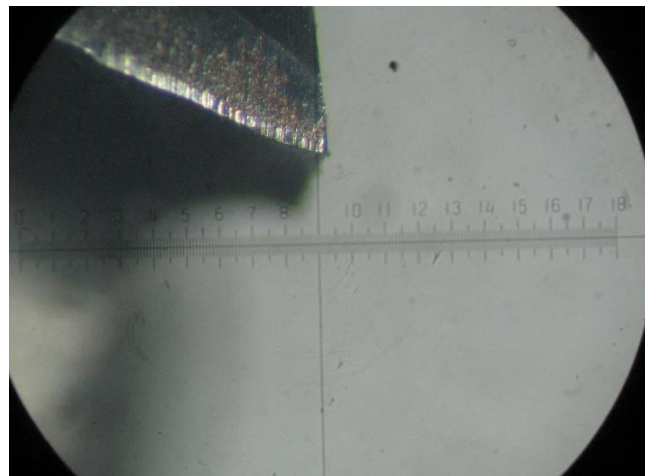
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.6 – нова фреза (а), фреза після першого проходу (б), фреза після другого проходу (в) та фреза після третього проходу (г).

Вимірюємо висоту фаски зносу, та будуємо графік згідно отриманих даних. Графік для даних режимів побудовано на рисунку 3.7.

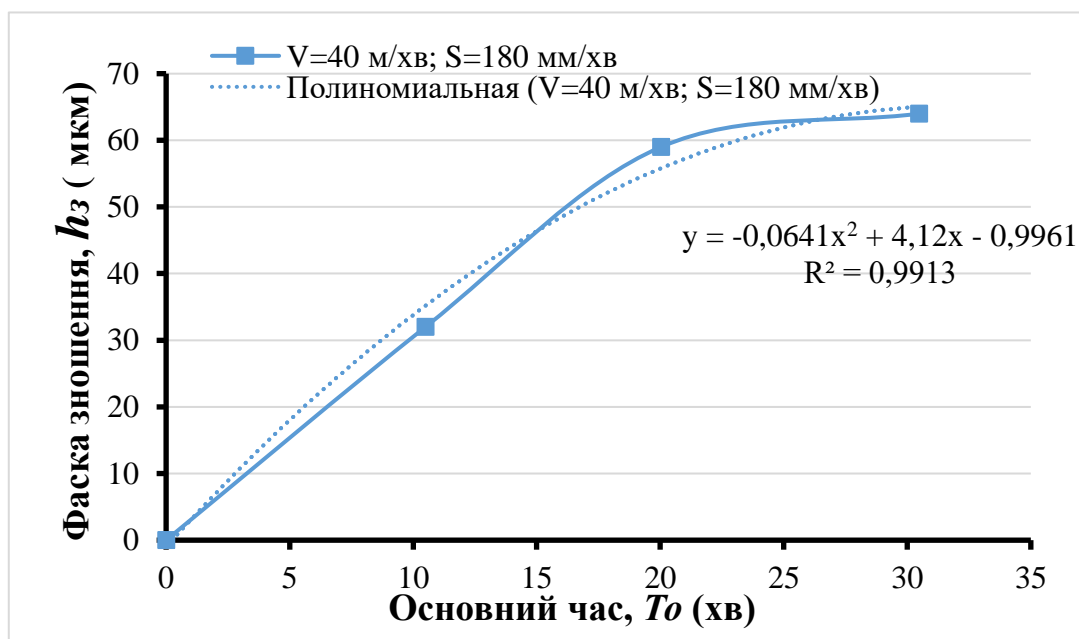


Рисунок 3.7 – графік зношення для першого інструменту

Дані режими було обрано за каталогом виробника. Знос є цілком прийнятним та становить 32 мкм для першого проходу, 59 мкм для другого, та 64 мкм для третього проходу. Загальний час обробки становить 30 хвилин 29 секунд.

2) Режими різання: $V = 114$ м/хв, $N = 4518$ об/хв, $S = 180$ мм/хв (рис 3.8).

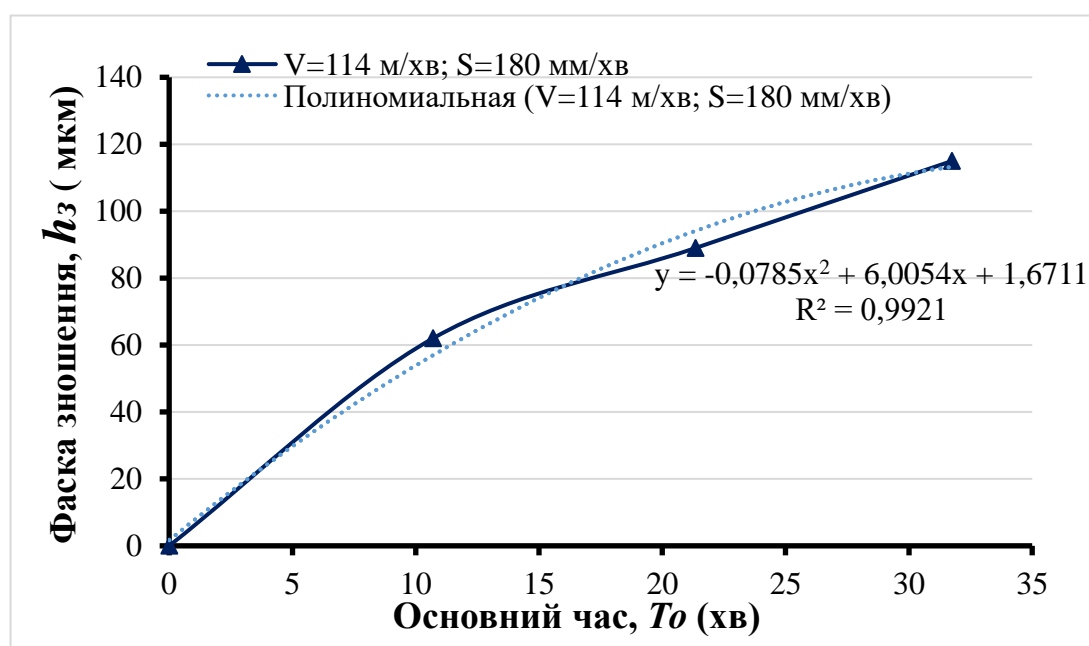


Рисунок 3.8 – графік зношення для другого експерименту

Дані режими є комбінованими, подача обрана за каталогом, а оберти обрані із розрахунків режимів аналітичним методом. У порівнянні із попередніми режимами знос збільшився майже в два рази. Він становить 62 мкм для першого проходу, 89 мкм для другого, та 115 мкм для третього проходу. Загальний час обробки - 31 хвилина 45 секунд.

3) Режими різання: $V = 40$ м/хв, $N = 1592$ об/хв, $S = 225$ мм/хв. Графік для даного експерименту побудовано на рисунку 3.9

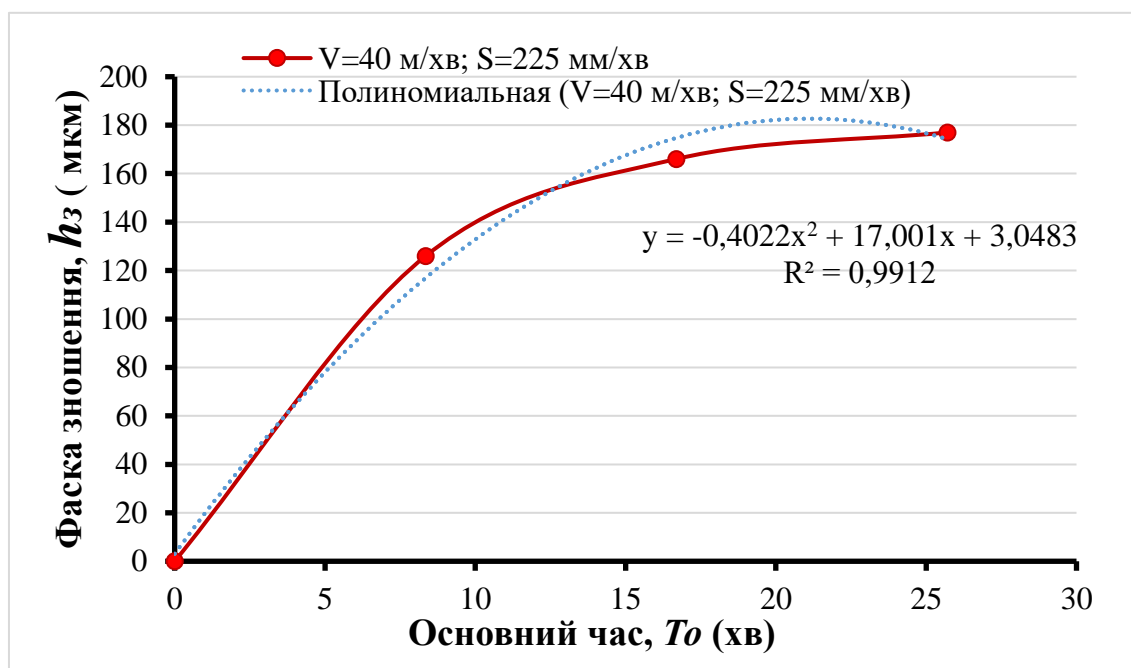


Рисунок 3.9 – графік зносу для третього експерименту

Ці режими також є поєднанням аналітичних та режимів із каталогу виробника. Подача була обрана із аналітичного розрахунку, а частота обертання шпинделю із каталогу. У порівнянні із попередніми режимами знос збільшився та становить 126 мкм для першого проходу, 166 мкм для другого, та 177 мкм для третього проходу. Загальний час обробки становить 25 хвилин 42 секунди.

4) Режими різання: $V = 114$ м/хв, $N = 4518$ об/хв, $S = 225$ мм/хв. Графік для даного експерименту побудовано на рисунку 3.10

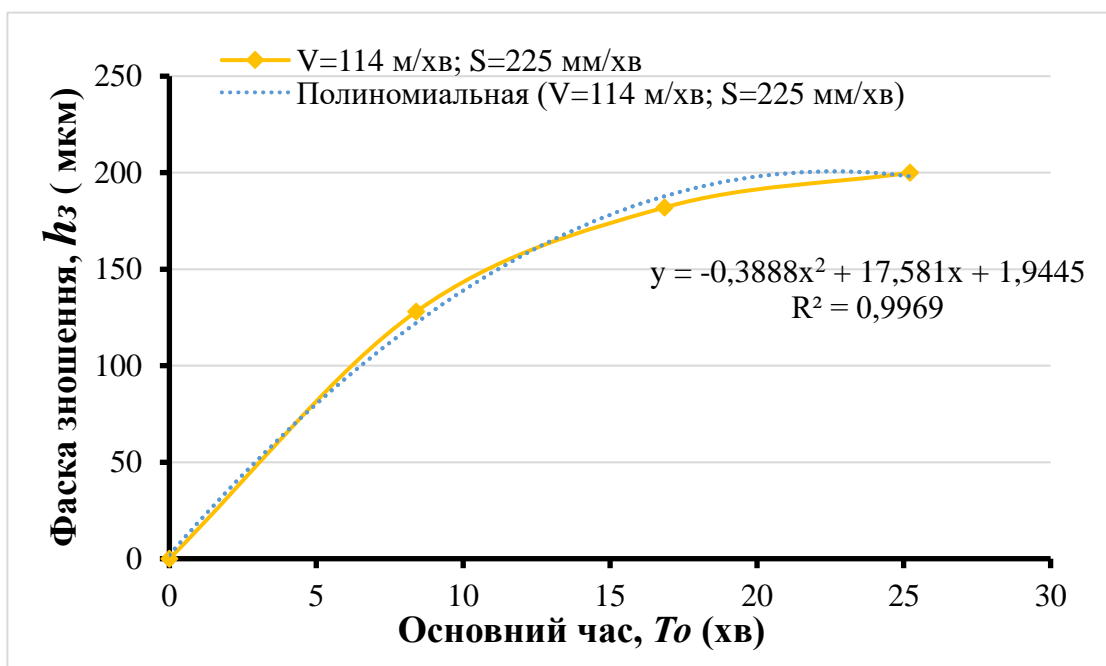
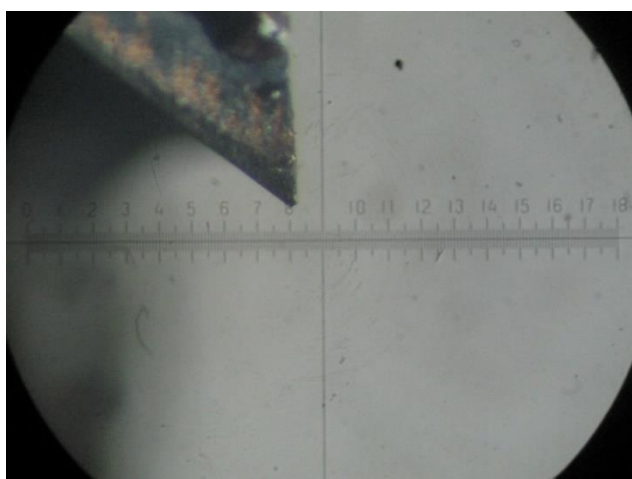
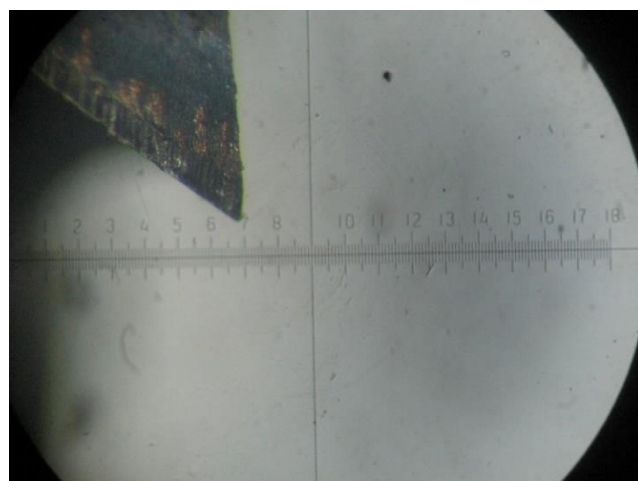


Рисунок 3.9 – графік зносу для четвертого експерименту

Дані режими розраховані аналітичним методом. Знос на заданих режимах є найбільшим у всьому експерименті, також в ході обробки на ріжучій кромці утворився нарост. Знімки з мікроскопу для даного експерименту зображено на рисунку 3.10



а)



б)

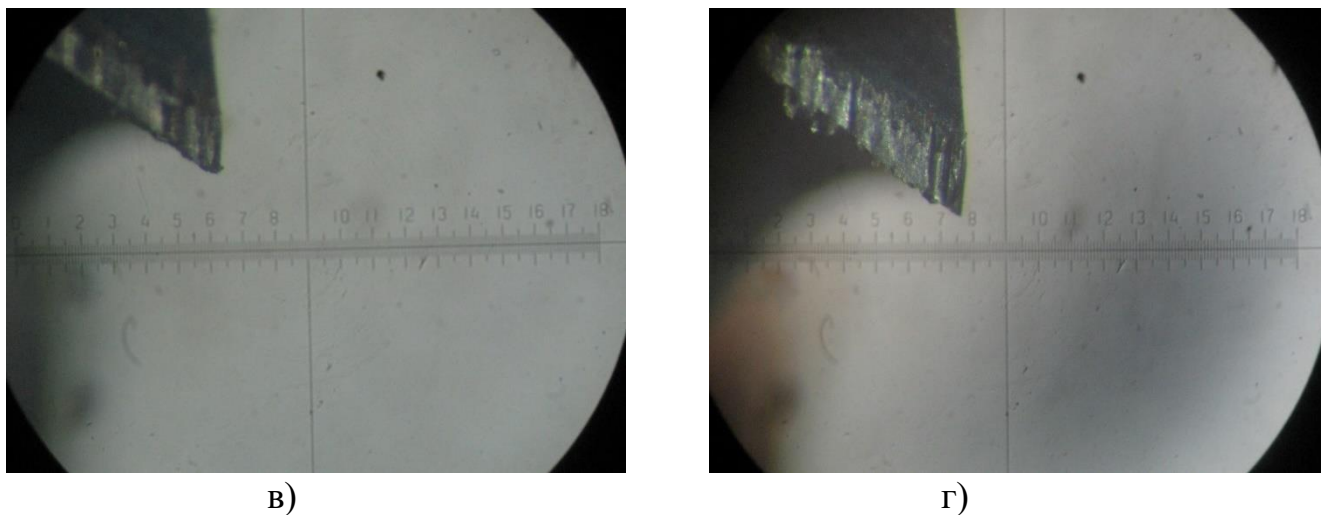


Рисунок 3.10 – наростоутворення та зношення в ході експерименту. Нова фреза (а), фреза після першого проходу (б), фреза після другого проходу (в) та фреза після третього проходу (г).

Знос становить 128 мкм для першого проходу, 182 мкм для другого, та 200 мкм для третього проходу. Загальний час обробки становить 25 хвилин 13 секунд.

5) Режими різання: $V = 77$ м/хв, $N = 3065$ об/хв, $S = 203$ мм/хв. (рис 3.11)

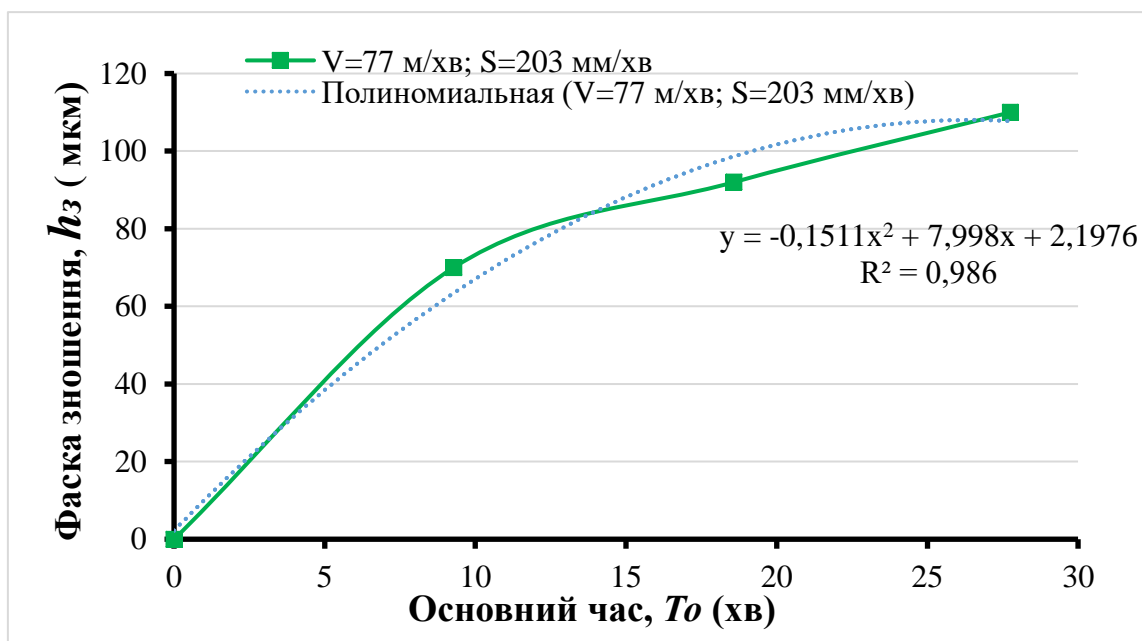


Рисунок 3.11 – графік зносу для п'ятого експерименту

Дані режими усередненими для каталожних режимів та режимів розрахованих аналітичним методом. Знос становить 72 мкм для першого проходу, 92 мкм для другого, та 110 мкм для третього проходу. Загальний час обробки становить 27 хвилин 46 секунд.

Порівняємо результати між собою склавши загальний графік (рисунок 3.12)

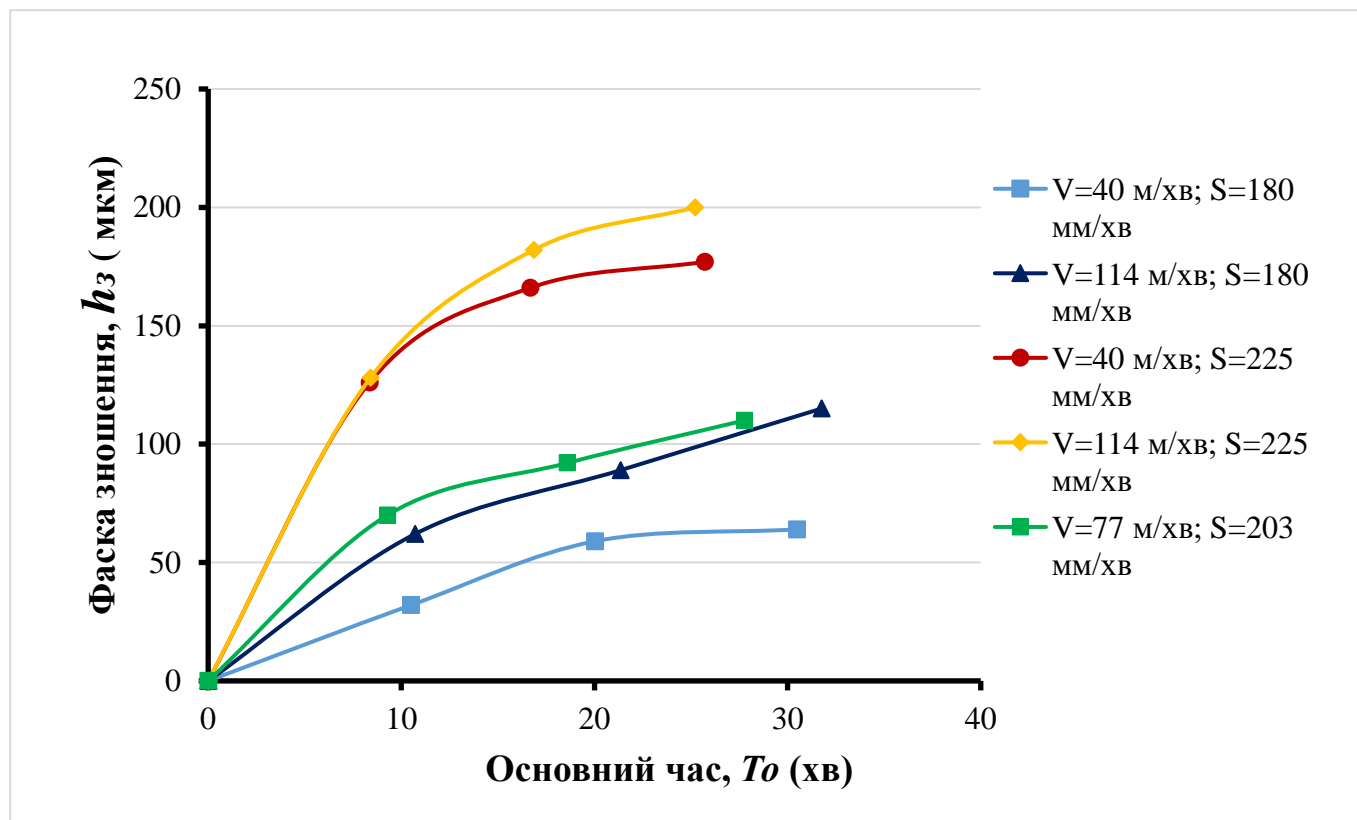


Рисунок 3.12 – загальний порівняльний графік

Як можна побачити, найбільший знос та найменший час обробки на режимах розрахованих аналітичним методом. Найменший знос у режимів рекомендованих виробником, але ці режими мають більший час обробки. Усереднений режим має баланс між часом обробки та зношенням, що в свою чергу дозволяє отримати найбільш раціональний баланс між часом обробки та зношенням ріжучого інструменту.

3.5 Висновки

1. На базі верстата Fadal VMC 4020 FX було проведено експериментальне дослідження по визначенню впливу режимів різання на зношення різального інструменту при фрезеруванні сталі 20X13.

2. В результаті планування експериментального дослідження було отримано план експерименту що складався з п'яти дослідів у ході яких варіювалися швидкість різання в діапазоні від 40 до 114 м/хв та хвилинна подача від 180 до 225 мм/хв.

3. Результати вимірювання фаски зношення по задні поверхні допоміжної різальної кромки кінцевої фрези з твердого сплаву засвідчило зростання інтенсивності зношення різального інструменту зі збільшенням швидкості різання. Отримані результати вимірювання фаски зношення варіювалися у діапазоні значень від 60 до 200 мкм після трьох проходів, що еквівалентно 2,24 м шляху різання.

4. Експериментально підтверджено, що найбільш раціональним режимом різання є швидкість різання $V=77$ м/хв, хвилинна подача $S=203$ мм/хв, вони дозволяє досягти раціональний баланс між основним часом обробки та зношенням кінцевої фрези.

Висновки

У ході виконання дипломного проекту було виконано наступний обсяг робіт:

При аналізі службового призначення деталі були відображені основні характеристики і призначення вузла та машини. Було проведено якісний аналіз поверхонь деталі, а також їх функцій. Проведено аналіз креслення деталі на відповідність діючим стандартам та на наявність усіх необхідних розмірів, допусків форми та розташування, тощо. Був визначений тип виробництва та партія запуску, порівняно декілька способів отримання заготовок для вибору найбільш економічно раціонального.

Під час аналізу технологічного процесу виготовлення деталі було внесено зміни, які були спрямовані на його вдосконалення, а саме заміна обладнання на більш сучасне, використання сучасного ріжучого інструменту та спеціального верстатного пристрою для фрезерної операції, що в свою чергу дозволяє підвищити продуктивність праці. Виконано розрахунок режимів різання та нормування, розроблено комплект технічної документації.

В ході проведеного експерименту було проаналізовано стійкість та знос інструменту на вибраних режимах та обрано найбільш раціональні режими різання різання для фрезерної операції з ЧПК.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Горбацевич, А. Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. – 4-е изд., перераб. и доп. – Минск : Вышэйш. школа, 1983. – 256 с.
2. Кован, В. М. Расчет припусков на обработку в машиностроении: справ. Пособие / В.М. Кован – Машгиз, 1953 – 230 с.
3. Ансеров, М. А. Приспособления для металлорежущих станков. / М. А. Ансеров – изд. 4, исправл. и доп. – Ленинград : Машиностроение, 1975. – 656 с.
4. Справочник технолога машиностроителя: в 2 т. / под ред. А. Г. Косиловой и Р. К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Машиностроение, 1986. – т. 2 – 496 с.
5. Егоров, М. Е. Технология машиностроения / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев; под ред. М. Е. Егорова. – 2 изд. доп. – Москва : Высшая школа, 1976 – 534 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного при работе на металлорежущих станках. Мелкосерийное и единичное производство. / под ред. Р. И. Хисина – Москва: Машиностроение, 1965. – 159 с.
7. Методические указания к выполнению контрольной работы по проектированию станочных приспособлений для студентов заочной формы обучения специальности 0501 «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты» / сост. Г. С. Чумаков. – Харьков: ХПИ, 1986. – 34 с.
8. Корсаков, В. С. Основы конструирования приспособлений в машиностроении / В. С. Корсаков. – Москва: Машиностроение, 1971. – 288 с.
9. Типовые конструкции станочных приспособлений на базе типовых технологических процессов. Руководящие материалы. – Москва: Оргстанкинпром, 1971 – 1972. – Ч. 1 – 7.

10. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.
11. ТаегуТес Общий каталог / 6114802, СТ 03/2013 - 2013 – 352с.
12. «Основи охорони праці» курс лекцій для студентів всіх спеціальностей ХДАДМ денної та заочної форм навчання. / Ємельянова Л.В., Граніна Н.В., Кашуба С.А., Бондарчук І.Г. – Харків : ХДАДМ, 2014 – 134 с.
13. Якобс Г.Ю. Оптимизация резания/ Г.Ю. Якобс, Э. Якоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
14. Даффин Р. Геометрическое программирование/ Р. Даффин, Э. Питерсон, К. Зенер. - М.: Мир, 1972.- 312 с.
15. Реклейтис Г. Оптимизация в технике/ Г. Реклейтис, А. Рейвиндран, К. Рэгсдел - М.: Мир, 1986. Кн. 2. - 320 с.
16. Ивченко Т.Г. Использование метода геометрического программирования для расчета оптимальных режимов резания при точении//Научный вестник ДГМА, №2(8Е), 2011. – С. 110 – 116.
17. Ивченко Т.Г. Оптимизация режимов резания при чистовом и тонком точении методом геометрического программирования/ Т.Г. Ивченко, Е.Е. Шальская// Прогрессивные технологии и системы машиностроения. - Донецк: ДонНТУ, 2010. – Вып.39. – С.91-97.
18. Темчин Г.И. Теория и расчет многоинструментальных наладок. – М.: Машгиз, 1957. – 320 с.
19. Гильман А.М. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках/ А.М. Гильман, Л.А. Брахман, Д.И. Батищев. – М.: Машиностроение, 1972. – 188 с.
20. Ишуткин В.И. Расчет режимов резания на автоматах и полуавтоматах. – Вестник машиностроения, 1969, № 7. –С. 21-27.
21. Грановский Г.И. О методике исследования и назначения режимов резания на автоматических линиях. Вестник машиностроения, 1963. № 10. – С. 7- 12.

22. Грановский Г.И. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов/ Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. – М.: Высш. Шк., 1985. – 304 с.258
23. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 273 с.
24. Макаров А.Д. Оптимизация процессов резания.– М.: Машиностроение, 1976.– 278 с.
25. Резников А.Н. Теплофизика резания. – М.: Машиностроение, 1969. – 288 с.
26. Армареги И.Дж. Обработка металлов резанием/ И.Дж. Армареги, Р.Х. Браун. – М.: Машиностроение, 1977. – 325 с.
27. Гильман А.М. Оптимизация режимов обработки на металлорежущих станках/ А.М. Гильман, Л.А. Брахман, Д.И. Батищев. – М.: Машиностроение, 1972. – 188 с.
28. Игумнов Б.Н. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий. - М.: Машиностроение, 1974. –200 с.
29. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигалко. – Минск: Выш. школа, 1975. – 528 с.
30. Ящерицын П.И. Основы резания материалов и режущий инструмент/ П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, М.И. Жигалко. – Минск: Выш. школа, 1981. – 560 с.
31. Солоненко В.Г. Резание металлов и режущие инструменты: Учебное пособие/ В.Г. Солоненко, А.А. Рыжкин. – М.: ИНФРА-М, 2013. – 416 с.
33. Жедь В.П. Метод расчета оптимальных режимов резания /В.П. Жедь, А.И. Сосон, В.М. Башков //Вестник машиностроения. - 1979. - №9. – С.43-45.
32. ГОСТ 3.1105-84. Формы и правила оформления документов общего назначения.
33. ГОСТ 3.1107-81 ЕСТД. Опоры, зажимы и установочные устройства. Графические обозначения.
33. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски.
34. ГОСТ 8908-81. Основные нормы взаимозаменяемости.

35. СНиП 3.05.06-85 Электротехнические устройства
36. ДБН В.2.5-28:2018 Природне і штучне освітлення
37. ГОСТ 12.1.005-88 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны
38. ДСТУ 2890-94 Тара і транспортування
39. ДСН 3.3.6.037-99 Санитарные нормы производственного шума, ультразвука и инфразвука
40. ДСН 3.3.6.039-99 Государственные санитарные нормы производственной общей и локальной вибрации
41. ДСТУ Б Д.2.6-3:2012 Ресурсные элементные сметные нормы на пусконаладочные работы. Системы вентиляции и кондиционирования воздуха
42. ГОСТ 12.0.003-74 Опасные и вредные производственные факторы. Классификация
43. ГОСТ 13128-2016 Безопасность металлообрабатывающих станков.
44. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні
45. ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ Процессы производственные. Общие требования безопасности.
46. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Електробезпека. Захисне заземлення. Занулення
47. ГОСТ 12.4.275-2014 Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования
48. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
49. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування