

**ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»**

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

Кафедра технології машинобудування верстатів та інструментів
(повна назва кафедри, (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи (проєкту)

другий (магістерський)
(освітньо-професійний рівень)

на тему *«Удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки
насади 03.104.66.05 шляхом застосування високопродуктивних
інструментів та оснастки»*

Виконав: студент II курсу, групи ТМм–11
спеціальності:

131 «Прикладна механіка»
(шифр і назва спеціальності)

освітньої програми:

«Технології машинобудування»
(назва освітньої програми)

Дмитро БОЙКО
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник *Павло КУШНІРОВ*
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент *Сергій БОНДАРЕВ*
(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

_____ Віталій ІВАНОВ

« » _____ 2022 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) СТУДЕНТУ

Бойко Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки насоса 03.104.66.05 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки

керівник проекту *Кушніров Павло Васильович, канд. техн. наук, доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «10» листопада 2022 року №1049-VI

2. Строк подання студентом проекту (роботи) «17» грудня 2022 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

3.1 Робоче креслення деталі «Втулка насоса 03.104.66.05».

3.2 Річний обсяг випуску деталей – 1500 шт.

3.3 Базовий технологічний процес виготовлення деталі «втулка насоса».

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

4.1 Виконати аналіз службового призначення деталі та технології її оброблення.

4.2 Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.

4.3 Наукове дослідження.

4.4 Розробити конструкцію контрольно-вимірювального пристрою.

4.5 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою

5.5 Креслення контрольно-вимірювального пристрою

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв
Розділ з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	<i>Віра ФАЛЬКО</i> , ст. викладач кафедри ЕтаПТ		

7. Дата видачі завдання «25» вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	1. Виконати аналіз службового призначення деталі та технології її оброблення.	10.09.2022	Виконано
2	2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.	15.10.2022	Виконано
3	3. Розробити конструкцію верстатного пристрою та виконати його дослідження.	27.11.2022	Виконано
4	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.	03.12.2022	Виконано
5	Оформлення роботи.	12.12.2022	Виконано
6	Оформлення слайдів у форматі Power Point	14.12.2022	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Дмитро БОЙКО

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Павло КУШНІРОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій ІВАНОВ

«_____» _____ 2022 р.

**УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ВИГОТОВЛЕННЯ ВТУЛКИ НАСОСА 03.104.66.05 ШЛЯХОМ
ЗАСТОСУВАННЯ ВИСОКОПРОДУКТИВНИХ
ІНСТРУМЕНТІВ ТА ОСНАСТКИ**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра
Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»
Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

Дмитро БОЙКО

Керівник

Павло КУШНІРОВ

Консультант з охорони праці
та безпеки в надзвичайних ситуаціях

Віра ФАЛЬКО

Нормоконтроль

Олександр ІВЧЕНКО

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 130 сторінках, включає 23 рисунки, 19 таблиць, бібліографії із 33 джерел.

Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатоміжклатурністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції тому необхідно для збереження конкурентоздатності підприємства максимально знижувати собівартість виготовлення продукції. Впровадження будь-якого верстатного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності та швидкості оброблення, а отже розроблення і чисельне моделювання конструкції верстатного пристрою являє актуальну наукову й практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки насоса 03.104.66.05 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення втулки насоса.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для оброблення втулки насоса.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. У для реалізації завдань графічної частини кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище Autodesk Inventor, а для дослідження конструкції верстатного пристрою пакет ANSYS Workbench.

Наукова новизна: удосконалена методика проведення дослідження компонентування верстатних пристроїв на прикладі обробки деталі «Втулка насоса» з метою визначення можливості оброблення на операції свердління, при яких забезпечується необхідна точність виготовлення при достатній жорсткості пристрою.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВТУЛКА НАСОСА, ЗАГОТОВКА, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ, РЕЖИМ РІЗАННЯ

ABSTRACT

The explanatory note was made on 96 pages, includes 23 figures, 19 tables, bibliographies from 33 sources.

Modern machine-building production is characterized by a wide range of products and the instability of production volumes, so it is necessary to reduce the cost of manufacturing products as much as possible in order to preserve the competitiveness of the enterprise. The introduction of any machine tool into the production process must be justified by the criteria of achieving the necessary accuracy and speed of processing, and therefore the development and numerical modeling of the machine tool design is an actual scientific and practical task.

The purpose of the study is improvement of the manufacturing process of the pump sleeve 03.104.66.05 by using high-performance tools and equipment.

The object of research is the technological process of manufacturing pump sleeve.

The subject of research is a machine tool for processing the pump sleeve.

Research methods. The work was performed using modern provisions of machine-building technology and the design of advanced technological processes using CNC machine tools, cutting tools with replaceable non-sharpening plates, as well as advanced technological equipment. The Autodesk Inventor software environment was used to implement the tasks of the graphic part of the qualification work, and the ANSYS Workbench package was used to study the design of the machine tool.

Scientific novelty: an improved method of conducting a study of the layout of machine tools using the example of the processing of the part "Pump sleeve" in order to determine the possibility of processing for milling operations, in which non-circumventive manufacturing accuracy is ensured with sufficient rigidity of the device.

TECHNOLOGICAL PROCESS, PUMP SLEEVE, OPTIMIZATION, FIXTURE,
CUTTING CONDITIONS

ЗМІСТ

Вступ.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	6
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. Опис конструктивних особливостей та умов експлуатації	6
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення	9
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва	12
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі	13
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі	17
1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	20
РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	22
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального	22
2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки	23
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання	29
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки	32
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів	39
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів.....	43
2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій.....	44
2.8 Проектування засобів технологічного оснащення	47
2.9 Техніко-економічне обґрунтування запропонованого технологічного процесу	75
2.11 Висновок	81
РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	83
3.1. Аналіз досліджень у галузі проектування верстатних пристроїв	83

3.2 Теоретичне обґрунтування вибраного методу дослідження	85
3.3 Розроблення 3D – моделі конструкції верстатного пристрою та його скінчено-елементне дослідження	87
3.4 Висновок	93
ВИСНОВКИ.....	94
СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	96
ДОДАТОК А КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ	
ДОДАТОК Б РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ТИПУ ВИРОБНИЦТВА.....	
ДОДАТОК В РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ПРИПУСКІВ.....	
ДОДАТОК Г СПЕЦИФІКАЦІЯ НА ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ	
ДОДАТОК Д СПЕЦИФІКАЦІЯ НА КОНТРОЛЬНО-ВИМІРЮВАЛЬНИЙ ПРИСТРІЙ	
ДОДАТОК Е КРЕСЛЕННЯ ЗАГОТОВКИ.....	
ДОДАТОК Ж КРЕСЛЕННЯ МАРШРУТНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	
ДОДАТОК К КРЕСЛЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ.....	
ДОДАТОК Л КРЕСЛЕННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ.....	
ДОДАТОК М СКЛАДАЛЬНЕ КРЕСЛЕННЯ КОНТРОЛЬНОГО ПРИСТРОЮ.....	
ДОДАТОК Н ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
Н.1 Аналіз шкідливих і небезпечних факторів на ділянці з виготовлення деталі «Втулка насоса»	
Н.2 Розрахунок освітленості робочої зони, розрахунок природнього та штучного освітлення.....	
Н.3 Безпека в надзвичайних ситуаціях	
Н.4 Висновки	3
ДОДАТОК П МАТЕРІАЛИ ПУБЛІКАЦІЇ	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасне машинобудівне виробництво характеризується багатомономенклатурністю виробів і нестабільністю обсягів випуску продукції. Машинобудування, що поставляє нову техніку у всі галузі народного господарства, визначає технічний прогрес країни і робить вирішальний вплив на створення матеріальної бази нового суспільства, тому необхідно для збереження конкурентоздатності підприємства максимально знижувати собівартість виготовлення продукції.

Верстатні пристрої відіграють важливу роль у виробництві якісної та конкурентоспроможної продукції, особливо в умовах багатомономенклатурного виробництва, яке вимагає швидкого переоснащення при переході до обробки деталей іншої номенклатури. Проблемою верстатних пристроїв, що проектуються є надмірна їх металомісткість. Впровадження будь-якого верстатного пристрою у виробничий процес повинно бути обґрунтовано за критеріями досягнення необхідної точності обробки, що задана конструктором на кресленнях деталей, що можуть бути оброблені у ньому, а отже це являє собою актуальну наукову й практичну задачу.

Метою дослідження є удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки насоса 03.104.66.05 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки.

Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення втулки насоса.

Предмет дослідження – верстатний пристрій для оброблення втулки насоса.

Методи дослідження. Робота виконана з використанням сучасних положень технології машинобудування та проектування прогресивних технологічних процесів із використанням верстатів із ЧПК, різальних інструментів зі змінними непереточувними пластинами, а також прогресивного технологічного оснащення. У для реалізації завдань графічної частини кваліфікаційної роботи використовувалось програмне середовище Autodesk Inventor, а для дослідження конструкції

верстатного пристрою пакет ANSYS Workbench.

Наукова новизна: удосконалена методика проведення дослідження компонування верстатних пристроїв на прикладі обробки деталі «Втулка насоса» з метою визначення можливості оброблення на операції фрезерування, при яких забезпечується не-обхідна точність виготовлення при достатній жорсткості пристрою.

На основі досліджень напружено-деформованого стану та модального аналізу конструкції верстатного пристрою виявлено параметри кожного з елементів запропонованої конструкції пристрою для свердління.

Практичне значення отриманих результатів для машинобудівної галузі полягає в можливості застосування розробленого верстатного пристрою на свердильних операціях деталей типу дисків, кришок, фланців.

Апробація результатів дослідження: матеріали магістерської роботи апробовано на міжнародній науково-технічній конференції (24-25 листопада 2022р.) «Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні»: м. Одеса, Національний університет «Одеська політехніка».

Публікації: тези конференції [14] (див. Додаток П):

Бойко, Д.О. Допоміжна опора верстатного пристрою зі сферичною основою [Текст] / Б.С. Басов, П.В. Кушніров, Д.О. Бойко // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 24-25 листопада 2022 р., м. Одеса.– Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2022. – С. 21-22.

Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 96 сторінок, у тому числі 23 рисунки, 19 таблиць, бібліографії із 33 джерел на п'яти сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Насоси відцентрові призначені для роботи в якості підпірних або малих магістральних насосів, що перекачують нафту і нафтопродукти. А також в якості насосів для внутрішньо паркової перекачування, залізничних наливних естакад і морських терміналів.

Насоси відцентровані горизонтальні одноступінчасті з робочим колесом двостороннього входу і двухзавітковим спіральним відводом. Вхідний і напірний патрубки розташовані в нижній частині корпусу і спрямовані в протилежні сторони, що забезпечує зручний доступ до ротора без від'єднання патрубків від трубопроводу.

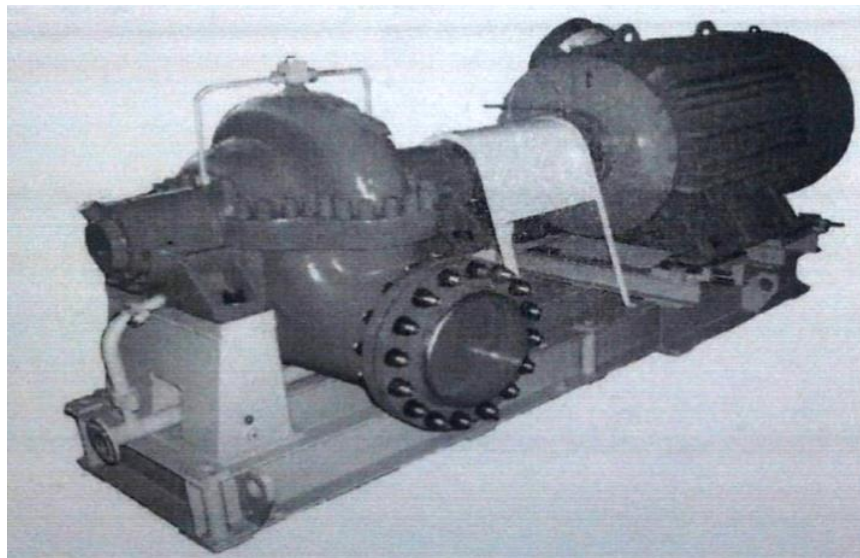


Рисунок 1.1 – Типовий насос

Опорами ротора служать підшипники кочення з консистентним мастилом. Кінцеві ущільнення - механічні торцеві, виконані відповідно до вимог стандарту API 682. Конструкцією насоса передбачена можливість заміни торцевих ущіль-

нень на сальникові. Насос і двигун встановлюються на загальній фундаментній плиті. Передача крутного моменту від двигуна до насоса здійснюється за допомогою муфти пружною пластичною або пружною втулково - пальцьовий.

По конструкції деталі типу втулки діляться на гладкі, з буртиком, з фланцем, розрізні і т.д.

Головна вимога, що пред'являється до подібних деталей, складається в досягненні концентричності зовнішніх і внутрішніх поверхонь втулок і перпендикулярності торців до осі центрального отвору.

Таблиця 1.1 – Характеристика насосів

№	Марка насоса	Подача м ³ /ч	Напор, м ³	Частота обертання об/хв	Потужність, кВт
1	ДН 1260-65	1250	65	1500	1000
2	ДН 600-80	600	80	1500	800

По конструкції деталі типу втулки діляться на гладкі, з буртиком, з фланцем, розрізні і т.д.

Головна вимога, що пред'являється до подібних деталей, складається в досягненні концентричності зовнішніх і внутрішніх поверхонь втулок і перпендикулярності торців до осі центрального отвору. Досягнення концентричності може бути забезпечено різними способами механічної обробки заготовки, а це, в свою чергу, позначається на виборі чорнових баз механічної обробки і на розподіл припусків при проектуванні заготовки.

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків

	X	Y	Z	Бази
1	0	0	1	ВБ
α	1	1	0	
1	1	1	0	ПОБ
α	0	0	0	

Таблиця 1.3 – Зв'язки, забезпечувані базами

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

Муфта валу - один із найпоширеніших елементів машин, оскільки вона відіграє важливу роль у системах передачі енергії. Таким чином, вони знаходять застосування в різних областях і умовах експлуатації.

Муфта - це механічний пристрій, який з'єднує однакові або різні вали в машинах для передачі енергії та руху. Зазвичай це тимчасове з'єднання (але в деяких випадках може бути постійним), яке можна видалити для обслуговування або заміни. Муфта може бути жорсткою або гнучкою.

У зв'язку з наявністю безлічі конструкцій, можуть існувати різні відмінності в конструкції та функціонуванні двох типів механічних муфт. Деякі муфти можуть з'єднуватися з валами без переміщення валу, у той час як для встановлення більшості муфт потрібно переміщення валу.

У більшості випадків муфта не змінює напрямку руху або кутову швидкість, на відміну від зубчастих передач. Муфта працює за рахунок постійної підтримки міцного, але гнучкого з'єднання між двома валами передачі руху від одного валу до іншого. Це відбувається за будь-яких значень навантажень і неспіввісності, не допускаючи відносного руху між двома валами.

Зубчаста муфта дуже схожа на фланцеву муфту. Однак вона є гнучким типом муфти і може використовуватися для неколінеарних валів. Зубчасті муфти допускають кутове зміщення близько 2 градусів та паралельне зміщення 0,25...0,5 мм.

У комплект поставки зубчастих муфт складається з двох ступиць (із зовнішніми зубами), двох фланцевих втулок (з внутрішніми зубами), ущільнень (ущільнювальні кільця і прокладки) і кріплення, що входить в комплект поставки.

Передача енергії між двома кінцями муфти відбувається через внутрішні та зовнішні зубчасті колеса у зубчастій муфті.

Зубчасті муфти здатні передавати великий момент, що крутить. Тому вони використовуються у важких умовах експлуатації. Для оптимальної роботи їм потрібне періодичне мастило (консистентне).

1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. Визначення технологічних завдань щодо її виготовлення

Показники технологічності поділяються на якісні і кількісні. До якісних показників відносяться наступні чинники:

- матеріал деталі;
- базування і закріплення;
- простановка розмірів;
- допуски форми і розташування;
- взаємозамінюваність;
- нетехнологічні конструктивні елементи.

До кількісних показників технологічності відносяться:

- коефіцієнт використання заготовки і матеріалу;
- коефіцієнт точності;
- коефіцієнт шорсткості;
- собівартість;
- коефіцієнт уніфікації.

Технологічною вважається та конструкція, обробка якої можлива з максимальною продуктивністю праці і мінімальною собівартістю.

Технічні вимоги на виготовлення деталі визначаються її службовим призначенням. В цілому оформлення креслення відповідає загальноприйнятим стандартам. На кресленні зображений один вид деталі в повздовжньому перерізі, що є цілком достатнім для тіл обертання. Додатково на кресленні вказаний вид збоку і два виносних елементи. Таким чином, креслення деталі містить всі необ-

хідні види і розрізи, що дають однозначне уявлення про форму та розміри деталі.

Розміри і вимоги креслення охоплюють всі формотворчих поверхні з зазначенням допусків на виготовлення. Позначення посадок і шорсткостей виконані відповідно до вимог по оформленню креслень по ЄСКД.

Розстановка розмірів, їх допусків, точності форми і взаємного розташування поверхонь, шорсткості – вірна, і дає повне уявлення про конфігурацію розглянутої деталі.

Матеріал деталі - легована сталь 20X13 ГОСТ 5949-75

Замінник - сталі: 12X13, 14X17H2.

Призначення. Осі, вали, шатуни, зубчасті колеса, вали екскаваторів, муфти, вали-шестерні, шпинделі, болти, натискні гвинти, важелі, штоки, Борштанги, циліндри, півкільця і інші відповідальні навантажені деталі, котрі піддаються вібраційним і динамічним навантаженням, до яких пред'являються вимоги підвищеної міцності і в'язкості.

Хімічний склад сталі див. таблицю 1.3.

Таблиця 1.3 - Хімічний склад сталі 20X13 по ГОСТ 5949-75, у відсотках.

C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu
0,16÷0,25	До 0,6	До 0,6	0,12-0,14	До 0,6	0,025	0,03	0,30

Таблиця 1.4 - Механічні властивості сталі 20X13 по ГОСТ 5949-75

Режим термообробки			перетин, мм	$\sigma_{0,2}$	σ_B	δ_5	ψ	КСУ, Дж/см ²	НВ
Операція	t, °C	Середовище охолодження		Н/мм ²		%			
				Не менше					
Загартування	1000-1050	масло повітря	60	63	830	10	50	59	126-197
Відпуск	600-700			5					

Технологічні властивості сталі 20X13.

Зварюваність матеріалу - обмежено зварювана.

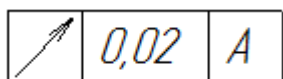
Флокеночутливість - не чутлива.

Схильність до відпускної крихкості –схильна.

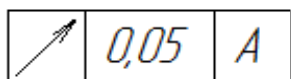
Деталь має відношення $L/D < 1$, що забезпечує достатню жорсткість при закріпленні і обробку без спеціальних пристосувань.

Базування та закріплення деталі не представить особливої складності, тому що зовнішня поверхня цілком придатна для цього. Заготовку можна закріпити в патрон, що самоцентрує з упором в торець.

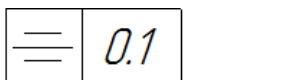
Проставлення розмірів виконане згідно вимог ЄСКД, відповідно, що забезпечує легке читання креслення, вільне виконання і контроль розмірів в процесі механічної обробки.



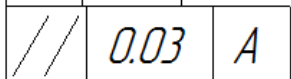
- допуск торцевого биття довжини 150мм відносно бази А отвору $\varnothing 80H7$ складає 0,02мм.



- допуск радіального биття $\varnothing 150f9$ мм відносно бази А складає 0,05мм.



- допуск симетричності бокових поверхонь паза складає 0,1мм допуск паралельності бокових поверхонь паза відносно бази А вісі отвору $\varnothing 80H7$ складає 0,03мм.



В деталі присутні такі не технологічні елементи як:

- Сфера $\varnothing 200$;
- Галтелі R2, R3;
- Отвір M8-7H який знаходиться на циліндричній поверхні;
- Нерівномірні перепади поверхонь;
- Глухі різьбові отвори M12-7.

Дані нетехнологічні елементи досягаються за допомогою спеціального ріжучого інструменту і верстатів з ЧПК.

В цілому ж креслення виконане з усіма вимогами ЄСКД, за винятком деяких неточностей зазначених вище. На кресленні досить видів і розрізів для подання форми деталі і можливості її виготовлення, також вказані всі розміри.

1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва

Тип виробництва за ДСТУ 3.1108 характеризується коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о.}$, який показує відношення всіх різних технологічних операцій, що виконуються або підлягають виконанню підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць.

Визначення $K_{з.о.}$ виконано на ЕОМ та результати наведені в додатку Б.

Так як у завданні вказано тип виробництва дрібносерійний, то вибираємо форму організації робіт – групову.

Ця форма організації робіт характерна для дрібносерійного і среднесерійного типів виробництва. Заготовки обробляються невеликими партіями, час обробки не погодили.

Особливості серійного виробництва обумовлюють економічну доцільність випуску продукції по циклічно повторюється графіком. При цьому виникають необхідні умови для встановлення суворого порядку чергування виробів в цехах, на виробничих ділянках і робочих місцях. Технологічне оснащення в основному універсальна. Великого поширення набули універсальні збірні переналагоджувані пристрої, що дозволяють істотно підвищити коефіцієнт оснащеності виробництва. Ріжучий інструмент: в основному стандартний, рідше – спеціальний.

Вимірвальний інструмент: в основному спеціальний, рідше – стандартний. Технічне нормування робіт ведеться за допомогою розрахунку. Технологічна документація детально розробляється для найбільш складних і відповідальних заготовок при одночасному застосуванні спрощеної документації для простих заготовок. Для них використовується гарячий і холодний прокат, лиття, поковки і штампування. Необхідна точність досягається методами автоматичного отримання розмірів, рідше – методом пробних ходів і замірів [5].

Характеристика заданого типу виробництва представлена у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Характеристика типу виробництва

Показники	Тип виробництва
	Дрібносерійне
Номенклатура виробів	Обмежена
Характер випуску	Періодичний, серіями
Повторюваність виробництва	Місячна
Устаткування й оснащення	Універсальне і спеціальне
Кваліфікація робітників	Всі кваліфікації
Собівартість виробу	Не дуже висока
Розташування обладнання	По групах
Спеціалізація робочих	Обмежена

1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Оцінка технологічності деталі «Втулка насоса» за якісними показниками включає в себе:

Один із факторів, який значно впливає на характер технологічного процесу, є технологічність конструкції машини та її деталей. Технологічністю називають сукупність властивостей конструкції, які визначають можливість досягнення оптимальних матеріальних затрат при виробництві, експлуатації та ремонті для заданих показників якості та умов виконання роботи.

Оцінку технологічності конструкції проводимо по якісним показникам. Якісна оцінка проводиться на етапі вивчення конструкції деталі та технологічних вимог на виготовлення та прийом.

Деталь «Втулка насоса», відноситься до тіл обертання, виготовляється зі сталі 20X13 ДСТУ 5632-2012. Проаналізувавши матеріал, використаний для виготовлення деталі, то він достатньо погано піддається лезовій обробці. В якості заміників даної можна використовувати наступні марки сталей вітчизняних аналогів: 30X13 ДСТУ 5632-2012, 40X13 ДСТУ 5632-2012.

Маса готової деталі становить 15 кг, тому на механічних операціях не треба застосовувати допоміжні підйомні механізми, тому це не збільшує допоміжний час та собівартість готової деталі. За масою деталь технологічна. Габарити деталі становлять $\varnothing 200 \times 150$ мм. Розміри робочої зони для обробки такої деталі

повинні бути невеликі, застосовуване обладнання буде мати невеликі габарити. Обладнання нормальної точності, тому його обслуговування має не велику вартість.

Креслення деталі виконане відповідно до стандартів, на ньому вказана достатня кількість видів і розрізів. Креслення можна прочитати без ускладнень. По даному пункту деталь технологічна.

Деталь «Втулка насоса» має як точні поверхні 7 квалітету із шорсткістю Ra 1,6 мкм, так і грубі квалітети 14 із шорсткістю Ra 6,3÷12,5 мкм, тому для забезпечення відповідної якості потрібна відповідна кількість операцій. Все це відбивається на собівартості виробу в цілому. Допуски радіального і торцевого биття досягаються завдяки принципам сумісності і постійності баз. Для отримання даних вимог треба використовувати точне чистове обладнання, достатню кількість операцій та переходів (чорнові та чистові), відповідні режими різання та технологічну оснастку. Вартість готової деталі збільшиться, тому що буде використовуватися точне обладнання, технологічна оснастка (вимірювальний інструмент).

З точки зору зручності базування дана деталь є нетехнологічною, так як необхідне застосування спеціальних пристроїв на певних стадіях обробки.

До нетехнологічних конструктивних елементів даної деталі можна віднести фаски в отворах 120°, шпонкові пази з допусками симетричності, сферу, глухі різьбові отвори, галтелі різного розміру.

З аналізу деталі на технологічність можна зробити висновок, що для заданого типу виробництва вона технологічна, хоча має деякі нетехнологічні елементи, але їх можна отримати, використовуючи спеціальні пристрої і різальний інструмент та верстати з ЧПК.

В цілому ж конструкція деталі технологічна і більшого вдосконалення, ніж це зробив конструктор без шкоди для службового призначення деталі і виробу, на даному етапі розвитку науки і техніки запропонувати неможливо.

Коефіцієнти використання заготовки по і матеріалу для базового і пропонованого технологічних процесів визначаються в пункті 1.4.

Для розрахунку коефіцієнта шорсткості і коефіцієнта точності необхідно скласти таблицю, в якій буде вказано характеристики (параметр шорсткості і якість точності) поверхонь деталі. Після складання таблиці за формулами визначаються коефіцієнти шорсткості і точності.

Кількісна оцінка технологічності деталі.

1. Коефіцієнт використання заготовки.

$$K_3 = \frac{m_d}{m_3} > 0,7 \quad ; \quad (1.1)$$

де $m_d = 15,06$ кг – маса деталі, $m_3 = 20,9$ кг – маса заготовки,

$K_3 = \frac{15,06}{20,9} = 0,72 > 0,7$ - умова виконується, деталь технологічна.

2. Коефіцієнт використання матеріалу K_M .

$$K_M = \frac{m_d}{m_3 + m_{ВВЗ}} > 0,64 \quad (1.2)$$

де $m_d = 15,06$ кг;

$m_3 = 20,9$ кг;

$m_{ВВЗ} = 0,2m_3 = 2$ кг – маса відходів виробництва заготовки,

$$K_M = \frac{15,06}{20,9+2} = 0,66 > 0,64$$

умова виконується.

3. Коефіцієнт точності обробки.

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{cp}} > 0,8 \quad (1.3)$$

де A_{cp} – середньоарифметичне значення квалітетів точності.

Рівень технологічності по ЄСТПП - 0.8

$K_T = 0,93 > 0,8$ - умова виконується

4. Коефіцієнт шорсткості.

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} < 0,32 \quad (1.4)$$

де B_{cp} – середньоарифметичне значення шорсткості по R_a .

$K_{ш} = 1/2,98 = 0,33 < 0,32$ - умова не виконується

Таблиця 1.6 – Оцінка точності поверхні

Найменування поверхні	К-ть поверхонь	Параметр шорсткості R_a , мкм	Квалітет точності
Внутрішні: Ø 80	1	1,6	7
Зовнішні: Ø 135	1	3,2	8
Ø 150	1	1,6	9
Ø 130	1	6,3	14
Лінійні: L 150	2	1,6	14
L 30	2	6,3	14
L 25	2	6,3	14
L 32,5	2	6,3	14
Інші: сфера Ø200	1	6,3	6
пази	2	3,2	9
зубья	56	1,6	6
отвіри M12-7H	4	3,2	7
отвір M8-7H	1	3,2	7
фаски 2x45°	5	6,3	14
конус 110°	4	12,5	14
Всього	85	253,5	662

Так як коефіцієнт шорсткості вийшов більше, ніж 0,32, то значить, що за даним критерієм деталь не технологічна.

1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі

Аналіз будемо проводити на підставі базового технологічного процесу. У цьому технологічному процесі послідовність механічної обробки відповідає загальноприйнятим етапам побудови технологічного процесу.

На першій технологічній операції проводиться обробка поверхонь, які на подальших операціях будуть прийняті за базові (чистові).

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі наведено в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі «Втулка насоса»

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	КГШП
010	Токарно - гвинторізна	16К20
015	Токарно - гвинторізна	16К20
020	Вертикально - свердлильна	2Л53У
025	Термічна	Піч термічна
030	Довбальна	7Д450
035	Зубофрезерна	5К32
040	Технічний контроль	Стіл ВТК

Технологічний процес виготовлення деталі в заводському варіанті виконаний як маршрутний, що відповідає одиничному типу виробництва. Він містить 8 операцій, з яких 5 операції механічної обробки, решта – контрольні, слюсарні та заготівельна.

Аналізуючи заводський технологічний процес можна сказати, що операції

обробки обрані вірно. Але є дрібні недоліки, які можливо викликані додатковими вимогами конструктора.

За нинішніх умов і конкуренції на ринку потрібно максимально використувати більш сучасні верстати, які дозволяли б обробляти деталь при високих швидкостях різання, були б жорсткими по конструкції і давали б необхідну точність. Цим вимогам відповідають верстати нових моделей з ЧПК, як наприклад HAAS. У маршрутному технологічному процесі не вказані способи базування і закріплення заготовки, на яких виконуються операційні розміри, докладно не розписаний ріжучий інструмент і вимірювальний інструмент. В даний час обраний застарілий інструмент (з напайними пластинами), що не дозволяє обробляти деталь на більш прогресивних режимах різання з використанням обладнання з ЧПК. Інструмент треба замінити на: різці з неперетачуваними багатограничними пластинами з твердого сплаву, а також використовувати для обробки твердосплавні свердла і фрези замість інструменту зі швидкоріжучої сталі, які дозволяють проводити обробку в 3-4 рази швидше в порівнянні з інструментом з швидкоріжучої сталі.

Вимірювальний інструмент використовуються застарілих конструкцій або безшкальні. Здійснювати вимірювання скобами і калібрами досить швидко і точно, але дорого для даного типу виробництва. Потрібно проектувати нові вимірювальні пристрої, що були б більш дешевші, ніж скоби, але більш точні при вимірюванні і відрізнялися б своєю універсальністю.

Режими різання обрані і розраховані правильно. Але через те, що обладнання та матеріали ріжучих інструментів на виробництві використовуються застарілі, то це ці режими недоцільно застосовувати для сучасних верстатів, так як ці верстати дозволяють працювати на більш прогресивних і форсованих режимах. При зміні цих недоліків можна буде підвищити режими різання до оптимальних. Отже, скоротити час обробки і підвищити точність виготовлення деталей.

Сучасні верстати з програмним управлінням поєднують точність спеціалізованих верстатів і мають більш високу продуктивність, ніж верстати загального призначення, що вироблялися раніше (в 2...5 разів). Область застосування верста-

тів з програмним керуванням досить широка як за характером технологічних операцій, так і за типами виробництв, для яких вони призначаються. За останньою ознакою створені й успішно використовуються верстати з програмним управлінням як для одиничного і дрібносерійного, так і для великосерійного і масового виробництва.

До основних умов доцільності застосування верстатів з програмним керуванням можна віднести наступне:

- обробку отворів складної геометричної форми, що вимагають застосування декількох послідовно працюючих інструментів, а також обробку груп отворів на свердлильних і розточувальних верстатах. Ці види обробки можуть бути виконані на верстатах з програмним керуванням без виготовлення спеціального оснащення (кондукторів, копирів і ін.), які зазвичай застосовуються на універсальних верстатах;

- необхідність побудови процесу за принципом концентрації операцій, тобто зосередження найбільшої кількості однотипних видів обробки на одному місці;

- необхідність зменшення частки допоміжного часу, який витрачається в розглянутій операції на прийоми, пов'язані зі зміною режимів різання, переходом з обробки однієї поверхні на іншу, зміною ріжучого інструменту та іншого, що зазвичай має місце при послідовній обробці декількох поверхонь на універсальних верстатах;

- обробку кількох аналогічних деталей на одному верстаті, що має місце в умовах серійного виробництва. В цьому випадку застосуванням верстатів з ЧПК можна скоротити час на переналагодження обладнання;

- можливість скорочення числа операторів впровадженням багатOVER-татного обслуговування.

Порівнявши маршрутний технологічний процес з типовим технологічним процесом на однотипні деталі ми не знаходимо істотних відмінностей. Тому зміну порядку технологічних операцій можна вважати недоцільним. Але, розглядаючи

рівень прогресивності методів обробки, ми бачимо, що вони не досить продуктивні.

Аналізуючи технологічний процес можна рекомендувати використовувати на токарній операції сучасні верстати з ЧПК наприклад HAAS, більш придатних за технічними характеристиками при обробці заданої деталі, ніж верстати 16K20Ф3, що дозволить значно скоротити час на обробку та збільшити точність обробки.

Аналіз вимірювального інструмента, яким проводиться контроль точності обробки, показав, що деякі параметри, такі як торцеве биття, в базовому технологічному процесі не контролюються. Виходячи з цього необхідно розробити контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття.

Проводячи аналіз рівня механізації і автоматизації технологічного процесу можна зробити висновок, що в ньому практично не використовується пристрій.

Виходячи з цього, рекомендується розробити кілька пристроїв. Зокрема можна розробити пристрій для закріплення деталі на обробному центрі з ЧПК операцію з пневматичним затискачем, також можна розробити контрольно-вимірювальний пристрій для контролю торцевого биття точних поверхонь деталі.

1.6 Висновок та завдання для удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі

В даному розділі було проаналізовано службове призначення машини, вузла і деталі «Втулка насоса», виконаний аналіз технічних вимог на її виготовлення, а також аналіз технологічності за кількісними та якісними показниками і встановлено, що деталь є технологічною. У межах розділу за допомогою ЕОМ був визначений тип виробництва – дрібносерійний, та наведена його коротка характеристика і особливості.

Якість виробу, а в даному випадку зубчатої муфти, куди входить дана деталь «Втулка насоса» у великій мірі залежить від правильності встановлення та зачеплення з напівмуфтою, що має внутрішній зубчастий вінець. Для забезпечен-

ня такого правильного позиціонування у складальній одиниці необхідно, щоб на свердлильній операції отвори були оброблені зі встановленими допусками розмірів та взаємного розміщення відносно центрального отвору. Також вимагається максимальна продуктивність, тому розроблення конструкції верстатного пристрою для свердлильної операції є необхідною задачею, що і буде вирішуватись у подальших розділах проєкту.

РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

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 один установ. 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;
- в першу 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.

Для зручності наведемо кілька технологічних маршрутів обробки і виберемо оптимальний з них.

Маршрут №1:

005 Заготівельна

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Радіально-свердлильна

025 Токарна чистова

030 Довбальна

035 Контрольна
040 Зубофрезерна
Маршрут №2:
005 Заготівельна
010 Термічна обробка
015 Токарна чорнова
020 Токарна чистова
025 Вертикально-свердлильна
030 Довбальна
035 Контрольна
040 Зубофрезерна
Маршрут №3:
005 Заготівельна
010 Термічна обробка
015 Токарна чорнова
020 Токарна з ЧПК
025 Вертикально-свердлильна
030 Горизонтально-протяжна
035 Зубофрезерна
040 Контроль ВТК

Маршрут №3 є більш правильним, адже при попередніх свердлильних операціях в маршрутах №1 та №2 на подальшій токарній чистовій буде відбуватись обробка з ударами, що призведе до поломки інструменту та небажаним дефектам поверхонь.

2.2 Вибір та обґрунтування способу виготовлення вихідної заготовки

Від вибору технологічного процесу отримання заготовки залежить кількість матеріалу, що витрачається, якість і трудомісткість подальшої механічної обробки при виготовленні деталі. Оптимальний технологічний процес вибирають на основі

розрахунку і порівняння, можливих за даних умов варіантів виготовлення деталі, куди входить і вартість вихідної заготовки. Оцінку економічної ефективності нової технології, вибір найбільш економічного варіанта виробництва деталей здійснюють за допомогою порівняльного аналізу вартісних і натуральних техніко-економічних показників.

Основною умовою раціональної технології є максимальне приближення форми та розмірів заготовки до форми готової деталі. Основними методами утворення форми заготовок або їх основних поверхонь являються лиття, обробка тиском, формування, обробка різанням, наплавлення, металізація, напилювання, заливка рідким металом [10].

Собівартість деталі визначається підсумовуванням собівартості заготівлі та вартості наступної механічної обробки.

Базовий отримання заготовки – поковка штампована.

В умовах серійного виробництва доцільно отримувати заготовку методами штампування. Розглянемо 2 методи отримання заготовки:

- поковка штампована на кривошипних гарячештамповочних пресах (КГШП).

- поковка штампована на горизонтально-кувальній машині (ГКМ).

Кривошипні гарячештамповочні преси (КГШП) призначені для виконання різних технологічних процесів гарячого штампування з сортового металу: відкритого і закритого штампування, гарячого пресування і т.д., в умовах серійного і масового виробництва.

Для визначення припусків табличним способом проводяться розрахунки.

Клас точності поковки – Т4.

Група сталі – М1.

Коефіцієнт для визначення орієнтовної маси поковки $K_P=1,5$.

Орієнтовна (розрахункова) маса поковки визначається за формулою:

$$m_3^P = m_D \cdot K_P \quad (2.1)$$

$$m_3^P = 15,06 \cdot 1,5 = 22,59 \text{ кг.}$$

Для визначення ступеня складності необхідно визначити відношення маси G_{Π} поковки до маси G_{Φ} геометричної фігури.

Маса геометричної фігури (циліндра) визначається за формулою:

$$G_{\Phi} = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H \quad (2.2)$$

D - діаметр циліндра (найбільший діаметр деталі), $D=200$ мм;

H - висота циліндра (довжина деталі), $H=150$ мм.

$$G_{\Phi} = 7.85 \cdot \frac{3,14 \cdot 200^2}{4} \cdot 150 = 36,97 \text{ кг}$$

Тоді відношення фігур $G_{\Pi}/G_{\Phi} = 22,59/36,97 = 0,61$.

Ступінь складності – С2.

Вихідний індекс – 14.

Конфігурація поверхні роз'єм штампа - Π (плоска).

Визначимо собівартості отримання заготовок. Відповідно до методики [12] собівартість заготовок визначаємо за формулою:

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_m \cdot k_c \cdot k_M \cdot k_m \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \left(\frac{S_{\text{вдх}}}{1000} \right), \quad (2.3)$$

де C_i – базова вартість 1 т заготовок, грн;

k_T – коефіцієнт, що залежить від класу точності поковки;

k_c – коефіцієнт, що залежить від групи складності поковки;

k_B – коефіцієнт, що залежить від маси поковки;

k_M – коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу поковки;

k_{Π} – коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва заготовок;

Q – маса поковки, кг;

q – маса готової деталі, кг;

$S_{вдх}$ – ціна 1 т відходів, грн.

Для КГШП: $Q = 25,8$ кг, $q = 15,5$ кг, $C = 42800$ грн., $K_T = 1,0$, $K_c = 1,0$,
 $K_B = 0,73$, $K_M = 1,0$, $K_P = 0,8$, $S_{отх} = 2800$ грн.

Тоді $S_{кгшп} = 1615$ грн.

За формулою 2.3 знаходимо собівартість заготовки, отриманої на ГКМ.

Для ГКМ: $Q = 24,5$ кг, $q = 15,5$ кг, $C = 42800$ грн., $K_T = 0,9$,
 $K_c = 1,0$, $K_B = 0,85$, $K_M = 1,0$, $K_P = 0,8$, $S_{отх} = 2800$ грн.

Тоді $S_{гкм} = 1522$ грн.

Аналіз методів отримання заготовки віддає перевагу заготовці: поковка на ГКМ. Відповідно обираємо поковку на ГКМ, як спосіб первинної заготовки.

Знаючи вихідний індекс, розміри поверхонь і параметр шорсткості R_a , який необхідно досягти після механічної обробки, визначаються основні припуски на механічну обробку, допуски та допустимі відхилення лінійних розмірів та допустимі припуски [8].

Основні припуски на розміри (на сторону), мм:

2,3 - $\varnothing 135$ мм і шорсткість поверхні $R_a = 3,2$ мкм;

2,5 - $\varnothing 200$ мм і шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм;

2,3 - $\varnothing 150$ мм і шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм;

2,3 - $\varnothing 130$ мм і шорсткість поверхні $R_a = 1,6$ мкм;

1,7 - $\varnothing 80$ мм і шорсткість поверхні $R_a = 3,2$ мкм;

2,3 - 150 мм і шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм;

1,8 - 30 мм і шорсткість поверхні $R_a = 1,6$ мкм;

2,0 - 92,5 мм і шорсткість поверхні $R_a = 6,3$ мкм;

Додаткові припуски, що враховують:

а) зсув по поверхні рознімання штампа - 0,3 мм;

б) зігнутість, відхилення від площинності і прямолінійності - 0,3 мм.

Розміри поковки, мм:

$\varnothing 135 + (2,3 + 0,3 + 1,0) \cdot 2 = 142,2$ мм приймається 142,5 мм;

$\varnothing 200 + (2,5 + 0,3 + 1,0) \cdot 2 = 207,6$ мм приймається 208 мм;

$\varnothing 150 + (2,3 + 0,3 + 1,0) \cdot 2 = 157,2$ мм приймається 157,5 мм;

$\varnothing 130 + (2,3 + 0,3 + 1,0) \cdot 2 = 137,2$ мм приймається 137,5 мм;

$\varnothing 80 - (1,7 + 0,3 + 1,0) \cdot 2 = 74$ мм приймається 74 мм;

$150 + (2,3 + 0,3) + (2,3 + 0,3 + 0,3) = 155,2$ мм приймається 155,5 мм;

$30 + (1,8 + 0,3) + (1,8 + 0,3 + 0,3) = 34,5$ мм приймається 34,5 мм;

$92,5 + (2,0 + 0,3) + (2,0 + 0,3 + 0,3) = 97,4$ мм приймається 97 мм;

Результати розрахунків припусків і допуски з граничними відхиленнями розмірів зведені в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 - визначення розмірів заготовки, в мм

Розмір	Припуски		Розрахунковий розмір заготовки	Допуск та граничне відхилення	Прийнятий розмір заготовки	Припуск фактичний
	Осн.	Доп.				
$\varnothing 135$	2,3	0,3+ 1	142,2	3,2 ^{+2,1} -1,1	142,5 ^{+2,1} -1,1	3
$\varnothing 200$	2,5	0,3+ 1	207,6	3,6 ^{+2,4} -1,2	208 ^{+2,4} -1,2	3
$\varnothing 150$	2,3	0,3+ 1	157,2	3,2 ^{+2,1} -1,1	157,5 ^{+2,1} -1,1	3
$\varnothing 130$	2,3	0,3+ 1	137,2	3,2 ^{+2,1} -1,1	137,5 ^{+2,1} -1,1	3
$\varnothing 80$	1,7	0,3+ 1	74	2,8 ^{+1,8} -1,0	74 ^{+1,8} -1,0	3
L=150	2,3	0,3	155,2	3,2 ^{+2,1} -1,1	155,5 ^{+2,1} -1,1	3
L=30	1,8	0,3	34,5	2,5 ^{+1,6} -0,9	34,5 ^{+1,6} -0,9	3
L=92,5	2,0	0,3	97,4	2,8 ^{+1,8} -1,0	97 ^{+1,8} -1,0	3

Допустима висота торцевого задирка - 7,0 мм.

Допускається відхилення по зігнутості, від площинності і від прямолінійності -1,0мм.

Маса заготовки обчислюється за допомогою 3D-креслення: $m_3 = 20,9$ кг.

Коефіцієнт використання заготовки визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{15,06}{20,9} = 0,71$$

$K_3 > 0,7$ - рівень ЄСТПП виконується. Деталь технологічна.

Коефіцієнт використання матеріалу визначається за формулою (для штамповок на ГKM $m_{ВВЗ} = 10\% \cdot m_3 = 10\% \cdot 20,9 = 2$ кг):

$$K_{ВМ} = \frac{15,06}{20,9 + 2} = 0,65$$

$K_{ВМ} > 0,64$ - рівень ЄСТПП виконується. Деталь технологічна.

Зобразимо заготовку з розмірами на рис. 2.1.

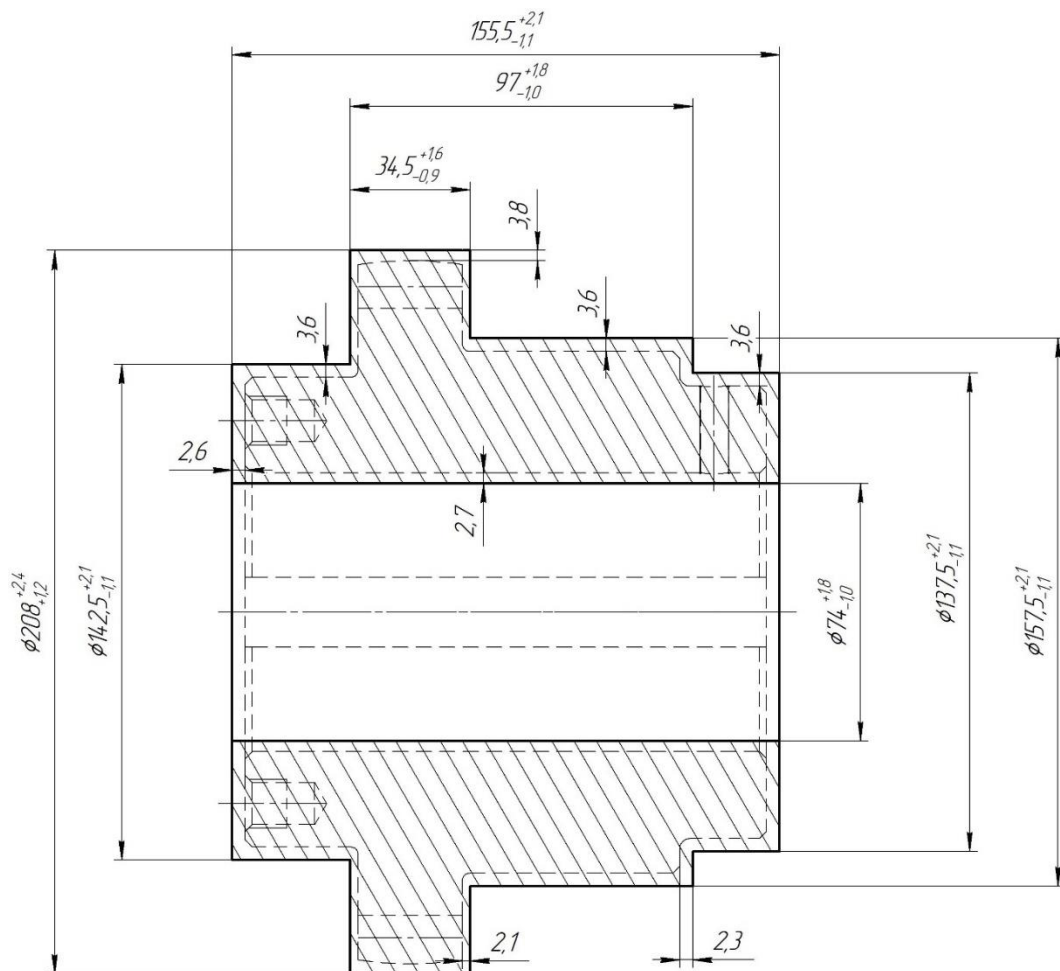


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

Призначимо технічні вимоги до заготовки:

1. 126...197 НВ.
2. Поковка штампована на ГKM ГОСТ 7505-89.

3. Клас точності – Т4, група сталі – М1, ступінь складності – С2, вихідний індекс – 14.

4. Невказані радіуси закруглень R 3,5 мм.

5. Штампувальні ухили – 7°.

6. Шорсткість поверхонь поковки Ra 25 мкм.

2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Величина припуску впливає на собівартість виготовлення деталі. При збільшеному припуску підвищуються витрати праці, витрата матеріалу та інші виробничі витрати, а при зменшеному доводиться підвищувати точність заготовки, що також збільшує собівартість виготовлення деталі.

Для отримання деталей більш високої якості необхідно при кожному технологічному переході механічної обробки заготовки передбачати виробничі похибки, що характеризують відхилення розмірів, геометричні відхилення форми поверхні, мікронерівності, відхилення розташування поверхонь. Всі ці відхилення повинні знаходитися в межах поля допуску на розмір поверхні заготовки.

Аналітичний метод визначення припусків базується на аналізі виробничих похибок, що виникають при конкретних умовах обробки заготовки.

Згідно завдання проводиться розрахунок припусків аналітичним методом для внутрішньої поверхні тіла обертання $\varnothing 80H7$. Маршрут обробки даної поверхні вибирається за [13] і зводиться в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Маршрут обробки поверхні $\varnothing 80H7$

Назва операції (переходу)	Квалітет точності IT	Параметр шорсткості Ra, мкм
Заготівельна	IT15	25
Точіння напівчистове	H9	6,3
Точіння чистове	H8	3,2
Точіння оздоблюване	H7	1,6

Обробка поверхонь ведеться на токарному верстаті з ЧПК при цьому закріплення ведеться в трьохкулачковому патроні.

Величина мінімального припуску при обточуванні циліндричної поверхні заготовки:

$$2Z_{\min} = Rz_{j-1} + T_{j-1} + \sqrt{\rho_{j-1} + \sum y_i^2} \quad (2.2.)$$

де Rz_{i-1} - висота мікронерівностей профілю на попередньому переході (операції), мкм;

h_{i-1} - глибина дефектного поверхневого шару на попередньому переході (операції) (обезвуглероджений або вибілений шар), мкм;

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

$\sum y$ - похибки установки заготовки

Підставивши вибрані (Rz , T , $\sum y$) і розраховані (ρ) значення в формулу визначаються мінімальні припуски на відповідних переходах:

$$2Z_{\min\Pi/\text{ч}} = 2 \cdot (250 + 250 + \sqrt{760^2}) = 2520 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min\text{чИС}} = 2 \cdot (125 + 125 + \sqrt{350^2 + 50^2}) = 1207 \text{ мкм};$$

$$2Z_{\min\text{ОЗД}} = 2 \cdot (70 + 80 + \sqrt{110^2 + 30^2}) = 520 \text{ мкм};$$

Допуск заготовки $\delta_{\text{заг}}$ визначений у п.1.4 і дорівнює $\delta_{\text{заг}}=2.8\text{мм}$ ($E_s=1,0$ мкм; $E_i=-1,8$ мкм).

Допуски по переходах визначаються по [9]:

- для точіння напівчистового: $\delta_{\text{п/ч}}=0,8$ мм ($E_s=0,8$ мм; $E_i=0$ мм);
- для точіння чистового: $\delta_{\text{чист}}=0,5$ мм ($E_s=0,5$ мм; $E_i=0$ мм);
- для точіння оздоблюваного: $\delta_{\text{тонк}}=0,03$ мм ($E_s=0,03$ мм; $E_i=0$ мм).

Стадія оздоблювальна:

$$D_{\text{номОЗ}}=D_{\text{мінОЗ}}=80000$$

$$D_{\max O3} = D_{\text{ном}O3} + E_{SO3} = 80000 + 0.03 = 80.03 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max O3} = 2Z_{\text{min}O3} + E_{SO3} + E_{\text{чис}} = 520 + 350 + 540 = 1410 = 1,41 \text{ мм}$$

Стадія чистова:

$$D_{\max \text{чис}} = D_{\text{min}O3} - 2Z_{\text{min}O3} = 80000 - 520 = 79480 = 79,48 \text{ мм}$$

$$D_{\text{min} \text{чис}} = D_{\text{ном} \text{чис}} = D_{\max \text{чис}} - E_{\text{чис}} = 79480 - 540 = 78940 = 78,94 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max \text{чис}} = 2Z_{\text{min} \text{чис}} + E_{\text{чис}} + E_{\text{П/ч}} = 1207 + 540 + 800 = 2547 = 2,547 \text{ мм}$$

Стадія напівчистова:

$$D_{\max \text{П/ч}} = D_{\text{min} \text{чис}} = D_{\text{ном} \text{чис}} - 2Z_{\text{min} \text{чис}} = 78940 - 1207 = 77733 = 77,73 \text{ мм}$$

$$D_{\text{min} \text{П/ч}} = D_{\text{ном} \text{П/ч}} = D_{\max \text{П/ч}} - E_{\text{П/ч}} = 77733 - 800 = 76933 = 76,93 \text{ мм}$$

$$2Z_{\max \text{П/ч}} = 2Z_{\text{min} \text{П/ч}} + E_{\text{П/ч}} + T_{d3AG} = 2520 + 800 + 2800 = 6120 = 6,12 \text{ мм}$$

Стадія заготівельна:

$$D_{\max 3AG} = D_{\text{min} \text{П/ч}} - 2Z_{\text{min} \text{П/ч}} = 76933 - 2520 = 74413 = 74,41 \text{ мм}$$

$$D_{\text{ном} 3AG} = D_{\max 3AG} - E_{3AG} = 74413 - 1000 = 73413 = 73,41 \text{ мм}$$

$$D_{\text{min} 3AG} = D_{\text{ном} 3AG} - E_{i3AG} = 73413 - 1800 = 71613 = 71,61 \text{ мм}$$

Таблиця 2.3 - Вихідні та розрахункові дані на заданий розмір

Технологічні операції (переходи)	Елементи припуску, мкм				Елементи припуску, мм			Розрахунок розмірів, мм		
	Rz _{i-1}	T _{i-1}	ρ _{i-1}	Σу	2Z _{min}	2Z _{ном}	2Z _{max}	D _{min}	D _{ном}	D _{max}
Заготівельна	250	250	760	-	-	-	-	71,61	73,41	74,41
Точіння напівчистове	125	125	350	50	2,52	3,52	6,12	76,93	77,73	
Точіння чистове	70	80	110	30	1,207	2,007	2,547	78,94	79,48	
Тонке точіння	-	-	-	-	0,52	1,02	1,41	80,00	80,03	

Схема розташування припусків і допусків для зовнішньої циліндричної поверхні Ø80H7 риведена в додатку В пояснювальної записки.

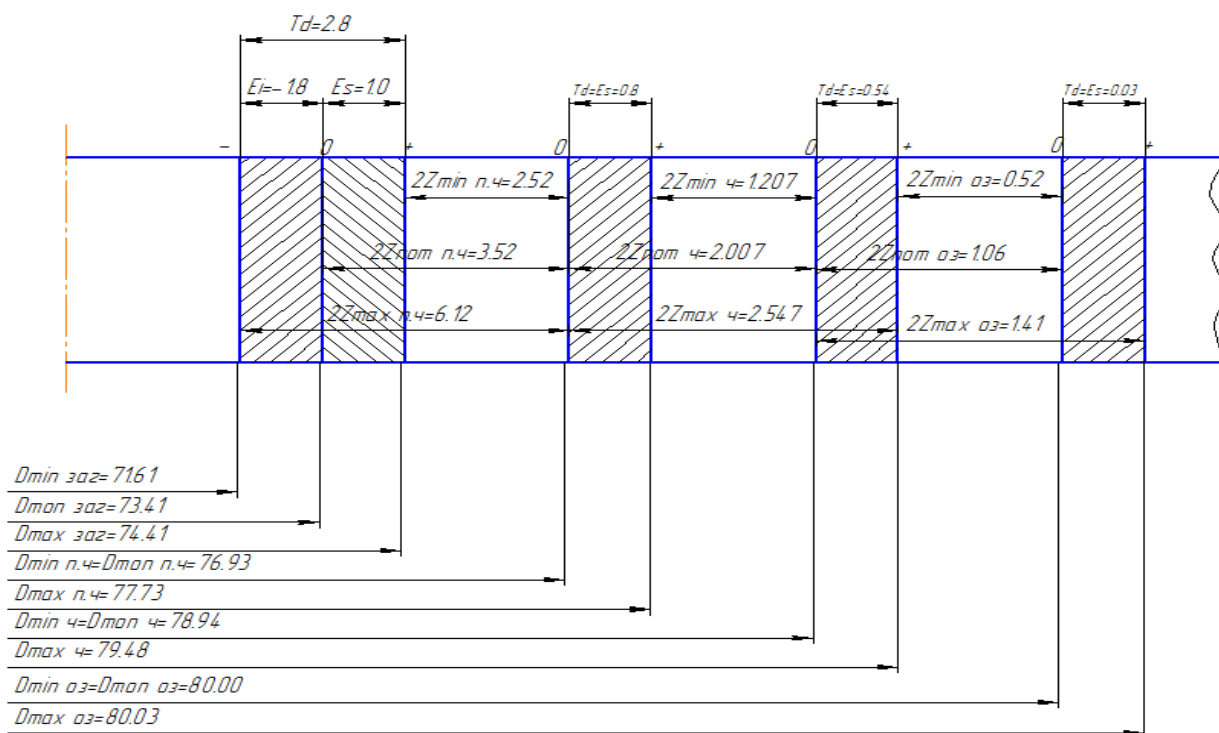


Рисунок 2.1 – Схема розташування припусків і допусків для поверхні $\varnothing 80H7$

Порівнюючи розмір, визначений аналітичним методом та за допомогою ДСТУ робимо висновок, що вони майже не відрізняються 74 мм за ДСТУ та 73,4 мм аналітичним методом відповідно, тому розрахунки проведені вірно.

2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення заготовки

Якість виготовлення деталі у великій мірі залежить від правильності встановлення та закріплення заготовки на верстаті. Установка складається з базирования, тобто орієнтації заготовки щодо виконавчих органів верстата, інструменту або траєкторії його переміщення, і закріплення, тобто докладання зусиль до заготівлі для фіксації положення заготовки, досягнутого при базуванні.

Поверхня, використовувана для базування, повинна відповідати таким вимогам:

- великі розміри, геометрично правильна форма;
- низька шорсткість поверхні (без задрів, напливів, буртиків, залишків ливникової системи і т.д.);

- безпосередня розмірна зв'язок з оброблюваною поверхнею, близьке розташування до оброблюваної поверхні;
- відсутність значущих деформацій і низькою жорсткості базових поверхонь;
- використання принципу сталості баз;
- можливість простого і зручного закріплення заготовки.

Для розгляду в цьому пункті було прийнято ту операцію технологічного процесу, для якої буде проектуватися верстатний пристрій, що досліджуватиметься в розділі 3.

На операції 050 здійснюється свердлильна обробка деталі. Найбільшої точності обробки деталі можна досягти у випадку, коли увесь процес обробки ведеться від однієї бази і з однієї установки, оскільки можливі зміщення при кожній новій установці вносять погрішності у взаємне розташування осей і поверхонь. Так як у багатьох випадках повна обробка деталі з одного установу неможлива, а також якщо необхідна обробка на інших верстатах, то з метою досягнення необхідної точності усі наступні установи деталі необхідно виконувати на одній і тих же базах.

Принцип постійності бази полягає у тім, що для виконання усіх операцій обробки деталі використовується одна і та ж база. Якщо по характеру обробки це не можливо - тому якості нової бази вибирають оброблену поверхню, яка визначається найбільш точними розмірами до основних, виконавчих поверхонь деталі.

При виборі баз для підвищення точності необхідно використовувати одну і ті ж поверхню у якості різних баз. Так завжди доцільно у якості вимірювальної приймати і установчу базу. Ще більшої точності досягають у випадку, коли складальна база являється одночасно і установчою і вимірювальною. В цьому заключний принцип суміщення баз.

Відповідно для досягнення найбільшої точності оброблюваних отворів необхідно дотримуватися принцип сумірності баз.

На даній операції здійснюється обробка деталі (свердлувальна операція). Деталь позбавляється 5-ти ступенів волі (дивіться в табл.6.2.1, 6.2.2). Установочна база – торець деталі 165, позбавляє деталь 3-х ступенів волі (переміщення по осі z та обертання по осях x та y). Подвійна опорна база – 80мм, позбавляє деталь 2-х ступенів волі (переміщення по осях x та y). Опорна база позбавляє деталь 1-го ступеня волі(переміщення уздовж однієї координатної осі або повертання навколо осі). Схема повного базування деталі наведена на рисунку 6.2

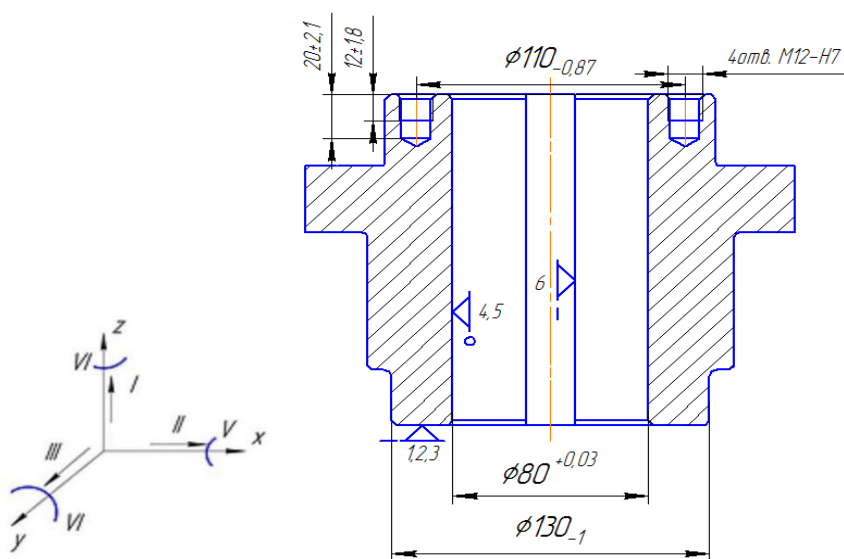


Рисунок 2.3 – Схема базування деталі на операції

Таблиця 2.4 – Зв'язки, забезпечувані базами

База	Забезпечені зв'язки	Позбавлені ступені волі
УБ	1,2,3	III, IV, V
ПОБ	4,5	I, II
ОБ	6	VI

Таблиця 2.5 – Матриця зав'язків

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

	0	0	0	○
ОБ	0	0	0	↔
	0	0	1	○

Розглянемо можливість забезпечення точності розмірів з точки зору наявності похибок базування у радіальному напрямку.

Розрахунок похибок

Для цього не обхідно розрахувати похибку базування заготовки з урахуванням наявності зазору між базовою поверхнею заготовки $\varnothing 80H7$ та оправкою в базовому елементі пристрою $\varnothing 80f7$ [1].

$$\varepsilon = \frac{\delta_1 - \delta_2}{2} \quad (2.5)$$

де $\delta_1 = 0,03$ мм - допуск на оправку базування ($\varnothing 80f7$);

$\delta_2 = 0,03$ мм - допуск на базову поверхність заготовки ($\varnothing 80H7$).

Підставляємо у формулу:

$$\varepsilon = \frac{0,03 - 0,03}{2} = 0 \text{ мм};$$

Допустима похибка $\varepsilon_{\text{дон}} = 0,1$

$\varepsilon_{\text{дон}} \geq \varepsilon_{\delta}$, $0,1 \geq 0$ - умова виконується, звідси виходить, що при обробці пазів при даному базуванні буде досягнута необхідна точність.

Тому ця схема базування заготовки є прийнятною для забезпечення осьових розмірів

Розмір $\varnothing 110$ у даному випадку визначається точністю позиціонування робочих органів верстата яка зазвичай становить 5-10 мкм.

Так як на токарній операції 030 формуються точні розміри, то виконаємо її аналіз.

Деталь позбавляється 5-ти ступенів волі. Установочна база – торець деталі 150, позбавляє деталь 3-х ступенів волі (переміщення по осі z та обертання по осях x та y). Подвійна опорна база – 130мм, позбавляє деталь 2-х ступенів волі (переміщення по осях x та y). Опорна база позбавляє деталь 1-го ступеня волі (переміщення уздовж однієї координатної осі або повертання навколо осі). Схема повного базування деталі наведена на рис. 2.4.

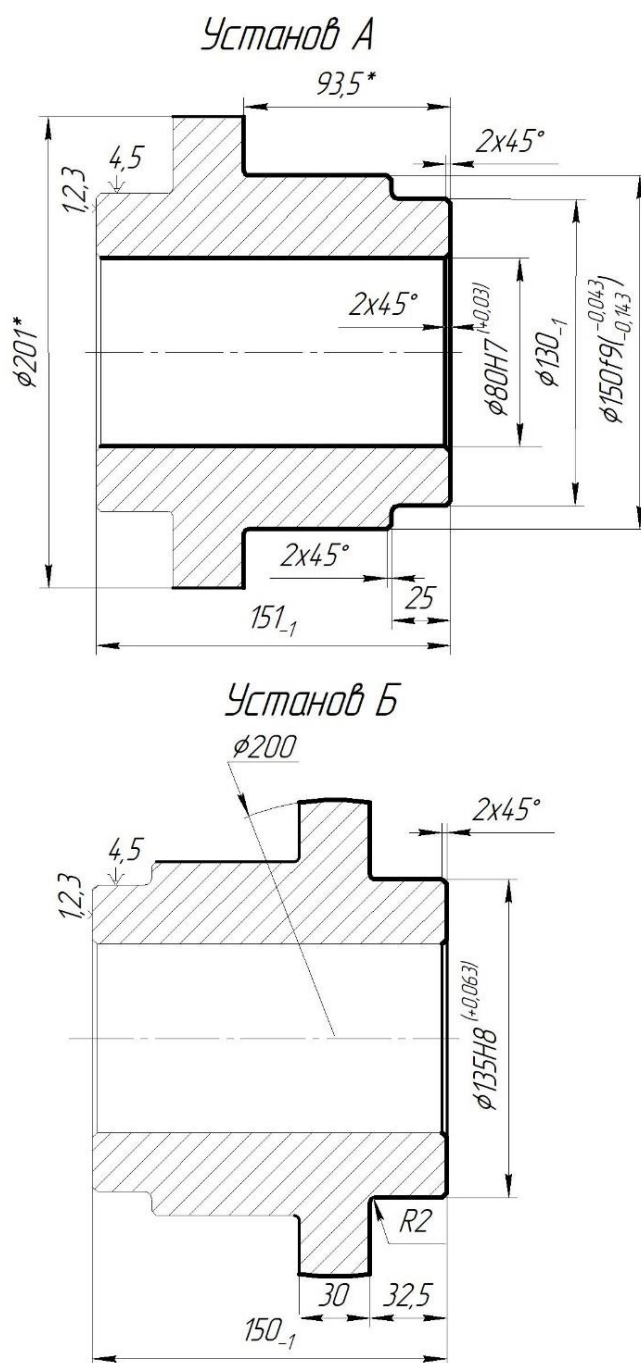


Рисунок 2.4 - Схема базування деталі на операції 030 Токарна з ЧПК

Таблиця 2.6 – Зв'язки, забезпечувані базами на операції 030

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

Таблиця 2.7 – Матриця зав'язків на операції 030

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

Розглянемо можливість забезпечення точності розмірів з точки зору наявності похибок базування у осьовому напрямку.

Розрахунок похибок будемо вести тільки для установи Б, так як на установі А виконати базування за іншою торцевою поверхнею неможливо, тим паче що всі лінійні розміри проставлені від правого торця деталі, який проходить обробку, як і інші поверхні, тому в даному випадку похибка базування нівелюється і точність розмірів залежить лише від точності позиціонування робочих органів верстата. Тому розрахуємо похибки для установи Б. Для цього у якості порівняння розглянемо схему базування на установі Б з упором у інший торець (рис. 2.5).

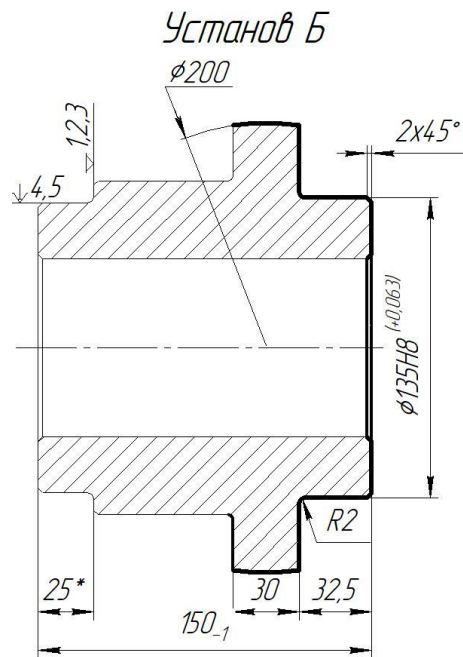


Рисунок 2.5 – Альтернативна схема базування на установі Б

Похибка базування виникає через те, що вимірювальна і технологічна бази не співпадають. На установі А (рис. 2.4) вимірювальна і технологічна бази для розміру 150_{-1} співпадають, тому похибка базування дорівнює нулю. Інші ж лінійні розміри також проставлені від правого торця, який підлягає обробці на даному установі, тому похибка також для них дорівнює нулю.

На рис. 2.5 технологічна і вимірювальна бази не співпадають, тому виникне похибка базування на розмір 150_{-1} , яка буде дорівнювати допуску на розмір 25 мм, що зеднує ці бази.

$$\varepsilon = T_{25} = 0,36 < T_{150} = 1 \quad (2.6)$$

де $T_{25} = 0,36$ мм - допуск на розмір.

Як видно і тут похибка не перевищує допуску і браку не виникне, але у першому варіанту вона менша, тому обираємо схему базування на установі Б, яка зображена на рис. 2.4.

У якості третьої операції в аналізі розглянемо операцію 040 Горизонтально протяжна. Для неї можливий єдиний варіант схеми базування на оправці діаметром 80 мм для суміщення вимірювальної і технологічної баз. Використовувати-

меться спеціальна протяжка, що буде обробляти два пази за один прохід, таким чином похибка базування між пазами буде дорівнювати нулю (рис. 2.6).

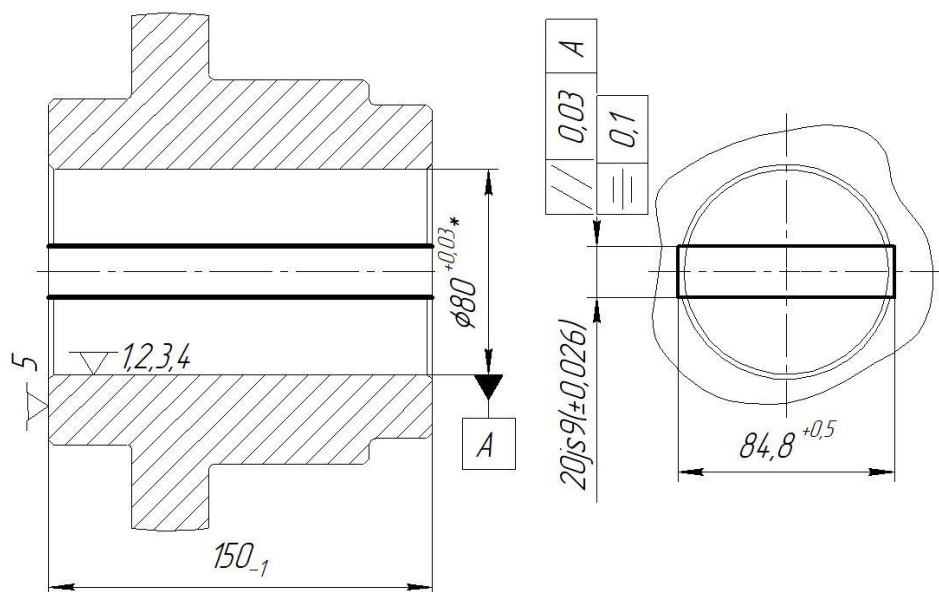


Рисунок 2.6 – Схема базування на горизонтально-протяжній операції

2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Металорізучий верстат вибирається виходячи з вимог до якості поверхні, яку необхідно отримати, необхідної потужності двигунів, габаритів, типу виробництва, кількості інструментів на даній операції.

На даній операції будуть нарізати 4 різьбових отвори М12-7Н.

- 1) Центрування. $\varnothing 5$
- 2) Свердління. $\varnothing 10,2$
- 3) Зенкування фаски $\varnothing 12,6/\varnothing 10,2 \times 120^\circ$.
- 4) Нарізання різьби М12-7Н.

Вертикальний свердлильний верстат Doosan 4320FJ з шестишпindelною револьверною головкою, з крестовим столом і числовим програмним керуванням (ЧПК) призначений для свердління, розсвердлювання, зенкування, розгортання, нарізування різей і фрезерування в дрібносерійному і серійному виробництві різних галузей промисловості.

При виборі даного обладнання з огляду на технологічні методи обробки поверхонь на даній операції прийшли до висновку, що даний верстат цілком придатний для здійснення заданої операції.

Технічні характеристики верстата:

Розміри робочої поверхні столу, мм 1200x500

Виліт шпинделя, мм 70

Відстань від осі шпинделя до робочої поверхні столу, мм 400

Найбільша маса оброблюваного виробу, кг 600

Найбільше переміщення столу:

- Поздовжнє, мм 1000

- Поперечне, мм 500

- Гільзи шпинделя, мм 100

Найбільший діаметр:

свердління в сталі або ширина фрезерування, мм 50

розточування, мм 200

Частота обертання шпинделя (безступінчасте через 10), об / хв 10 – 2500

Подача:

- Шпинделя, мм / хв 1,25 - 10000

- Стола, мм / хв 2,5 - 8000

Дискретність відліку координат по осях, мм 0,01

Точність установки координат, мм 0,01

Число T-подібних пазів 5

Ширина паза, мм 22

Конус шпинделя метричний ISO 40

Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 8

Габаритні розміри, мм 3300x2500x2600

Маса верстата (без електрошафи і приладдя), кг 4200.

На токарній з ЧПК 030 операції проводиться кінцева обробка поверхонь. Для обробки циліндричних поверхонь на підприємстві застосовувався токарно-

гвинторізний верстат моделі 16A20Ф3. Для дрібносерійного типу виробництва рекомендовано використовувати універсальні верстати або верстати, що оснащені системою ЧПК. Для порівняння обираємо два токарних верстати з ЧПК: 16A20Ф3 і Doosan Turn 300. Вони задовольняють вказаним критеріям та мають наступні характеристики.

Верстат Doosan Turn 300.

Найбільший діаметр заготовки, що може бути оброблена, мм:

над супортом - 220;

над станиною – 400.

Найбільший діаметр прутка, що встановлюється в отвір шпинделя, мм – 53.

Найбільша довжина встановлюваної заготовки, мм – 1000.

Крок метричної різі, що може нарізуватися, мм – 200.

Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв: 1 – 5000.

Кількість швидкостей шпинделя – б/с.

Найбільше переміщення супорта, мм:

поперечне – 250;

повздовжнє – 900.

Швидкість подачі супорта, мм/хв:

поперечна: 1,5 – 6000;

повздовжня: 3 – 12000.

Кількість ступенів подач супорта – регулювання безступінчасте.

Кількість місць для інструменту в револьверній головці, шт. – 12;

Потужність двигуна приводу головного руху, кВт – 10.

Дискретність системи управління для переміщень, мм:

поперечних – 0,001.

повздовжніх – 0,001.

Габаритні розміри (без системи ЧПК), мм:

довжина×ширина×висота – 3360×1710×1750;

Маса – 4000 кг;

Технічна характеристика верстата 16A20Ф3.

Найбільший діаметр встановлюваної заготовки, мм:

над супортом – 250;

над станиною – 500.

Найбільша довжина встановлюваної заготовки, мм – 1000.

Найбільший діаметр прутка, що встановлюється в отвір шпинделя, мм – 71.

Крок метричної різі, що може нарізуватися, мм – до 10.

Діапазон частот обертання шпинделя, об/хв: 6,3 – 1250.

Кількість швидкостей шпинделя – 24.

Швидкість подачі супорта, мм/хв:

поперечна: 1 – 600;

повздовжня: 1 – 200.

Кількість ступенів подач супорта – регулювання безступінчасте.

Потужність двигуна приводу головного руху, кВт – 22.

Дискретність системи управління для переміщень, мм:

поперечних – 0,005.

повздовжніх – 0,01.

Габаритні розміри (без системи ЧПК), мм:

довжина×ширина×висота – 4360×2925×1600

Маса, кг – 6800.

З порівняння двох верстатів обираємо той, що має вищу точність, меншу потужність і більш перспективний для підприємства, тому обираємо Doosan Turn 300.

На операції горизонтально-протяжній застосовується верстат 7Б56У. Даний верстат мається на підприємстві, тому його доцільно застосовувати. Тому приведемо його технічні характеристики.

Верстати моделі 7Б56у призначені для обробки методом протягування попередньо оброблених або чорнових наскрізних отворів різної форми та розмірів. Привід гідравлічний спрощений.

Номінальна тягова сила, кН 200

Найбільша довжина ходу санок 1600 мм.

Розмір робочої поверхні опорної плити 450x450 мм.

Діаметр отвору:

в опорній плиті під планшайбу 200 мм;

у планшайбі 160 мм;

Швидкість робочого ходу протяжки, м/хв 1,5-13;

Швидкість зворотного ходу протяжки, що рекомендується, м/хв 20–25;

Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 30;

Габаритні розміри:

довжина 5200 мм;

ширина 2000 мм;

висота 1700 мм;

Маса, кг 7000.

2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів

На операцію вертикально-свердлильну з ЧПК вибираємо верстатні пристрої, металорізальні та вимірювальні інструменти.

Для установки і закріплення деталі використовуємо спеціальний пристрій.

Ріжучий інструмент для радіально-свердлувальних верстатів повинен

задовольняти наступним вимогам:

- забезпеченню високих і стабільних ріжучих характеристик;
- задовільному формуванню і відведенню стружки; забезпеченню заданих умов по точності обробки;
- універсальності застосування для типових оброблюваних поверхонь різних деталей на різних моделях верстатів;
-

- швидкозмінність при переналадці на іншу оброблювану деталь або заміні затупившого інструменту.

Даним вимогам задовольняють інструменти :

Свердло Ø6,7 2301-0189, Ø10,2 2301-0030 ГОСТ 10903-77, Зенківка Ø20. СТП 807.12.00.00.

Для вимірювання точності обробки пазів використаємо інструмент рулетка Р5УЗП ГОСТ7502-98, штангенциркуль ШЦ Ш- 2000-0,1 ГОСТ 166-89, штангенциркуль ШЦ Ш- 800-0,1 ГОСТ 166-89.

Виходячи з типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосовувати систему універсально складальних пристроїв (УСП) згідно

ГОСТ 14.305-73

Вибрані нові різальні інструменти з механічним кріпленням непереточуваних пластин:

Для операції «Токарна з ЧПК».

Оснащення: патрон трьох кулачковий токарний D-200мм.

Позначення: Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71*.

Ріжучий інструмент: Різець PTRNR 4875, Різець CCYRE 7598.

В умовах дрібносерійного виробництва як мірний інструмент використовується в основному універсальний (шкальний) вимірювальний інструмент, проте допускається і застосування спеціального вимірювального інструменту (скоби, пробки шаблони). Для контролю розмірів отримуваних на даній операції вибираємо наступний вимірювальний інструмент: мікрометр МК 125-150 ГОСТ 1005-89.

На операції горизонтально – протяжна використовується спеціальна двустороння протяжка. У якості вимірювального інструменту використовується калібр 20js9.

2.7 Визначення режимів різання та технічне нормування операцій

Розрахунок режимів різання будемо проводити для операцій токарна з ЧПК і вертикально-свердлильна з ЧПК і горизонтально-протяжна. Розрахунко-

во-аналітичним методом розрахуємо режим різання для зовнішнього точіння поверхні, для інших переходів режим різання призначимо за табличним методом [13-14].

Розглянемо обробку інших поверхонь. На переходи даної операції здійснюємо вибір режимів різання табличним методом за допомогою каталогів [17, 18]. Обрані режими заносимо до табл. 2.10.

Таблиця 2.10 – Режими різання визначені за табличним методом для токарної операції

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						
	i	t, мм	S, м/об	V, м/хв	n, об/хв	L, мм	T _о , хв
Поверхня Ø130	1	1,0	0,25	150,72	1200	12,29	0,48
Горець Ø130/Ø80	1	1,0	0,25	148,11	1200	9	0,3
Горець Ø135/Ø80	1	2,0	0,25	152,5	1200	18	0,35
Поверхня Ø78	1	1,0	0,25	102,5	1200	22	1,1
Всього	-	-	-	-	-	-	2,23

Маршрут обробки вибирають в залежності від діаметра, точності і шорсткості оброблюваного отвору, стану отвору заготовки, виду системи ЧПК, необхідності підрізання дна чи нарізання різьби. В даному випадку для нарізання різьби M12-7H з шорсткістю Ra 3,2 мкм маршрут обробки має вигляд:

1. Центрування.
2. Свердління.
3. Зенкування фаски Ø12,6/Ø10,2x120°.
4. Нарізання різьби M12-7H.

Зводимо розрахунки у табл. 2.11.

Таблиця 2.11 – Режими різання визначені за табличним методом для свердлильної операції

Виконуваний перехід	Режим різання							
	S_0 , мм/об	V , м/хв.	P, H	N , кВт	$M_{кр}$, Н·м	M_p , Н·м	Π , об/хв.	S_m , мм/хв.
1. Центрування	0,09	30	527	0,17	-	-	2389	236,5
2. Свердління	0,14	24,4	2091	0,55	-	-	762	106,7
3. Зенкування	0,07	16,2	167	0,41	-	-	410	32,8
4. Нарізання різи	1,75	11,8	36	0,53	1,6	8,1	313	548

Маршрут обробки на горизонтально-протяжній операції, де оброблюються шпонкові пази складається лише з одного основного переходу.

Зводимо розрахунки у табл. 2.12.

Таблиця 2.12 – Режими різання визначені за табличним методом для горизонтально-протяжної операції

Виконуваний перехід	Режим різання							
	S_0 , мм/об	V , м/хв.	P, H	N , кВт	$M_{кр}$, Н·м	M_p , Н·м	Π , об/хв.	S_m , мм/хв.
Протягування	0,01	1,5	15675	5,2	-	-	-	1500

Технічне нормування операцій здійснюємо згідно вибору з відповідної літератури норм допоміжного часу [16].

Метою даного нормування є визначення норми штучно - калькуляційного часу на операції. Результати зводимо до табл. 2.13.

Дані про режими різання беремо з попереднього пункту.

Таблиця 2.13 – Результати нормування на операції технологічного процесу

№ операції Назва обладнання	Норма часу в хв			
	T_0	T_v	$T_{шт}$	$T_{пз}$

020 Токарно-гвинторізна	2,7	1,1	4,1	22
030 Токарна з ЧПК	3,95	1,9	6,38	27
040 Горизонтально-протяжна	2,2	0,9	4,15	27
055 Вертикально-свердлильна	7,7	2,1	10,4	29
065 Зубофрезерна з ЧПК	12,6	2,8	16,2	31

2.8 Проектування засобів технологічного оснащення

Проектування верстатного пристрою на свердлильну з ЧПК операцію.

В проєкті розробляється пристрій для обробки деталі – «Втулка насоса» на вертикально-свердлильній з ЧПК операції.

Впровадження розроблюваного пристрою дасть можливість встановлювати деталь на операції без попередньої вивірки, за рахунок використання спеціального установчого елемента – оправки Ø80. Торець оправки дозволить при базуванні деталі на ньому отримувати однакові лінійні розміри на усіх деталях партії без здійснення операції прив'язки інструментів для кожної деталі.

Жорсткість пристрою дозволить використовувати максимальну потужність верстата. Жорсткість пристрою повинна забезпечуватись шляхом розрахунків на міцність конкретних елементів конструкції, де виникають найбільші напруження, та збільшувати розміри цих елементів, таким чином зменшуючи напруження у них, та як наслідок підвищуючи жорсткість усього пристрою.

Можливість швидкого затиску та розтиску деталі досягається за рахунок використання силових приводів пневматичної дії. Для цього у конструкції верстатного пристрою необхідно передбачити наявність пневмокамери або пневмоциліндру. Швидкість затиску та розтиску деталі дозволить зменшити допоміжний час на операції. Також слід передбачити швидкозмінну шайбу у конструкції.

Конструкція пристрою забезпечуватиме зручність та безпеку в роботі. Для цього при проектуванні кожного з елементів верстатного пристрою необхідно прагнути до збільшення кількості округлень та зменшення кількості гострих граней та кутів, при контакті з якими можуть виникнути травми.

Матеріали деталей та елементів верстатного пристрою деталей призначаємо таким чином, щоб забезпечити вимогам механічних навантажень, які будуть на них діяти та відсутності хімічних реакцій між цими елементами, середовищем та деталями. Всі матеріали для виготовлення деталей пристрою мають бути зносостійким та міцними і не в якому разі - крихкими.

Тому для деталей, що будуть рухомими між собою обираємо сталь яка має поверхневе зміцнення, що збільшить термін служби деталі, а також при цьому деталь буде мати в'язку структуру, що при ударах краще сприймає динамічні навантаження ніж деталь, що має об'ємне загартування.

Матеріали корпусних деталей обираємо з точки зору найменшої собівартості конструкції пристрою при забезпеченні ним необхідної точності. Тобто, якщо конструкція корпусу складна то обираємо у якості матеріалу чавун, так як він має гарні ливарні властивості, а якщо форма корпусу проста, то обираємо сталь, що гарно піддається зварюванню. Зварна конструкція буде дешевшою, адже непотрібно виготовляти спеціальні ливарні форми.

Річна програма випуску даної деталі складає 600 штук на рік, що відповідає серійному типу виробництва.

Уточнення мети технологічної операції

На даній операції будуть нарізати 4 різьбових отвори M12-7H.

Для обробки отворів використовується наступний ріжучий інструмент

1. Центрування. $\varnothing 5$
2. Свердління. $\varnothing 10,2$
3. Зенкування фаски $\varnothing 12,6/\varnothing 10,2 \times 120^\circ$.
4. Нарізання різьби M12-7H.

Як приклад, виконаємо аналіз точності отвору, що обробляється в розмір $\varnothing 10,2H14$

Розмірна точність. Номінальний розмір поверхні - 10,2мм поле допуску - H, квалітет розмірної точності – 14

Верхнє відхилення Es: 0,43 мм

Нижня відхилення E_i : 0 мм

Допуск $T_{\varnothing 10,2H14}=0,43$ мм

Точність форми та розташування оброблюваних поверхонь

Точність форми. Точність форми оброблюваної поверхні на даному етапі обробці не регламентується. При цьому характерними відхиленнями форми для циліндричної поверхні слід вважати відхилення від круглоти і циліндричної.

Визначаємо їх значення для рівня нормальної відносної точки А (30% від допуску на розмір поверхні).

$$T = 0,3 \cdot 0,43 = 0,129 \text{ мм}$$

Найбільш близьким стандартним значенням допуском форми поверхні (круглоті циліндричної) в даному випадку є 0,12 мм, що відповідає 12-й ступеня точності.

Шорсткість оброблюваних поверхонь

Шорсткість поверхності після обробки на даній операції відповідає 12,5 мкм за критерієм Ra.

Визначення умов в яких буде виготовлятися і експлуатуватися проектований пристрій

Для середньо серійного типу виробництва рекомендовано застосовувати пристосування з механічним приводом.

Застосування спеціального пристосування з механічним приводом дозволить знизити трудомісткість обробки, збільшити точність виготовлення, продуктивність праці, час виготовлення та дозволить зменшити кваліфікацію працівника, що виконує обробку. Орієнтовано в заданих умовах слід визнати найбільш раціональну систему універсальних без налагоджувальних пристосувань.

Дане пристосування застосовується для установки і закріплення групи деталей, близько по конструкторсько-технологічних розмірів, способом обробки і за спільністю настановних поверхонь.

Розробка і обґрунтування схеми базування

Вибір встановлюючої базової поверхні

На даній операції здійснюється свердлильна обробка деталі.

Найбільшої точності обробки деталі можна досягти у випадку, коли увесь процес обробки ведеться від однієї бази і з однієї установки, оскільки можливі зміщення при кожній новій установці вносять погрішності у взаємне розташування осей і поверхонь. Так як у багатьох випадках повна обробка деталі з одного установу неможлива, а також якщо необхідна обробка на інших верстатах, то з метою досягнення необхідної точності усі наступні установи деталі необхідно виконувати на одній і тих же базах. Принцип постійності бази полягає у тім, що для виконання усіх операцій обробки деталі використовується одна і та ж база. Якщо по характеру обробки це не можливо - тому якості нової бази вибирають оброблену поверхню, яка визначається найбільш точними розмірами до основних, виконавчих поверхонь деталі.

При виборі баз для підвищення точності необхідно використовувати одну і ті ж поверхню у якості різних баз. Так завжди доцільно у якості вимірювальної приймати і установчу базу. Ще більшої точності досягають у випадку, коли складальна база являється одночасно і установчою і вимірювальною. В цьому заключний принцип суміщення баз.

Відповідно для досягнення найбільшої точності оброблюваних отворів необхідно дотримуватися принцип сумірності баз.

На даній операції здійснюється обробка деталі (свердлувальна операція).

Деталь позбавляється 5-ти ступенів волі. Установочна база – торець деталі 165, позбавляє деталь 3-х ступенів волі (переміщення по осі z та обертання по осях x та y). Подвійна опорна база –d80мм, позбавляє деталь 2-х ступенів волі (переміщення по осях x та y). Опорна база позбавляє деталь 1-го ступеня волі(переміщення уздовж однієї координатної осі або повертання навколо осі).

Вибір опорної базової поверхні

Розглянемо можливість забезпечення точності розмірів з точки зору наявності похибок базування у радіальному напрямку.

Розрахунок похибок

Для цього необхідно розрахувати похибку базування заготовки з урахуванням наявності зазору між базовою поверхнею заготовки $\text{Ø}80\text{H}7$ та оправкою в базовому елементі пристрою $\text{Ø}80\text{f}7$.

Допустима похибка $\varepsilon_{\text{доп}} = 0.1$

$\varepsilon_{\text{доп}} \geq \varepsilon_{\text{б}}, 0,1 \geq 0$ - умова виконується, звідси виходить, що при обробці пазів при даному базуванні буде досягнута необхідна точність

Тому ця схема базування заготовки є прийнятною для забезпечення осевих розмірів

Розмір 110 у даному випадку визначається точністю позиціонування робочих органів станка яка зазвичай становить 5-10 мкм.

Побудова функціональної структури пристрій.

З набору функцій наведених в попередньому пункті, виділимо ті які реалізуються в перебігу оперативного часу: 0, 1, 2, 5, 6, 7, 10. Функції 3, 4, 8 впливають на підготовчо-заключний час; функції 8, 11 прямого впливу на штучний час не роблять.

Керуючись нормативами часу, складемо структуру потоку функцій при їх послідовній реалізації (рисунок 3). Послідовна структура реалізації потоку функцій є найбільш тривалою за часом, проте в даному випадку це єдина можливість обробки заготовки на даній операції при дрібносерійному типі виробництва, де обробка ведеться по можливості стандартним ріжучим інструментом і суміщення переходів не представляється можливим.

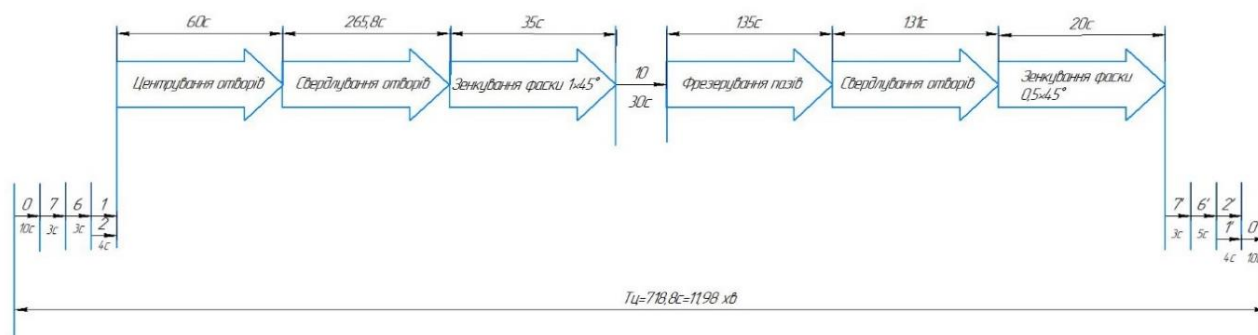


Рисунок 2.7 – Схема послідовного реалізування функції

Функціональна структура проектування пристрою представлена на рис. 2.8.

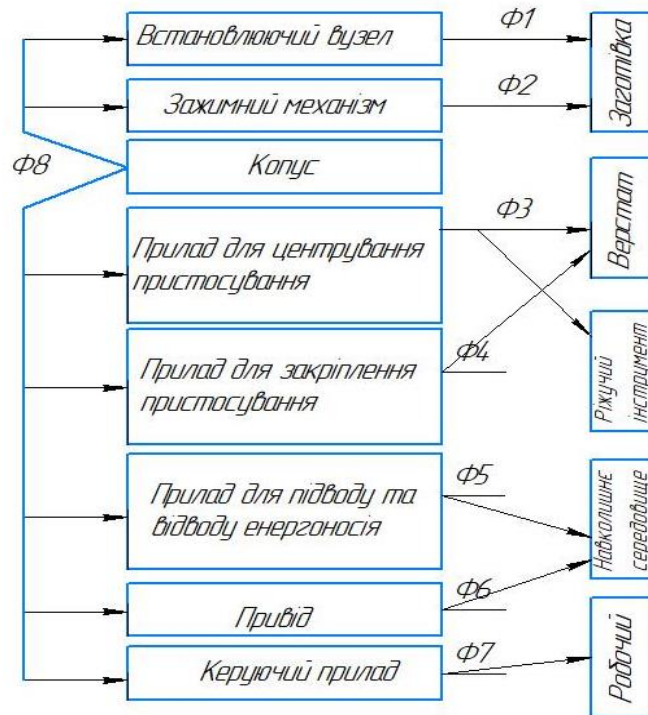


Рисунок 2.8 – Функціональна структура проектувального пристрою

Розробка і обґрунтування схеми закріплення

Аналіз структури полів врівноважуючих сил

На даній операції виконується свердління отворів.

Сили закріплення розраховуються з розрахункової схеми, яку показано на рис. 2.9.

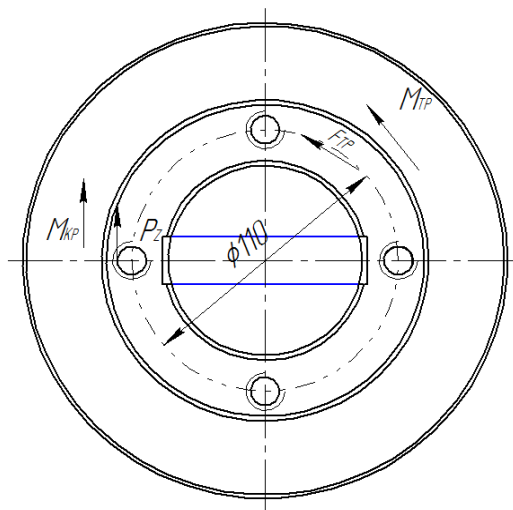


Рисунок 2.9 – Схема розподілення сил

Розрахунок сил закріплення

З умови непровороту заготовки для циліндричної заготовки діаметром бази D (80 мм) встановленої на оправку та навантаженої крутним моментом сила закріплення P_3 визначається за формулою:

$$P_3 = \frac{K \cdot M_{KP}}{R \cdot f} \quad (2.8)$$

де K - коефіцієнт запасу;

M_{KP} - крутний момент, діючий на заготовку при свердлуванні, Н·м;

R - радіус точки прикладання сили P_3 , м;

f - коефіцієнт тертя в місцях контакту заготовки з опорами, по [1] с.85, таблиця 10, при контакті обробленої заготовки з опорами та зажимними елементами пристосування $f = 0,16$.

Визначаємо коефіцієнт запасу K :

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.9)$$

де $K_0=1,5$ - постійний коефіцієнт запасу при всіх випадках обробки;

$K_1=1,0$ - коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки-оброблене або не-оброблене;

$K_2=1,3$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сили різання при затупленні різального інструменту;

$K_3=1,0$ - коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання при обробці переривистих поверхонь на деталі;

$K_4=1,0$ - коефіцієнт, що враховує сталість сили затиску, що розвивається приводом пристрою;

$K_5=1,0$ - коефіцієнт, що враховує зручне розташування рукоятки для ручних пристроїв затискних;

$K_6 = 1,5$ - коефіцієнт, який враховується при наявності моментів, які прагнуть повернути оброблювану деталь навколо її осі.

За формулою 2.9:

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 2,925$$

При цьому сила на штоку приводу з коефіцієнтом запасу дорівнюватиме:

$$Q = 1056 \cdot 2,925 = 3089 \text{ Н.}$$

Вибір і розрахунок силового приводу.

В нашому випадку у якості пневмоприводу обираємо пневмоциліндр в учбових цілях.

Дійсна сила на поршні розраховується за формулою:

$$W = \frac{\pi(D+d)^2}{16} \cdot p \quad (2.10)$$

де: p – розрахунковий тиск, $p=0,4$ МПа;

D – діаметр пневмоциліндра;

d – діаметр штока, 32 мм;

$$D = \sqrt{d^2 + \frac{16Q}{\pi \cdot p}} \quad (2.11)$$

$$D = \sqrt{12,5^2 + \frac{16 \cdot 3089}{3,14 \cdot 0,4}} = 114(\text{мм})$$

Приймаю $D=125$ мм по ГОСТ 9887-70.

Дійсна сила на штоку розраховується за формулою:

$$W = \frac{3,14}{16} (125 + 32) \cdot 0,4 \cdot = 3184(H)$$

Дана сила перевищує необхідну силу затиску заготовки, отже, пристрій забезпечує фіксоване положення деталі при обробці.

Розрахунок точності пристрою ґрунтується затвердженні проте, що будь-яке відхилення в положенні заготовки, пов'язане із пристроєм, як момент установки, так і в період обробки, визначає сумарну похибку пристрою. При цьому сума можливих похибок, що виникають при обробці заготовки, не повинна перевищувати значення допуску, що установлений на розмір заготовки і що витримується при виконанні свердлувальної з ЧПК операції. З інформаційної точки зору розрахунки допусків на виготовлення елементів пристрою являють собою перетворення інформації про точність обробки поверхонь заготовки на даній операції в точнісні вимоги до пристрою.

Розрахункову похибку пристрою знаходять за формулою (5.1). Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовують у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{np} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_0)^2 + \varepsilon_z^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_n^2 + \varepsilon_u^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{noz}^2} \quad (2.12)$$

Розглянемо більш докладно складові, що входять у дану формулу.

$T = 0,18$ мкм – найбільш жорсткий допуск розташування до розміру (з тих, які одержують наданій операції).

$K_T = 1,2$ – 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, той $K_{T1} = 0$. У протилежному випадку $K_{T1} = 0,8 - 0,85$);

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

$\varepsilon_3 = 0$ мкм – оскільки при закріпленні деталі в конусну оправку не існує ймовірність перекосу в осьовому напрямі під дією сил закріплення, приймаємо похибку закріплення рівну 0 мкм.;

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

$\varepsilon_{II} = 10$ мкм – похибка перекосу інструменту приймаємо 0 оскільки використовується достатньо жорсткий інструмент;

$\varepsilon_{II} = 0$ мкм – похибка зношування рівна нулю оскільки ми приймаємо умові рівномірного зношування інструменту. [4];

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

$\omega = 50$ мкм – економічно досягаємо точність обробки;

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

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати:

$$\varepsilon_{np} = 0,48 - 1,2\sqrt{(0 \cdot 0)^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2 + 0,010^2 + (0,6 \cdot 0,05)^2 + 0^2} = 0,442\text{мм}$$

З урахуванням стандартного ряду беремо $\varepsilon_{np} = 0,3$ мм.

Опис пристрою і принципу дії пристрою.

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

Збірка пристосування здійснюється в наступній послідовності:

1. До столу 1 за допомогою болтів 6 прикріпити установчу плиту
2. Провести точну вивірку настановної плити 2 що до загальної площині.
- 3 Угвинтити шток 3 в шток пневмодвигуна.
- 4 До столу 1 прикріпити розподільний кран.
- 5 За допомогою рукавів з'єднати пневмодвигун з розподільним краном.

Збірка пристосування

Всі деталі і вузли пристосування піддати візуальному контролю, виявлені дефекти усунути.

Пофарбувати пристосування, за винятком посадочних місць, емаль ЕП 51.

Експлуатація пристосування

1. Встановити і закріпити пристосування на верстаті з урахуванням нульової точки верстата.
2. Підготувати базові поверхні до установки заготовки.
3. Встановити заготовку на установчу плиту.
4. На шток 8 встановити скобу притискну 9 (на штоку вже нагвинчена гайка 11).
5. Поворотом рукоятки розподільного крана провести закріплення заготовки.
6. Обробити заготовку.
7. Поворотом рукоятки розподільного крана в зворотну сторону відкріпити заготовку

Розрахунок деталі на міцність

Розраховуємо на міцність різьбу М8х1,25 на рим – болтах (це найменший діаметр різі, що допускається ГОСТ), так як вони сприймають значні навантаження при підйомі пристрою. Завідомо приймаю, що буде використовуватися 2 рим-болти. Вага пристрою приблизно 30 кг що дорівнює 300 Н, тобто на один рим-болт буде припадати навантаження 150Н.

Розраховую необхідну площину різі, для одного ремонтного болта.

Для того, щоб різьба на рим-болті не була зірвана, необхідно виконати умови, щоб діаметр різьби болта був не менше допустимого діаметру по міцності:

$$\sigma_p \leq [\sigma_p] \quad (2.14)$$

Межа текучості для Сталі 40 дорівнює $\delta_T = 300$ МПа.

$$[\delta]_p = 0,4\delta_T \quad (2.15)$$

$$[\delta]_p = 0,4 \times 300 = 120 \text{ МПа.}$$

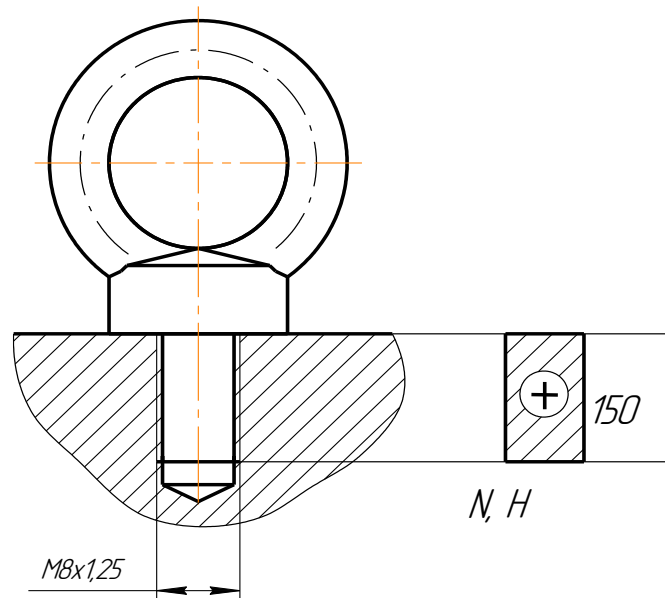


Рисунок 2.12 – Епюра навантажень рим-болта М8х1,25

Небезпечним є перетин, ослаблене нарізкою різьби. Розрахунковий діаметр різьби визначається за формулою:

$$d_p = d - 0,94p \quad (2.16)$$

де: d – зовнішній діаметр різьби, мм;

p – крок різьби, мм.

$$d_p = 8 - 0,94 \times 1,25 = 6,85 \text{ мм}$$

$$\sigma_p = \frac{4N}{\pi d_p^2} \quad (2.17)$$

де N – максимальна осьова сила, що діє на розтягнення

По формулі:

$$\sigma_p = \frac{4 \cdot 150}{3,14 \cdot (6,85)^2} = 28,3 \text{ МПа}$$

Умова $\sigma_p \leq [\sigma]_p$ виконується ($28,3 \text{ МПа} < 120 \text{ МПа}$) отже рим-болти витримують навантаження на розрив при підйомі пристрою.

Складання та експлуатація пристрою.

Пристрій в зборі має задовольняти технічним вимогам креслення загального вигляду і забезпечувати якісну обробку заготовки по заданих розмірах.

Складання пристрою. Всі деталі та вузли пристрою піддають візуальному контролю, виявлені дефекти усунути.

1. До столу верстата по шпонкам 19 встановлюється корпус 2 з пневмокамерою та штоком 6.

2. До корпусу пригвинчується стакан 3.

3. Після цього встановлюється швидкозмінна шайба 7.

4. Шайба пригвинчується гайкою 8.

5. Після цього приєднуються метало рукави 12 за допомогою хомутів 11.

Експлуатація пристрою.

1. Встановити і закріпити пристрій на верстаті.

2. Підготувати базові поверхні до установки заготовки.

3. Встановити заготовку на стакан до упора в торець.

4. Встановити швидкозмінну шайбу.

5. Повернути рукоятку пневморозподільника у положення «Відкрито».

6. Виконати обробку деталі.

7. В процесі експлуатації пристрою виконувати пункти 1 - 7 технічних вимог.

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

Проектування контрольно-вимірювального пристрою.

Згідно з завданням необхідно виконати контроль торцевого биття торця 150 мм щодо поверхні бази А, яка служить базою, з допуском 0,02 мм згідно креслення деталі (додаток А).

Річна програма випуску $N=300$ деталей. Це відповідає дрібносерійному типу виробництва. Такт випуску деталей при двозмінній роботі дорівнює 600 хвилини згідно з пунктом, що свідчить про невисоку інтенсивність процесу обробки. При заданому періоді виробництва виробів 5 років (60 місяців) і при суцільному контролі КВП повинен здійснити 1800 циклів для перевірки запланованого обсягу випуску.

Відповідно до завдання контроль торцевого биття буде проводитися остаточно після всіх операцій.

Уточнення і аналіз точності параметрів контрольованої поверхні.

Точність розміру.

Як уже встановлено, номінал контрольованого розміру 150 мм. Він повинен відповідати точності 14-го квалітету, так як вказано в технічних вимогах креслення деталі. Розмір охоплюється, отже поле допуску його буде $h14$. Верхнє відхилення його згідно ГОСТ 25347-82 $es = 0$; нижнє відхилення $ei = -710$ мкм. Отже допуск $T = 710$ мкм згідно ГОСТ 25347-82. Остаточно проставимо розмір $150h14$ (0; -0,71) на рисунку 2.13.

Точність форми.

На кресленні не оговорений допуск форми контрольованої поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівні відносної геометричної точності А (нормальна відносна геометрична точність) 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від площинності складе $T_{\square} = 0,6 \cdot T_8 = 0,6 \cdot 710 = 422$ мкм.

Отже по ГОСТ 24643-81 приймаємо найближче менше стандартне значення 400 мкм, що відповідає 10-й ступені точності.

Точність розташування поверхонь.

Конструктором обговорений допуск торцевого биття торця деталі, який становить 0,02 мм, а згідно з ДСТУ найближчий стандартний менший допуск дорівнює 0,02 мм, що відповідає 6-му ступеню точності.

Шорсткість.

Згідно креслення, конструктором задана шорсткість контрольованої площини за критерієм $Ra = 3,2$ мкм.

Висновок: під час контролю торцевого биття часні відхилення від площинності, зокрема увігнутість і опуклість, при повороті деталі (при контролі) на 360° можуть не показати реальне торцеве биття поверхні, а ось неправильна форма поверхні (хвилястість) покаже величину биття.

Вибір схеми контролю.

З усієї сукупності поверхонь, що утворюють деталь, претендувати на базові можуть дві: зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 36$ мм, і торцева $\varnothing 36/30$ мм, яка і задана конструктором на кресленні як база і, яка не тільки є найточнішою поверхнею на деталі, але і ще є основною конструкторською базою разом з контрольованою поверхнею в складальному вузлі. Тобто умова, що конструкторська база збігається з вимірювальною базою виконується. Проведемо уточнення і аналіз точностних параметрів цих поверхонь.

Точність розмірів.

– внутрішня циліндрична

Як уже встановлено, номінал розміру базової поверхні 80 мм. Він відповідає точності 7-го квалітету, так як вказано конструктором на кресленні деталі. Поле допуску розміру H7. Верхнє відхилення $ES = +0,03$ мм; нижнє відхилення $EI = 0$ мм. Отже допуск $T = 30$ мкм. Остаточо поставимо розмір $\varnothing 80 (+0,03; 0)$ мм.

– торець

Номінал розміру базової поверхні 130 мм (за кресленням). Його відхилення за кресленням одне $(0; -0,62)$ мм, що відповідає допуску в районі 14-го квалітету. Поле допуску приймаємо h14. Верхнє відхилення його згідно ГОСТ 25347-82 $es =$

0 мкм; нижнє відхилення $e_i = -0,62$ мм. Отже допуск $T = 620$ мкм згідно ГОСТ 25347-82. Остаточно проставимо розмір 130 (0; -0,62) мм.

Точність форми.

На кресленні не оговорені допуски форми базової поверхні. На цій поверхні будуть виникати такі відхилення форми: відхилення циліндричності і відхилення від круглості, окремими випадками якого є овальність і огранювання, а також часні відхилення профілю поздовжнього перерізу – конусообразність, бочкообразність, седлообразність, хоча ці відхилення в більшій мірі притаманні деталям типу валів. Тому визначимо допуск круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу, які пов'язані з допуском на розмір і складають при рівній відносній геометричній точності A (нормальна відносна геометрична точність) 30% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від круглості, циліндричності і профілю поздовжнього перерізу складе $T_{O/o/} = 0,3 \cdot T_{80} = 0,3 \cdot 30 = 9$ мкм.

Отже приймаємо найближче менше значення 9 мкм, що відповідає 6-му ступеню точності.

На кресленні не обговорений допуск форми даної поверхні. На цій поверхні виникатиме відхилення від площинності. Тому визначимо допуск площинності, який пов'язаний з допуском на розмір і становить при рівній відносній геометричній точності A 60% від допуску на розмір, тобто, максимальне значення відхилення від площинності складе $T_{\square} = 0,6 \cdot T_{130} = 0,6 \cdot 620 = 362$ мкм.

Отже приймаємо найближче менше стандартне значення 360 мкм, що відповідає 12-му ступеню точності.

Ступінь шорсткості.

Згідно креслення параметри шорсткості $\text{Ø}80\text{H}7 - 1,6$ мкм за критерієм R_a і торця 6,3 мкм за критерієм R_a . Це відповідає точносним вимогам.

Вибір і обґрунтування схеми базування.

Складемо порівняльну таблицю кількісно-точнісних параметрів базової і контрольованої поверхонь. Вона дозволить прийняти обґрунтоване рішення про придатність розглянутих поверхонь в якості базових.

Таблиця 2.12 – Точнісні параметри поверхонь

Найменування точнісного показника	Контрольована поверхня	Базові поверхні	
		Ø80H7	торець Ø130/Ø80
1. Точність розміру (квалітет)	14	7	14
2. Точність форми (ступінь точності)	12	8	12
3. Точність розташування поверхонь (ступінь точності)	7	6	7
4. Ступінь шорсткості	Ra 6,3 мкм	Ra 1,6 мкм	Ra 6,3 мкм

Висновок: з таблиці видно, що параметри базових поверхонь: точність розміру, форми – вище, а ступінь шорсткості нижче, ніж аналогічні параметри контрольованої поверхні, отже за даними показниками ці поверхні можна прийняти в якості базових. Точність розташування поверхні Ø80H7 вище ніж контрольованої, тому за цим показником цю поверхню також можна прийняти в якості базової. Точність розташування торця аналогічна точності розташування контрольованої поверхні, що для базових поверхонь незадовільно, проте кращого варіанту ніж дана поверхню на деталі немає, тому це віднесемо до зауважень конструктору.

Так як деталь базується установкою на оправку і установкою по торцю, а також притискається через отвір гідропластовою оправкою, при цьому зазор із базовою поверхнею буде дорівнювати 0, то похибка базування безпосередньо не впливає на точність вимірювання. Деталь буде позбавлена п'яти ступенів свободи (подвійна напрямна і опорна бази). Дана схема дозволить поєднати конструкторську і вимірювальну бази, в результаті чого похибка базування зведеться до нуля, що було описано вище. Закріплення буде здійснюватися гідропластовою оправкою.

Вибір і обґрунтування схеми закріплення.

Деталь при контролі розташовується вертикально. Закріплення контрольованої деталі необхідно для фіксації базування і запобігання випадкових зрушень під час контролю. Як механізм закріплення використовуємо гідропластову оправку. Похибка закріплення при використанні даної схеми дорівнює нулю.

Вибір контактного або безконтактного методу вимірювання.

При контактних вимірах вимірювальний наконечник притискається до поверхні вимірюваної деталі. У загальному випадку можуть бути точковий, лінійний і поверхневий контакти. Необхідно прагнути до створення точкового контакту, в даному випадку плоска деталь – сферичний наконечник. Однак внаслідок наявності вимірювального зусилля точковий контакт викликає змінання вимірюваного виробу в точці контакту.

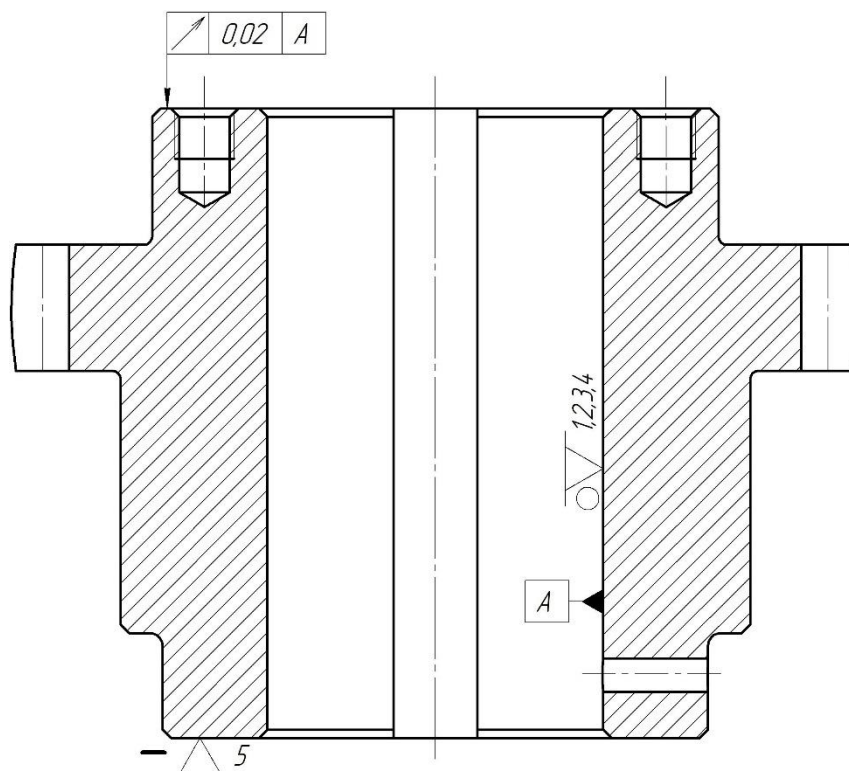


Рисунок 2.13 – Схема базування деталі на контрольній операції

При безконтактних вимірюваннях чутливий елемент безпосередньо не контактує з вимірюваною деталлю, що усуває знос входного елемента і забезпечує мале вимірювальне зусилля, що дуже важливо при контакті з деталями з м'яких металів і сплавів. Однак безконтактні прилади (пневматичні, оптичні) чутливі до забруднення деталі і необхідні додаткові заходи по її очищенню.

Тому при виборі контактного і безконтактного способів віддаємо перевагу контактному способу. Це обумовлено тим, що характеристики міцності матеріалу деталі високі ($HB = 197$, $\sigma_B = 490$ МПа, $\sigma_T = 196$ МПа) і контрольована поверхня без деформацій і змінання може сприйняти значне вимірювальне зусилля.

Для забезпечення точкового контакту приймаємо наконечник сферичної форми при радіусі сфери не менше 5 мм, типу НР з твёрдосплавної вставкою.

Дана величина радіусу сфери наконечника обрана виходячи з міркувань, що при таких параметрах наконечника площі контакту буде достатньо для виконання умови незминання поверхні деталі, а також зменшення ймовірності виникнення похибки внаслідок збільшення забруднення зони контакту.

З огляду на твердість контрольованої поверхні і допуск контрольованого параметра 0,06 мм, геометричні параметри наконечника орієнтовно призначаємо вимірювальне зусилля 5Н. В цьому випадку очікувана похибка від вимірювального зусилля визначається за формулою Герца:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{yc}^2}{r}}, \quad (2.18)$$

де k – коефіцієнт, що залежить від матеріалу наконечника. При твердому сплаві $k = 0,81$;

P_{yc} – вимірювальне зусилля, Н;

r – радіус наконечника, мм.

Тоді похибка від вимірювального зусилля:

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{5^2}{5}} = 0,595 \text{ мкм.}$$

Вибір статичного або динамічного методу контролю.

При статичному режимі контрольована деталь в процесі вимірювання нерухома щодо установчих елементів КВП і результат вимірювання визначається, коли всі елементи приладу прийшли в стан спокою.

У нашому випадку деталь для здійснення контролю вимагає повороту навколо своєї осі на 360° , так як інакше проконтролювати з даною точністю (торцеве биття) неможливо, тому далі розглядати плюси і мінуси динамічного контролю не має сенсу. Тому в нашому випадку приймаємо динамічний режим контролю.

Вибір розташування деталі при контролі.

Реалізація переміщення деталі щодо елементів КВП в процесі налагодження та контролю, а саме обертання навколо власної осі на 360° , буде здійснюватися без особливих зусиль з боку контролера, так як стакан буде з'єднаний з фланцем, який встановлений на опорах кочення (рис. 2.14), що варто відзначити як позитивний момент в конструкції КВП.

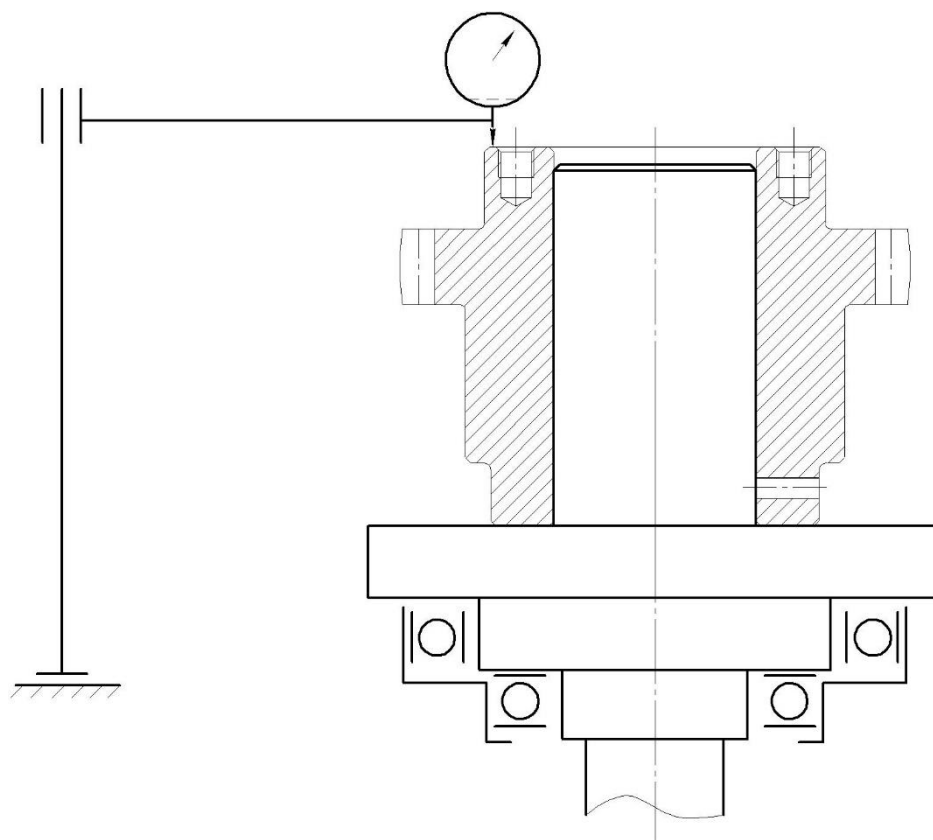


Рисунок 2.14 – Схема контролю деталі

Вибір засобу вимірювання.

Вибір засобу вимірювання почнемо з визначення оптимальних метрологічних, експлуатаційних і надійностних характеристик, якими має володіти засіб вимірювання.

Допустима сумарна похибка вимірювання КВП знаходиться як частина виробничого допуску контрольованого параметра $T_{пр} = 30$ мкм:

$$[\Delta_{ИЗМ}] = k \cdot T_{пр}, \quad (2.19)$$

де k – відносна похибка вимірювання, яка залежить від квалітету або ступеня точності контрольованого параметра (для 6-го ступеня точності $k = 0,25$).

Тоді:

$$[\Delta_{ИЗМ}] = 0,25 \cdot 30 = 7,5 \text{ мкм.}$$

Відповідно до ГОСТ 8.051-81 рекомендується прийняти $[\Delta_{ИЗМ}] = 6 \text{ мкм.}$

Визначимо допустиму похибку засоби вимірювання (інструментальну похибку):

$$[\Delta_{ИИ}] = (0,6 - 0,8) \cdot [\Delta_{ИЗМ}]; \quad (2.30)$$

Приймаємо коефіцієнт 0,6:

$$[\Delta_{ИИ}] = 0,6 \cdot 6 = 3,6 \text{ мкм.}$$

Ціна поділки розраховується залежно від величини допустимої інструментальної похибки засобу вимірювання:

$$[c] = (0,5 - 2) \cdot [\Delta_{ИИ}] \quad (2.31)$$

Приймаємо коефіцієнт 1, тоді:

$$[c] = 1 \cdot [\Delta_{ИИ}] = 1 \cdot 3,6 = 3,6 \text{ мкм.}$$

Інтервал поділки шкали $[a]$ приймається з рекомендацій [14] рівний від 0,9 до 2,5 мм, оскільки менша відстань між сусідніми штрихами шкали може утруднити зчитування показань засобу вимірювання, а більше не доцільно. Тому приймаємо $[a] = 1 \text{ мм}$, як найбільш поширене в практиці.

Межа вимірювання за шкалою $[A]$ повинна перевищувати допуск T_{np} , щоб зняття показань здійснювалось без зайвих турбот. Тому приймаємо:

$$[A] = 2 \cdot T_{np} = 2 \cdot 30 = 60 \text{ мкм.}$$

Межа вимірювання засобу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації. Для відносних вимірювань цілком достатньо прийняти $[B] = 1 \text{ мм}$.

Допустиму варіацію показань приймаємо $[W] = 2\text{мкм}$.

Вимірювальна умова P_{yc} обумовлюється характером контролюючих поверхонь при вимірюванні, жорсткістю контрольованої поверхні, величиною допуску вимірюваного параметра. Значення вимірювального зусилля було прийнято в попередній роботі, отже прийmemo його як допустимий $[P_{yc}] = 5\text{ Н}$.

Допустиме коливання вимірювального зусилля обумовлено величиною $[\Delta P] = 1\text{ Н}$ [14].

Встановлюється необхідний ресурс (показник експлуатаційної надійності) засобу вимірювання, який визначається кількістю вимірювальних циклів $[K]$ і ймовірністю безвідмовної роботи засоби вимірювання $[q]$ (%).

Імовірність безвідмовної роботи $[q] = 85\%$, виходячи з можливостей вимірювальних засобів, що випускаються інструментальної промисловістю.

Кількість вимірювальних циклів дорівнює 1500 циклів (вимір деталей протягом 5 років). Отже приймаємо $[K] = 1500$ циклів.

Згідно сталим цінами на контрольно-вимірювальні засоби, встановимо витрати на придбання СІ: $[L] = 250$ грн.

Пошук засобу вимірювання по заданим обмеженням.

Після того як стали відомі допустимі значення по метрологічним, експлуатаційним і надійностного показниками, можна приступити до пошуку засоби вимірювання. Прийнятним вважається засіб вимірювання, значення характеристик якого знаходяться в такому співвідношенні з допустимим:

Здійснюємо пошук засобу вимірювання за таблицями ричажно-зубчастих вимірювальних головок. Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Для уникнення необхідності застосування важельних механізмів застосуємо індикатор з рухомою ніжкою, яка може повертатися в просторі для здійснення контролю. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA LT4512, з наступними параметрами:

$A = 400$ мкм, $B = 2$ мм, $P_{yc} = 2$ Н, $\Delta P_{yc} = 0,7$ Н, $W = 1$ мкм, $K = 165000$, $q = 95\%$, $C = 1800$ грн.

Порівняємо ці значення з допустимими (розрахунковими), приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності і економічності дотримуються:

$$\begin{aligned} \Delta_{min} = 3 \text{ мкм} < |\Delta_{min}| = 3,6 \text{ мкм}; & c = 2 \text{ мкм} < |c| = 3,6 \text{ мкм}; a = 2 \text{ мм} > |a| = 1 \text{ мм}; \\ A = 400 \text{ мкм} > |A| = 60 \text{ мкм}; & B = 2 \text{ мм} > |B| = 1 \text{ мм}; P_{yc} = 2 \text{ Н} < |P_{yc}| = 5 \text{ Н}; \\ \Delta P = 0,7 \text{ Н} < |\Delta P| = 1 \text{ Н}; & W = 1 \text{ мкм} < |W| = 2 \text{ мкм}; K = 165000 > |K| = 1500; \\ q = 95\% > |q| = 85\%; & C = 200 \text{ грн.} < |C| = 250 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Пошук здійснюємо відповідно до паспортів й каталогів технічних характеристик для важільно-зубчастих та інших вимірювальних головок. Найбільш близьким за показниками для контролю торцевого биття буде використання індикаторної головки TESA LT4512, що має такі метрологічні характеристики:

Інші індикаторні головки мають надлишкову точність та меншу надійність. Тому остаточно вибираємо індикатор TESA LT4512.

Розробка кінематичної схеми КВП.

На схемі в спрощеному вигляді зображені основні механізми (функціональні вузли) КВП. Схема дає поняття про характер переміщення, граничні положення, видах зв'язків. Кінематична схема зображена на рис. 2.15.

Розробка ескізу функціонального вузла.

Реалізуючи даний крок розробимо ескіз функціонального вузла, що викликає найбільший інтерес з точки зору важливості його роботи в КВП і складності проектування.

Наведемо ескіз функціонального вузла обертання деталі (рис. 2.16, 2.17), згідно з принциповою кінематичною схемою і схемою розміщення елементів ЗВТ з використанням опор кочення, що відрізняються від опор ковзання меншими втратами на тертя і більшої технологічності, як в процесі виготовлення і складання, так і в процесі експлуатації. На ескізі проставимо посадки опор кочення на вал і в корпус, а також інші необхідні для збірки посадки. На рисунку 2.16 в конструкції приймемо два наполегливих і один радіальний кулькові підшипники різних

розмірів, а на рисунку 2.17 два радіально-упорних підшипника з конічними роликами для того, щоб вибрати люфти.

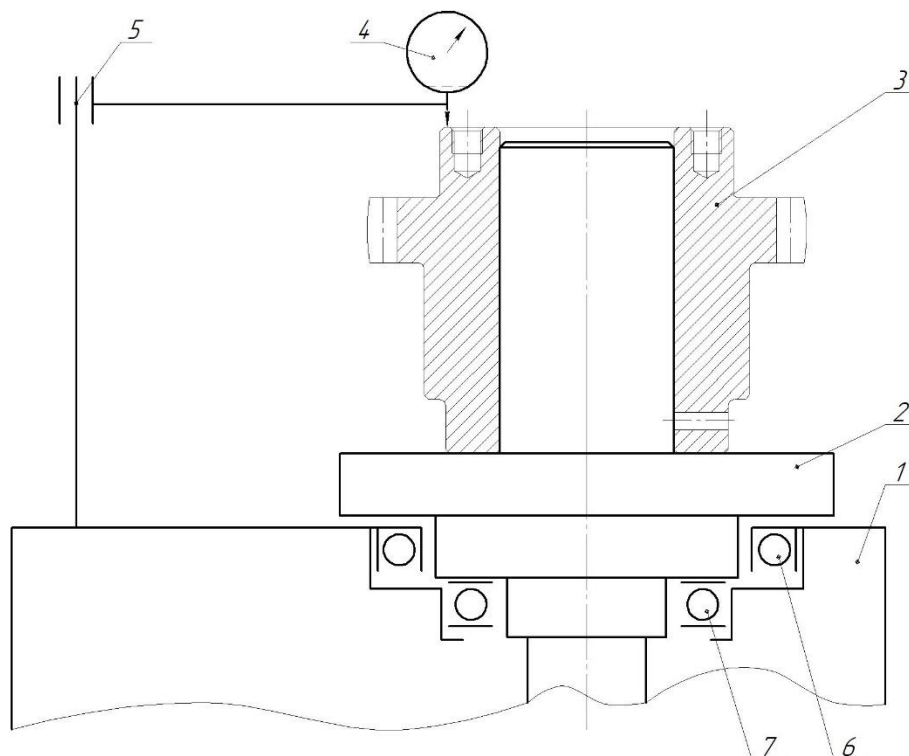


Рисунок 2.15 – Принципова схема контролю торцевого биття:
 1 – корпус; 2 – оправка; 3 – деталь; 4 – індикатор; 5 – стійка;
 6 – підшипник радіальний; 7 – підшипник упорний.

Як видно з рисунка 2.16 функціональна одиниця містить досить велику кількість оригінальних деталей, підшипників, а також складну конструкцію вала і корпуса в порівнянні з функціональним вузлом, зображеним на рисунку 2.17. На рисунку 2.17 корпус має наскрізний отвір, а вал всього лише два ступені, також два підшипника замість трьох, як в першому випадку.

Контроль параметра – торцевого биття, буде забезпечений в обох випадках з достатньою точністю, так як осьове биття більшого упорного підшипника 1,8 мкм, а радіально-упорного 2 мкм (при торцевому битті контрольованої поверхні 60 мкм), тому як більш технологічний варіант приймаємо другий ескіз функціонального вузла, зображений на рисунку 2.17.

Розрахунок фактичної сумарної похибки КВП

Визначення сумарної фактичної похибки вимірювання КВП – один з найбільш важливих і відповідальних етапів проектування, на підставі якого визнача-

ють можливість КВП здійснювати контроль заданих параметрів з необхідною точністю і достовірністю.

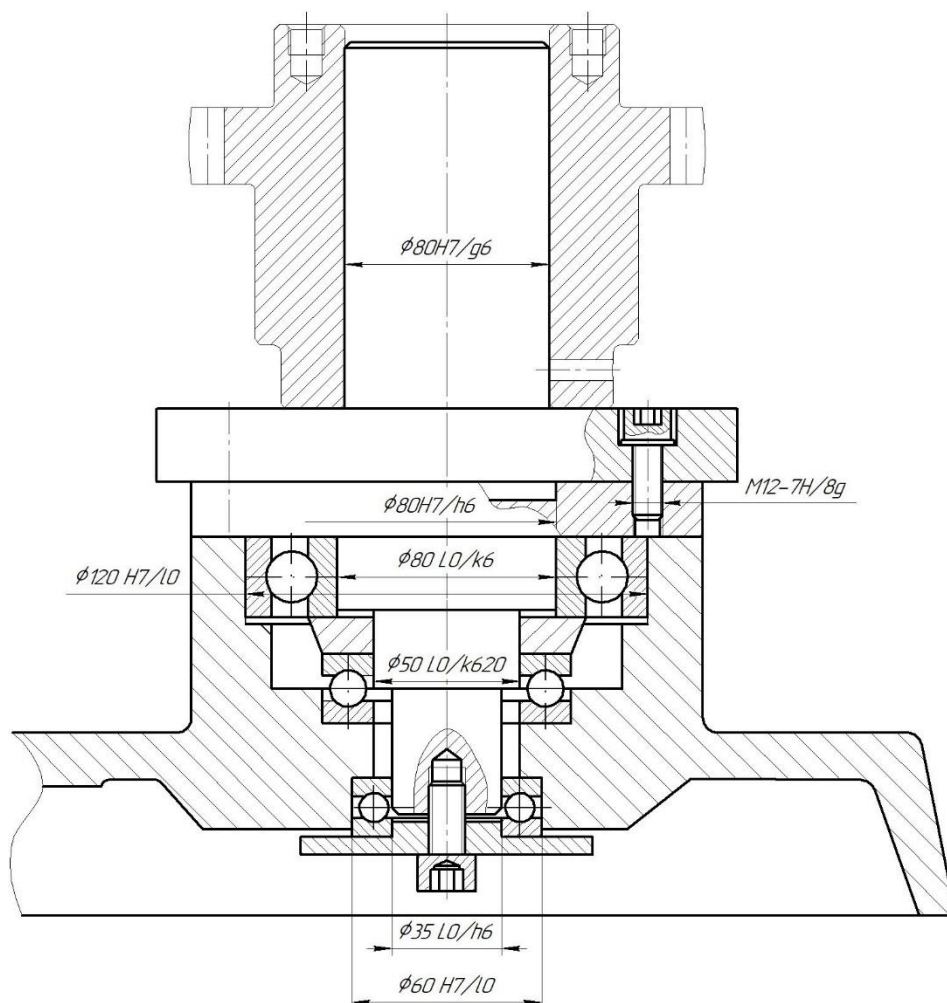


Рисунок 2.16 – Ескіз функціонального вузла з радіальними і упорними підшипниками

А для цього необхідно, щоб сумарна фактична похибка вимірювання КВП не перевищувала допустиму похибку вимірювання:

$$\Delta_{\phi} \leq [\Delta_{ИЗМ}] \quad (2.22)$$

Фактична похибка КВП визначається за формулою:

$$\Delta_{\phi} = \sqrt{\Delta_{ИИ}^2 + E^2 + \Delta_{\text{э}}^2 + \Delta_{\text{yc}}^2 + \Delta_t^2 + \Delta_p^2}, \quad (2.23)$$

де $\Delta_{ИИ} = 3$ мкм – похибка засобу вимірювання;

E – похибка установки;

$\Delta_9=0$ – похибка міри або еталона, так як при контролі беремо еталон;

Δ_{yc} – похибка від вимірювального зусилля;

$\Delta_t=0$ – похибки від температурних деформацій, цієї похибкою можна знехтувати, оскільки контроль деталей буде проводитися не відразу після їх виготовлення і доставки на стіл ВТК, а з витримкою певного часу, для того щоб температура деталі і температура всього КВП зрівнялася;

Δ_p – похибка передавальних пристроїв.

Похибка установки визначається як:

$$E = \sqrt{E_6^2 + E_3^2 + E_{np}^2}, \quad (2.24)$$

де $E_6 = 0$ – похибка базування, визначена в пункті 2;

$E_3 = 0$ – похибка закріплення, яка дуже мала, тому що сила закріплення дорівнює приблизно 10Н, що при тиску через шайбу швидкозмінний практично не вплине на деталь, так як її твердість за кресленням 179НВ;

E_{np} – неточності виготовлення елементів пристрою.

Неточності виготовлення елементів пристосування визначаємо за формулою:

$$E_{np} = \sqrt{E_{np1}^2 + E_{np2}^2}, \quad (2.25)$$

де $E_{np1} = 2$ мкм – похибка, що виникає внаслідок осьового биття в радіально-упорних підшипниках 7212 ГОСТ 27635-87, клас точності 0 [15], яка безпосередньо впливає на показання при контролі торцевого биття;

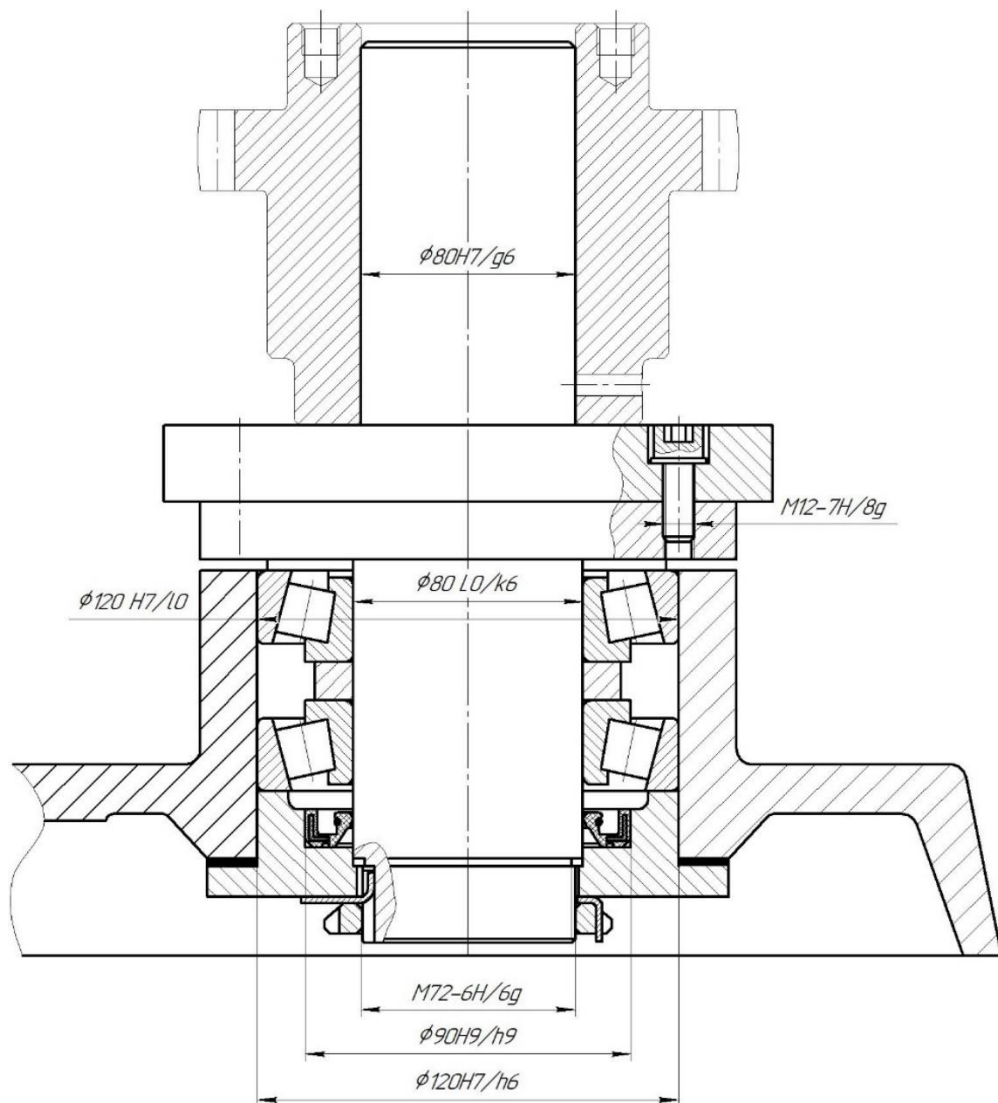


Рисунок 2.17– Ескіз функціонального вузла з радіально-упорними підшипниками

$E_{np2} = 0$ – похибка, що виникає внаслідок неточності розташування індикатора щодо контрольованої деталі, похибкою можна знехтувати оскільки вимірювання відносні;

$$E_{np} = \sqrt{2^2 + 0^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Похибка установки:

$$E = \sqrt{0^2 + 0^2 + 2^2} = 2 \text{ мкм.}$$

Похибка вимірювального зусилля визначаємо за формулою:

$$\Delta \delta \tilde{n} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{5}} = 0,323 \text{ мкм.}$$

Так як в конструкції КВП не має ричага, то $\Delta_{p4}=0$.

Фактична похибка КВП:

$$\Delta_{\Phi} = \sqrt{3^2 + 2^2 + 0^2 + 0,323^2 + 0^2 + 0^2} = 3,62 \text{ мкм.}$$

$\Delta_{\Phi} = 3,62 \text{ мкм} < \Delta_{\text{ИЗМ}} = 6 \text{ мкм}$ - отже показання КВП достовірні.

Визначення впливу похибок вимірювання на результати контролю.

Для визначення впливу похибок вимірювання на результати контролю необхідно встановити залежності між похибкою вимірювання, ймовірністю неправильного приймання бракованих деталей m і відбракування придатних деталей n , ймовірнісною величиною граничного виходу розміру за межу поля допуску C у неправильно прийнятих деталей і коефіцієнтом точності методу вимірювання:

$$k = [\Delta_{\text{ИЗМ}}] / T_{\text{np}} = 6 / 30 = 0,2 .$$

Отже при $k = 0,2$ з таблиці [13] вибираємо ймовірнісні граничні кількості неправильно розбракованих деталей і величин виходу за межі поля допуску величина виходу розміру за межі поля допуску, $C = 8\%$, при допуску 60 мкм:

$$C = 0,08 \cdot 60 = 4,8 \text{ мкм;}$$

Кількість неправильно прийнятих деталей при контролі коливань розмірів $m = 1,6\%$, при кількості перевірених деталей за 5 років 5 N рік = 1800 штук

$$m = 0,016 \cdot 1500 = 24 \text{ шт.};$$

Кількість неправильно забракованих деталей при контролі коливань розмірів $n = 2\%$, при кількості перевірених деталей за 5 років

$$n = 0,02 \cdot 1500 = 30 \text{ шт.}$$

Техніко-економічний ефект від застосування КВП.

В даному пункті відзначимо лише те, що КВП для контролю заданого параметра на підприємстві не має, отже спроектований КВП, який відноситься до II групи складності (включаючи в себе 35 деталей), вартість якого дорівнює приблизно 4500 грн. Буде виправданим рішенням.

Розробка технічних вимог на виготовлення КВП.

Введення в виробництво більш досконалого засобу контролю дуже вигідно для виробництва. Так само слід враховувати безліч факторів, пов'язаних з підвищенням якості і надійності вимірювання, тому необхідно грамотно скласти технічні вимоги та проставимо їх на креслення.

Результати вимірювання служать основою для прийняття рішення про регулювання елементів технологічного процесу.

Спроектований КВП призначений для контролю готової продукції та забезпечений необхідною документацією, в якій висвітлюються результати перевірок, здійснюваних метрологічною службою підприємства відповідно до встановлених локальними перевірочними схемами: при випуску з виробництва, при експлуатації.

2.9 Техніко-економічне обґрунтування запропонованого технологічного процесу

Зіставлення собівартості технологічного процесу шляхом докладного розрахунку робимо по одній операції обробки деталі, а саме свердлильної з ЧПК.

Економічна ефективність запроєктованого технологічного процесу визначається шляхом економічного порівняння обраного варіанту технологічного процесу з базовим (заводським) варіантом. Вихідні дані для економічного порівняння зведені в таблицю 2.8.

Розрахунок технологічної собівартості.

Вартість основного матеріалу.

$$C_{OM} = Q \cdot C_M - q \cdot C_O \quad (2.26)$$

де Q – норма витрати матеріалу;

C_M – ціна матеріалу;

q – вага реалізованих відходів;

C_O – ціна відходів.

- по базовому варіанту $Q = 2,5$ кг

$$C_{OM} = 2,5 \cdot 30 - 1,4 \cdot 6 = 6,66 \text{ грн};$$

- по проектуваному варіанту $Q = 1,5 \text{ кг}$

$$C_{OM} = 1,5 \cdot 30 - 0,4 \cdot 6 = 4,26 \text{ грн.}$$

Таблиця 2.8 – Вихідні дані

Вихідні дані	Од. вим.	Базовий варіант	Проектований варіант
		Вертикально- свердлильна	Свердлильна зЧПК
Річна програма	шт.	300	300
Обладнання:			
модель		2Н135	DOOSAN 4512
кількість		1	1
коефіцієнт завантаження		0,35	0,9
вартість одиниці обладнання	грн	100000	500000
сумарна встановлена потужність електродвиг	кВт	8	8
Ріжучий інструмент:			
найменування		Свердла	Свердла
кількість	шт.	2	2
вартість одиниці або комплекта	грн.	100	100
Штучний час на операцію	хв.	8,9	1,1
Машинний час	хв	4,8	0,57
Чисельність робітників	чел	1 на верстат	1 на верстат
Розряд роботи		4	3
Виробнича площа, займана одиницею обладнання	м ²	4,2	5,1

Основна і додаткова зарплата виробничого робітника

$$Z_P = C_Q \cdot \kappa_1 \cdot \kappa_2 \frac{t_{шт}}{60} \cdot K_{MH} \quad (2.27)$$

де $C_{\text{ч}}$ – годинна тарифна ставка відповідного розряду;

$k_1 = 1,4$ – коефіцієнт, що враховує додаткову зарплату;

$k_2 = 1,375$ – відрахування на соціальне страхування;

$t_{\text{шт}}$ – штучний час на операцію;

$K_{\text{МН}} = 1$ – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування;

- по базовому варіанту:

$$Z_{\text{ТОК}} = 51,64 \cdot 1,4 \cdot 1,375 \cdot \frac{8,9}{60} \cdot 1 = 48,26 \text{ грн.}$$

- по проектуваному варіанту:

$$Z_{\text{ТОК}} = 31,64 \cdot 1,4 \cdot 1,375 \cdot \frac{1,1}{60} \cdot 1 = 16,46 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування по обладнанню

$$A_O = \frac{(1,1 \div 1,15) \cdot S_O \cdot A_n}{N_{\text{год}} \cdot 100} \cdot \eta \quad (2.28)$$

де S_O – вартість одиниці обладнання;

$\eta = 0,6$ – понижуючий коефіцієнт;

$A_n = 24$ – норма амортизаційних відрахувань на реновацію;

$N_{\text{год}} = 150$ – річна програма випуску;

$$A_O^B = \frac{1,1 \cdot 100000 \cdot 24 \cdot 1}{150 \cdot 100} \cdot \frac{0,032}{0,35} = 6,44 \text{ грн.};$$

$$A_O^{Pr} = \frac{1,1 \cdot 500000 \cdot 24 \cdot 1}{150 \cdot 100} \cdot \frac{0,011}{0,8} = 2,25 \text{ грн.}$$

Витрати на ремонт обладнання (Р).

Приймають Р в розмірі 80% від амортизаційних відрахувань на реновацію.

$$P^B = 6,44 \cdot 0,8 = 3,55 \text{ грн.};$$

$$P^{Pr} = 2,25 \cdot 0,8 = 1,8 \text{ грн.}$$

Витрати на силову електроенергію.

$$\mathcal{E} = [0,25 \cdot N_y \cdot (t_{шт} - t_{маш}) + (0,5 \dots 0,8) N_y \cdot t_{маш}] \frac{S_d}{60} \quad (2.29)$$

де N_y – потужність електродвигунів;

$S_d = 2,8$ – вартість 1 кВт • год електроенергії;

0,5...0,8 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності устаткування в процесі різання;

0,25 – коефіцієнт, що враховує використання встановленої потужності, що витрачається при холостій роботі обладнання;

$$\mathcal{E}_B = [0,25 \cdot 22 \cdot (8,9 - 4,8) + 0,5 \cdot 22 \cdot 4,8] \cdot \frac{0,8}{60} = 115,11 \text{ грн.};$$

$$\mathcal{E}_{Pr} = [0,25 \cdot 22 \cdot (1,1 - 0,57) + 0,5 \cdot 22 \cdot 0,57] \cdot \frac{0,8}{60} = 61,31 \text{ грн.}$$

Витрати на різальний інструмент.

$$Z_{И} = \frac{(S_{И} + S_{М} \cdot n) \cdot t_{маш} \cdot k_{уб}}{T_{СМ} \cdot (n+1)} \quad (2.30)$$

де $S_{И}$ – вартість інструменту;

$S_{М}$ – вартість переточки;

n – число переточувань до повного зносу;

$k_{уб} = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує випадкову втрату;

$T_{СМ}$ – стійкість інструменту між двома переточуваннями;

$$I_H^B = \frac{(45 + 10,68 \cdot 13) \cdot 35,8 \cdot 1,1}{60 \cdot (13+1)} = 3,57 \text{ (грн)};$$

$$I^{Pr} = \frac{(45 + 10,68 \cdot 13) \cdot 12,65 \cdot 1,1}{60 \cdot (13+1)} = 1,26 \text{ грн.}$$

Витрати на допоміжні матеріали.

$$B_M = \frac{M \cdot n}{N_{\text{год}}} \quad (2.31)$$

де $M = 280$ грн – річні витрати на допоміжні матеріали;

n – кількість одиниць обладнання;

- по базовому варіанту:

$$B_M = \frac{280 \cdot 1}{150} \cdot \frac{0,032}{0,75} = 0,11 \text{ грн.}$$

- по проектуваному варіанту:

$$B_M = \frac{280 \cdot 1}{150} \cdot \frac{0,011}{0,78} = 0,04 \text{ грн.}$$

Витрати на утримання виробничої площі.

$$З_{\Pi} = \frac{S_{\Pi\Pi} + \kappa \cdot n \cdot P}{N_{\text{год}}} \quad (2.32)$$

де $S_{\Pi\Pi}$ – площа, займана одиницею обладнання;

$\kappa = 2,5$ – коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи і проїзди;

$P = 200$ грн – річна норма витрат з утримання 1 м^2 виробничої площі;

$$C_{\Pi}^B = \frac{4,2 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 200}{150} \cdot \frac{0,032}{0,75} = 4,79 \text{ грн.}$$

$$C_{\Pi}^{Pr} = \frac{5,1 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 200}{150} \cdot \frac{0,011}{0,78} = 5,46 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.9.

Таблиця 2.9 – Результати розрахунків технологічної собівартості

№ п/п	Найменування елементів витрат	Базовий варіант	Проектований варіант
1	Вартість основного матеріалу, грн	-	-
2	Основна і додаткова зарплата виробничого робітника Z_p , грн	53,6	19,46
3	Амортизаційні відрахування по обладнанню A_o , грн	4,44	2,25
4	Витрати на ремонт обладнання P , грн	3,55	1,8
5	Витрати на силову електроенергію \mathcal{E} , грн	115,11	61,31
6	Витрати на різальний інструмент I_H , грн	3,57	1,26
7	Витрати на допоміжні матеріали B_M , грн	0,11	0,04
8	Витрати по утриманню виробничої площі C_{Π} , грн	4,79	5,46
	Всього, грн	182,3	93,8

Розрахунок капітальних витрат за варіантами

Капітальні витрати на обладнання:

$$K_{OB} = (1,1 \div 1,15) \cdot S_{OB} \cdot n, \quad (2.33)$$

де S_{OB} – вартість одиниці обладнання, грн.;

$1,1 \div 1,15$ – коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування і монтаж;

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.

$$K_{OB}^B = 1,1 \cdot 100000 \cdot 1 = 110000 \text{ грн.};$$

$$K_{OB}^{Pr} = 1,1 \cdot 500000 \cdot 1 = 550000 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на будівлю:

$$K_{ЗД} = S_{\Pi\Pi} \cdot K \cdot n \cdot h \cdot C_{ЗД}, \quad (2.34)$$

де $S_{\Pi\Pi}$ – виробнича площа, займана одиницею обладнання;

$K=2,5\text{м}^2$ – коефіцієнт, що враховує додаткову площу під проходи;

n – кількість одиниць обладнання на даній операції, шт.;

h – висота будівлі, м ; $h= 7,2$ м;

$C_{3Д}$ – вартість 1 м³ будівлі; $C_{3Д}=200$ грн.

$$K_{3Д}^B = 7,58 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 7,2 \cdot 200 = 21388 \text{грн.};$$

$$K_{3Д}^{Pr} = 9,57 \cdot 2,5 \cdot 1 \cdot 7,2 \cdot 200 = 32552 \text{грн.}$$

Разом капітальні витрати за варіантами:

$$K_{\phi}^B = K_{OB}^B + K_{3Д}^B = 110000 + 21388 = 121288 \text{грн.};$$

$$K_{\phi}^{Pr} = K_{OB}^{Pr} + K_{3Д}^{Pr} = 165000 + 32552 = 159453 \text{грн.}$$

Розрахунок річного економічного ефекту

Річний економічний ефект:

$$\Delta z = (C_{баз} \cdot N_{год} + E_n \cdot K_{баз}) - (C_{пр} \cdot N_{год} + E_n \cdot K_{пр}), \quad (2.35)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, що дорівнює 0,15.

$$\Delta z = (179,83 \cdot 150 + 0,15 \cdot 121288) - (88,53 \cdot 150 + 0,15 \cdot 159453) = 7181 \text{ грн.}$$

Можна зробити висновок, що впровадження нових засобів виробництва є ефективним.

2.11 Висновок

Таким чином у розділі удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі «Втулка насоса» у якості заготовки була прийнята поковка на ГKM, так як

вона більш економічно вигідна, ніж поковка на КГШП.

Під час виконання роботи було проаналізовано заводський технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Виконано аналіз схем базування та закріплення заготовки на операціях із визначенням похибок базування. Розраховано припуски аналітичним способом на найбільш точну поверхню, призначенні верстати, оснащення, режими різання та виконано технічне нормування операцій.

Спроектований верстатний пристрій для свердлильної із ЧПК операції з пневматичним приводом, що дозволяє скоротити допоміжний час та підвищити надійність процесу. Також виконана розробка контрольно-вимірювального пристрою для контролю торцевого биття з обґрунтуванням і точнісними розрахунками.

Виконаний розрахунок економічного ефекту від впровадження нового обладнання на операції свердлильна з ЧПК, який склав 7181 гривню на рік, що зі зростанням вартості електроенергії і матеріалів буде збільшуватись і надалі.

РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Аналіз досліджень у галузі проектування верстатних пристроїв

На даний час у світі розвиваються різні підходи до проектування та дослідження ВП для операцій механічної обробки деталей різних класів. Для аналізу сучасного стану досліджень у галузі проектування ВП та визначення актуального напрямку досліджень розглянуті основні підходи до проектування, а саме дослідження точності, гнучкості та оптимізації конструкцій ВП.

Авторами статті [21] проведені дослідження в галузі проектування затискних елементів ВП та запропоновано використовувати принцип «форми затискних елементів» та величини сил закріплення, для визначення їх оптимального місця положення на заготовці та залежно від цього оптимальну величину сили. При цьому застосовувався алгоритм, аналогічний алгоритму за яким працюють елементи захвату у роботів. Результатом є розроблення програмних додатків, що дозволяють з'єднувати даний алгоритм із бібліотеками затискних елементів та проводити підбір або автоматизоване проектування затискних елементів з параметрами під конкретну деталь.

У роботах [22–24] авторами розроблена скінченноелементна модель системи «затискні елементи ВП – заготовка», що дозволяє визначати деформації поверхонь заготовки залежно від сили закріплення та проводити їх автоматизовану оптимізацію. При цьому модель враховує зміну коефіцієнта тертя між затискними елементами ВП та заготовкою у результаті змінання мікронерівностей на контактуючих поверхнях. Таким чином за рахунок оптимізації величини сил закріплення можна попередити виникнення пластичної деформації заготовки та здійснити надійне закріплення, адже змінання мікронерівностей на контактуючих поверхнях, що викликає зменшення контактного тиску буде враховано. Крім того, у роботі [24] представлено методику та алгоритм виконання прискорених розрахунків, що знижує вимоги до оперативної пам'яті комп'ютера.

У роботі M. Vasundara et. al. [25] виконали дослідження максимальної величини пружної деформації заготовки при її закріпленні у різних ВП за допомогою використання комплексу методів: скінченноелементного аналізу, штучних нейронних мереж та методології поверхні відгуку. Таким чином, виконувався підбір оптимальної конструкції ВП, де перевага надавалась тій конструкції ВП, де деформації найменші за інших рівних умов. Штучні нейронні мережі дозволяли суттєво прискорити розрахунки.

Li B. та Melkote S. у роботі [26] представили метод багатократної (повторної) оптимізації визначення місця розташування затискних елементів ВП при розрахунках динамічних параметрів системи «ВП – заготовка». Авторами встановлено та доведено ефективність використання оптимізаційних методів для 3D-моделей даних систем при їх розрахунках у програмах скінченноелементного аналізу. Максимальна величина позиційного вектора похибки обробки була скорочена на 58% за рахунок оптимізаційних методів.

У своїй роботі Nalbandh та Rajuaguru [27] запропонували використовувати «генетичний алгоритм» проектування та оптимізації конструкцій ВП, що базується на імовірнісних методах розрахунку. Це може бути впроваджено за рахунок використання методів, аналогічних до проектування технологічних процесів у системах автоматизованого проектування.

Робота [28] присвячена розробці способу моделювання та оптимізації ВП для закріплення деталі при здійсненні свердлильної операції зі змінними конфігураціями ВП та режимів механічної обробки. У дослідженні використовуються системи комп'ютерного проектування та моделювання (CAD/CAE). У моделі задавались нестационарні умови, подібно до реального процесу різання, та виконувався модальний аналіз з метою виявлення оптимальної конструкції ВП.

Parastathis у роботі [29] підкреслює важливість впровадження переналагоджуваних ВП, але акцентує увагу на складності вибору оптимальної конструкції ВП для обробки тонкостінних деталей, що мають недостатню жорсткість. При

цьому вирішується питання щодо регулювання величини сили закріплення залежно від величини сили різання.

Робота [30] присвячена використанню методу балансування миттєвих сил та законів тертя для визначення оптимальної величини сили закріплення для мінімізації деформацій заготовки. За допомогою гармонічного аналізу у програмі ANSYS Workbench та застосування методики поділу шляху інструмента на 5 кроків навантаження (адже при фрезеруванні глибина різання змінюється від нуля до максимуму або навпаки, залежно від прийнятої схеми фрезерування) визначається оптимальна величина сили закріплення.

Аналіз літературних джерел показав, що у даний час науковці займаються розрахунками та розробкою моделей процесів взаємодії у системі, а також дослідженням точності механічної обробки при зміні параметрів ВП. Вирішення питань оптимізації в основному присвячені оптимізації сил закріплення та стабільності положення ВП у процесі обробки. Проте недостатньо уваги приділяється підвищенню гнучкості ВП та зниженню їх металомісткості при забезпеченні достатньої точності у межах усього діапазону розмірної групи деталей, що є актуальною задачею. Використання гнучких ВП дозволяє скоротити допоміжний час на переналагодження, що може бути вигідним з точки зору собівартості продукції при невеликих партіях та частій зміні номенклатури, а зменшення їх металомісткості посилить економічний ефект.

3.2 Теоретичне обґрунтування вибраного методу дослідження

Методологія визначення динамічних характеристик конструкцій за результатами напружено-деформованого стану та резонансних випробувань їх складових частин полягає в проведенні випробувань підконструкцій, побудові математичних моделей підконструкцій за результатами випробувань, побудові повної математичної моделі всієї конструкції на підставі синтезу моделей підконструкцій, визначенні динамічних характеристик всієї конструкції по повній математич-

ній моделі. Невідомими параметрами математичних моделей є матриці інерції, жорсткості і демпфування.

Спочатку математичні моделі підконструкцій будуються в головній системі координат за результатами експериментального модального аналізу: власним частотам, формам, узагальненим масам і характеристикам демпфірування власних тонів коливань. Потім ці моделі переводяться в фізичну систему координат, для чого використовуються такі їх властивості, як симетрія і позитивна визначеність матриць інерції і жорсткості, ортогональність форм власних коливань, позитивна визначеність матриці.

Процедура складання матриць інерції і жорсткості повної конструкції аналогічна алгоритму формування глобальних матриць в методі суперелементів. після побудови матриць інерції і жорсткості повної конструкції її власні частоти і форми власних тонів коливань визначаються з рішення задачі про власні значення. Матриця демпфірування повної конструкції будується так само, як і матриці інерції і жорсткості, але узагальнені коефіцієнти демпфірування власних тонів коливань визначаються після рішення задачі про власні значення.

Результати напружено-деформованого стану та модального тестування і аналізу використовуються в різних додатках для чисельного моделювання і тестування, включаючи розрахунки чутливості до вібрації, аналіз основних причин викликаних вібрацією проблем і виявлення пошкоджень, а також щоб додати гнучкість в аналіз системи багатьох тіл і прискорення розрахунків довговічності і віброакустичних властивостей.

Доцільність вирішення проблеми визначення динамічних характеристик великогабаритних конструкцій за результатами випробувань їх складових підконструкцій пояснюється двома причинами. Перша причина полягає в тому, що такі конструкції на час випробувань повинні встановлюватися на опори.

При цьому зазвичай не вдається реалізувати умови закріплення об'єкта випробувань, відповідні експлуатаційним, що може привести до великих погрешностей в оцінках характеристик власних тонів коливань. Другою причиною можуть

бути великі габарити і складність конструкції в зібраному вигляді. Експериментальний модальний аналіз такої конструкції пов'язаний з труднощами [31-33].

3.3 Розроблення 3D – моделі конструкції верстатного пристрою та його скінчено-елементне дослідження

Для виконання розрахунків чисельного моделювання на початковому етапі була виконана побудова 3D – моделі верстатного пристрою разом із деталлю (рис. 3.1). Модель будувалась з максимальним спрощенням усіх елементів з метою забезпечення більш швидких розрахунків, але при цьому не щоб не втрачалась їх точність.

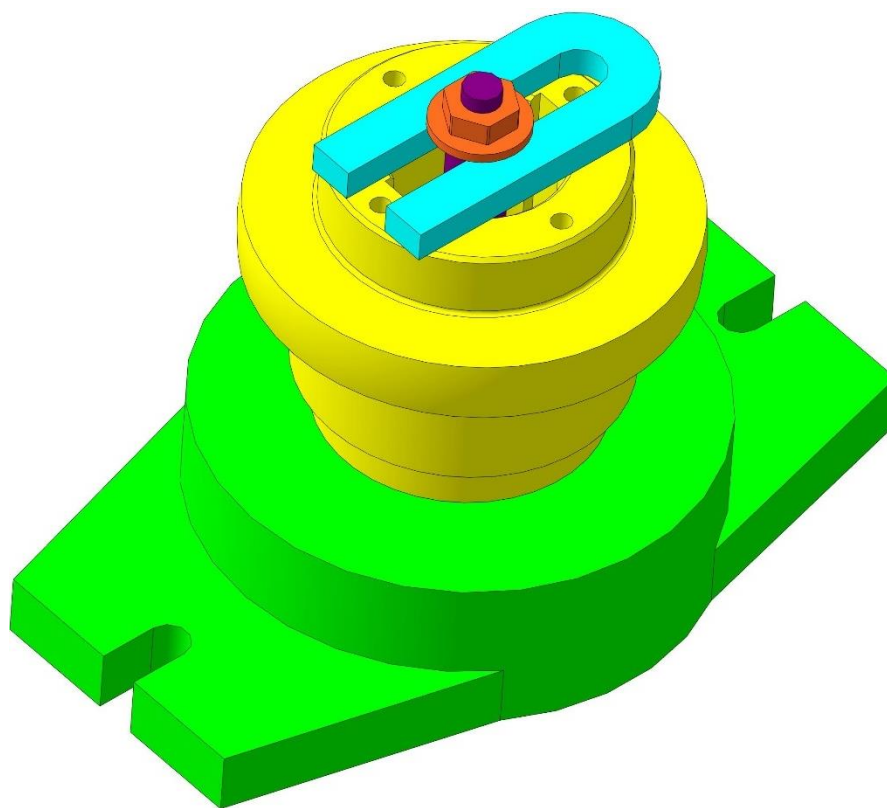


Рисунок 3.1 – Розроблений верстатний пристрій із деталлю

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконувалось для визначення таких розмірів ВП, які будуть задовольняти всім точнісним параметрам для обробки деталі. Також дослідження НДС ВП передбачає перевірку на міцність, виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження більші, ніж допустимі для конкретного матеріалу, та при їх наявності удосконалення кон-

струкції. На даному етапі досліджень виконувалась перевірка еквівалентних напружень, які виникають у місцях контакту між установлювально-затискними елементами та заготовкою у результаті дії сил закріплення та силових факторів процесу різання (сили різання та моменти), а також умови за допустимими напруженнями для деталей із конкретних матеріалів. Для цього поряд з вирішенням задачі з визначення НДС вирішувалась контактна задача.

За допомогою вбудованого модуля в програмному комплексі ANSYS Workbench визначимо частоти власних коливань і потім порівняємо з частотами, що можуть виникати при обробленні. За допомогою цих результатів буде можливість за необхідності удосконалити пристрій щоб запобігти резонансу і підвищити його точність. Механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів верстатного пристрою

Матеріал	Модуль пружності E, ГПа	Коефіцієнт Пуассона μ	Густина ρ , кг/м ³	Границя міцності при розтягуванні [$\sigma_{\text{раст}}$], ГПа	Границя міцності при стисненні [$\sigma_{\text{сж}}$], ГПа	Границя текучості σ_T , ГПа
Сталь 45 ГОСТ 1050-88	200	0,3	7850	0,950	0,950	0,726

Граничними умовами під час моделювання було закріплення верстатного пристрою за нижньою поверхнею основи, що імітує встановлення на стіл верстата, а також всі поверхні об'єднані між собою шляхом об'єднання вузлів з типом контакту «Bonded», що виключає можливі переміщення. Типи контактів «Frictional» задані в місцях посадок з указанням параметрів тертя за технічними характеристиками кожної з них. Ілюстрації скінчено-елементної сітки зображено на рис. 3.2. Це робиться для отримання більш точних результатів, та більш якісного відображення можливих деформацій. На рисунках 3.3 – 3.5 зображені ілюстрації на-

пружень та деформацій (переміщень), а на рис. 3.6 – 3.8 наведено форми власних коливань досліджуваного верстатного пристрою.

Аналізуючи отримані результати та величини коливань при яких відбуваються деформації можна зробити висновок, що розроблений КВП буде нормально функціонувати і коливання обладнання в цеху ніяк не вплинуть на точність вимірювання.

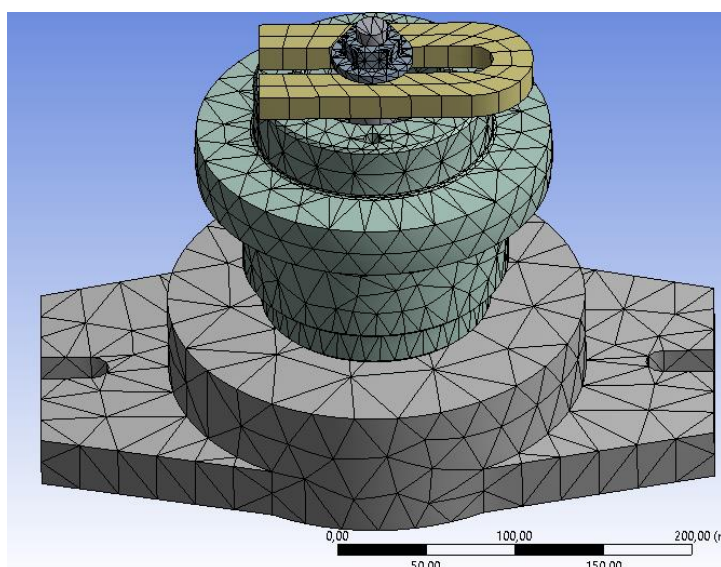


Рисунок 3.2 – Верстатний пристрій із скінчено-елементною сіткою

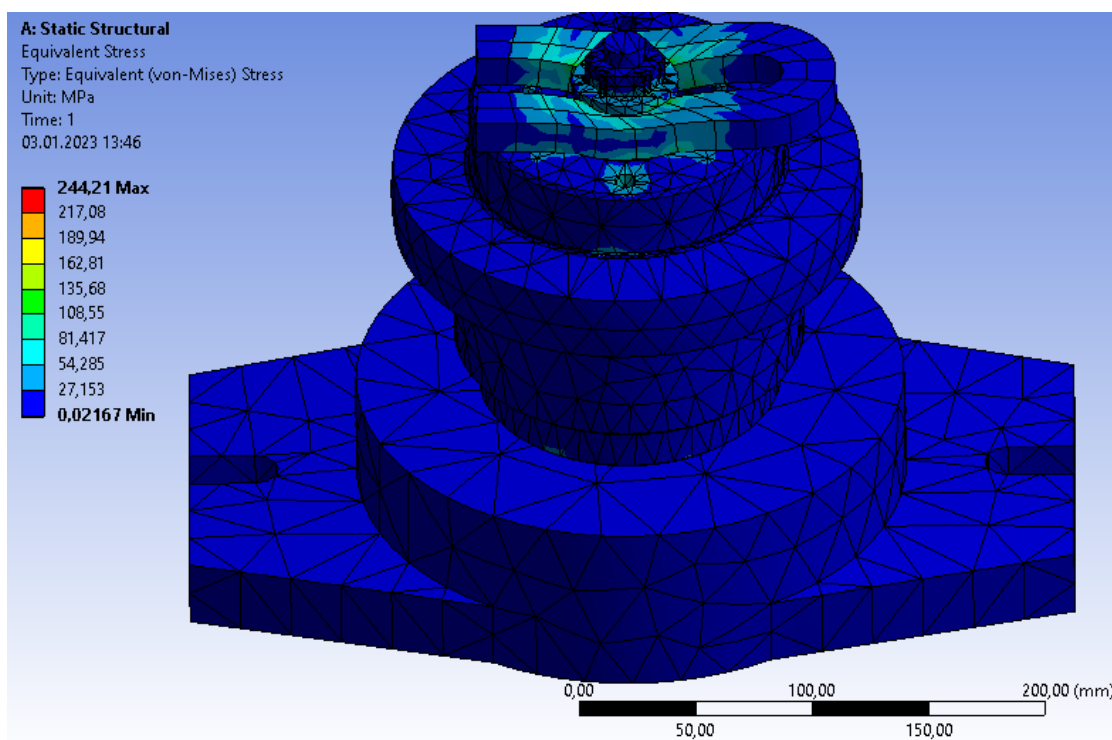


Рисунок 3.3 – Ілюстрація максимальних напружень при свердлінні

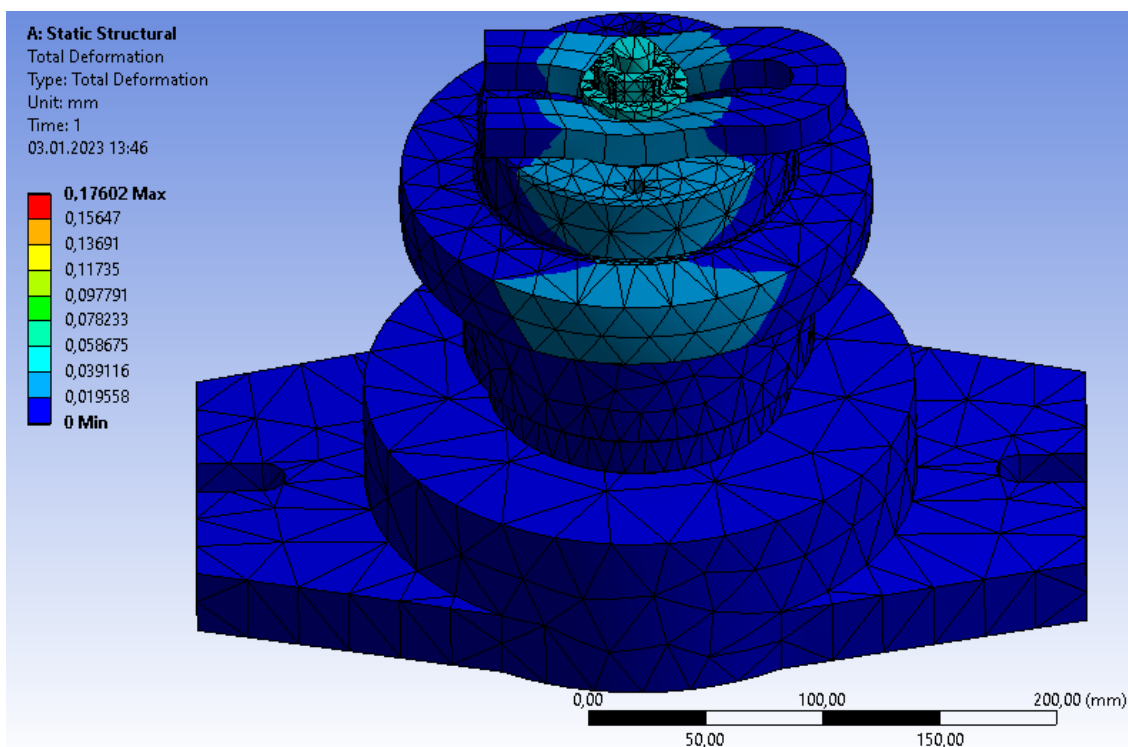


Рисунок 3.4 – Ілюстрація максимальних загальних переміщень при свердлінні

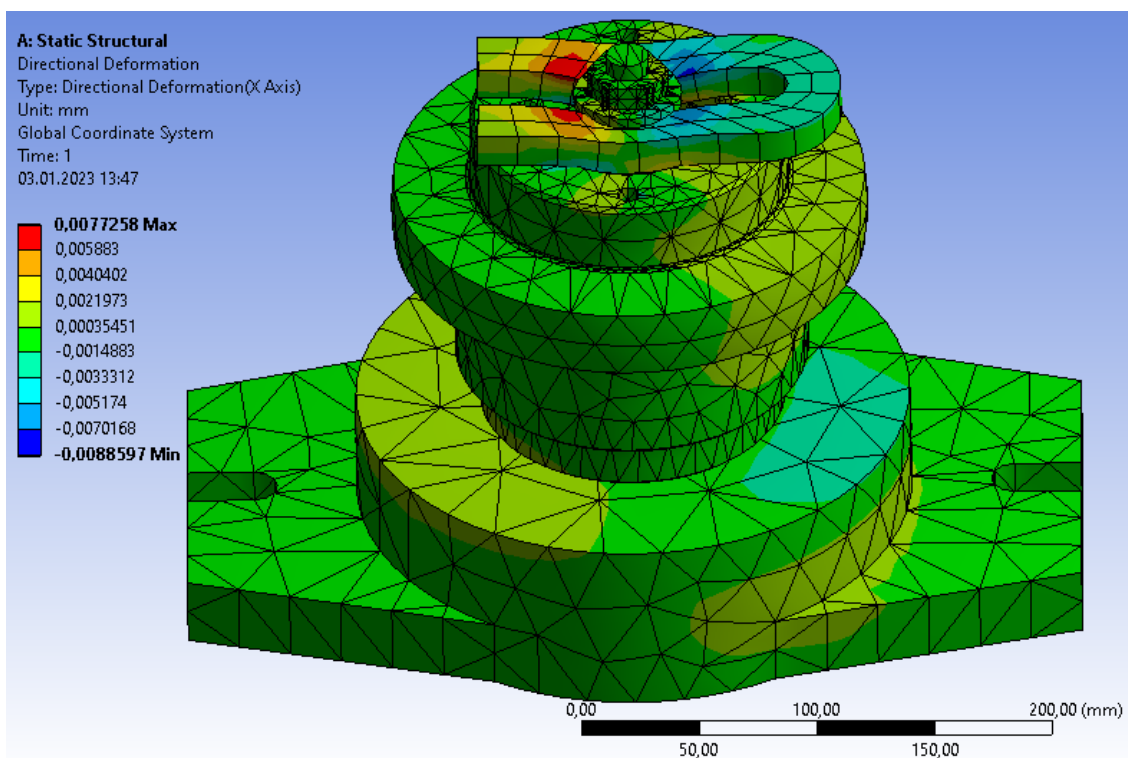


Рисунок 3.5 – Ілюстрація максимальних переміщень за напрямком осі X при свердлінні

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічної обробки важеля необхідно, щоб частота власних коливань елементів ВП не співпадала з частотою процесу різання. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є призначення інших режимів різання. Для цього за допомогою вбудованого модуля у програмному комплексі ANSYS і функції Modal Analysis визначаються частоти власних коливань запропонованого ВП та порівнюються з частотами, що виникають у процесі механічної обробки (табл. 3.2). Результати цього аналізу за необхідності дозволяють відлаштуватися від резонансу. Рисунки з виглядом форм власних коливань для досліджуваної системи «ВП – заготовка» наведені на рис. 3.6 – 3.8.

Таблиця 3.2 – Власні частоти, які виникають у процесі механічної обробки

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу різання, Гц
246	255	1247	46

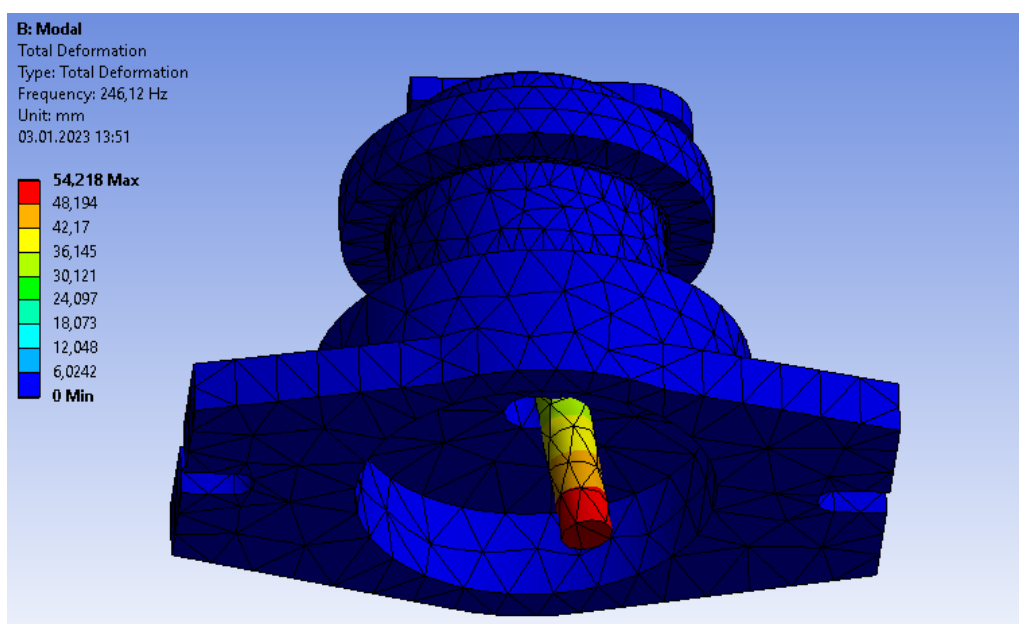


Рисунок 3.6 – Ілюстрація 1-шої критичної частоти верстатного пристрою

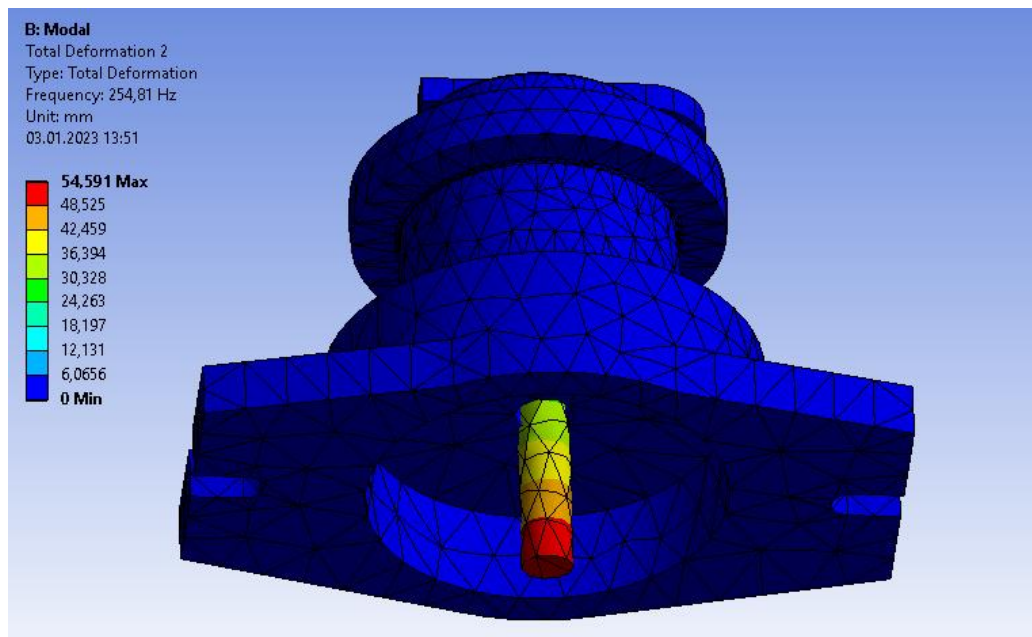


Рисунок 3.7 – Ілюстрація 2-ї критичної частоти верстатного пристрою

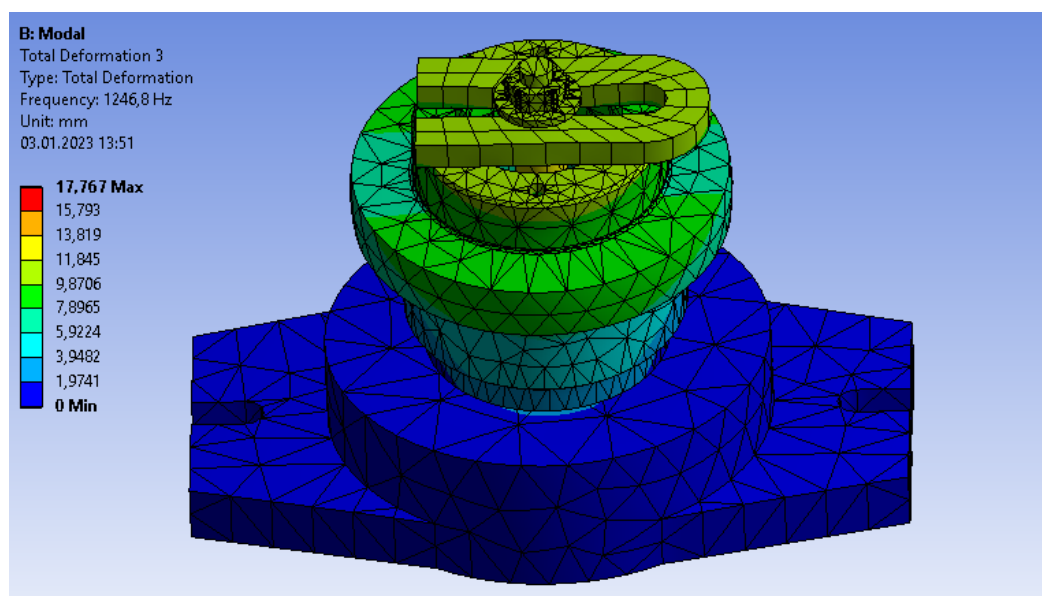


Рисунок 3.8 – Ілюстрація 3-ї критичної частоти верстатного пристрою

Із табл. 3.2 видно, що для запропонованої конструкції ВП резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних коливань ВП набагато вища за максимальну частоту процесу різання.

Також із отриманих значень форм коливань 1-ї та 2-ї частоти (рис. 3.6 – 3.7) та їх величини 246 Гц та 255 Гц відповідно дуже близькі за значеннями, отже це є доказом того, що розрахунки виконані вірно та модель адекватна. При цьому мо-

жна спостерігати, що на рисунках відбувається лише коливання штоку, який ви-несений для зручності прикладання тягового зусилля. В реальних умовах шток буде з'єднаний із поршнем та знаходитися в пневмоциліндрі, тому його коливання будуть відсутні. А отже реальні коливання будуть лише на третій критичній частоті, яка не досяжна при обробленні. Результати модального аналізу дозволяють висунути гіпотезу, що динамічна жорсткість запропонованого ВП оптимізованої конструкції буде достатньою для проведення механічної обробки без виникнення резонансних режимів.

3.4 Висновок

1. На основі методик та аналізу сучасного стану розробок в галузі проєктування та застосування верстатних пристроїв виконано кількісний та якісний аналіз свердлильної операції, що дозволило перейти до проєктування прогресивного пристрою пневматичної дії.

2. Базуючись на алгоритмах та рекомендаціях, щодо проєктування верстатних пристроїв сконструйовано пристрій для свердління, зенкування фасок та нарізання різі, створені його 3D моделі для подальшого аналізу та досліджень.

3. Проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану, модального аналізу в програмному середовищі Ansys Workbench. Було виявлено максимальні переміщення, які не перевищують допустимих значень, що задані на кресленні. Максимальні напруження також не перевищують значень для тих матеріалів, з яких виготовлені деталі, які піддаються навантаженням. Також визначені моди коливань, що дозволить попередити появу резонансу та встановлено, що граничні частоти оброблення не досягнуть до першої власної частоти, тому даний верстатний пристрій можна використовувати для отримання необхідної точності.

ВИСНОВКИ

Тема дипломного проекту – удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки насоса 03.104.66.05 шляхом застосування високопродуктивних інструментів та оснастки.

У ході виконання кваліфікаційної роботи було виконано обсяг робіт:

- при аналізі службового призначення були відображені основні технічні характеристики і призначення машини. Що стосується самої деталі, то був проведений аналіз усіх її поверхонь, а також функцій, виконуваних ними;
- виконано аналіз технологічності конструкції згідно ЄСТПП;
- при аналізі технічних вимог описані властивості матеріалу деталі, а також були проаналізували вимоги, пропонувані при виготовленні деталі конструктором, їх відповідність загальноприйнятим стандартам;
- був визначений тип виробництва – дрібносерійний і визначена партія запуску $n = 38$ штук;

В якості заготовки було прийнято поковка на ГKM, так як воно більш економічно вигідне, ніж поковка на КГШП.

Розраховані припуски аналітичним способом за допомогою методу професора Кована на внутрішню циліндричну поверхню.

Під час виконання роботи було проаналізовано існуючий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК.

Спроектований спеціальний верстатний пристрій для свердлильної із ЧПК операції і до цієї ж операції розроблена карта операційного налагодження.

Для контролю торцевого биття торця втулки насоса відносно отвору було розроблено контрольно-вимірвальний пристрій, який забезпечує достатню точність контролю.

У розділі «науково-дослідна частина» розглянуті питання проектування верстатного пристрою для ефективного виготовлення втулки насоса, що належить

до класу втулок. Визначені максимальні напруження, переміщення, та частоти коливань запропонованого верстатного пристрою та встановлено, що при даній сфері застосування резонанс не виникне та встановлено, та й те, що динамічна жорсткість є достатньою.

У додатку «охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» виконано розрахунок освітленості робочої зони, який дозволяє забезпечити сприятливі для робітників умови.

Застосовані нововведення у технологічний процес в контексті заміни обладнання та інструменту на сучасні засоби виробництва дозволили на свердлильній з ЧПК операції отримати економічний ефект в розмірі 7281 гривень на рік.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Методичні вказівки до виконання магістерської роботи для студентів спеціальності 8.05050202 «Технологія машинобудування» / укл.: Д.В. Криворучко, В.Г. Євтухов. – Суми: СумДУ, 2012. – 64 с.
2. **Горбацевич А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения [Текст] : [учеб. пособие для машиностроит. спец.] / А. Ф. Горбацевич, В. А. Шкред. - Мн.: Выш. Школа, 1983. - 256 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – Введ. 1990-01-07. – Москва. : Изд-во стандартов, 1990. – 55 с.
4. **Косилова А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя [Текст]: в 2 т. / А. Г. Косилова, Р. К. Мещеряков. – М.: Машиностроение, 1985. – 2 т. – 656 с.
5. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ [Текст] : в 2 ч. Ч. 2 /М.: Экономика, 1990. - 472 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени для нормирования работ выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с ЧПУ, [Текст]: в 2 ч. Ч. 1 /М.: Экономика, 1989. - 402 с .
7. **Боровик А. І.** Технологічна оснастка механоскладального виробництва. – Київ: Кондор, 2009 – 7256 с..
8. Метод. вказівки до оформлення документації при виконанні курс. робіт, розрахунково-граф. робіт та курсових і дипломних проектів з технології машинобудування для студ. за напрямом підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка» спец. 7.090202 «Технології машинобудування» для усіх форм навчання: 2 частини. – Частина 1 / укл.: В.О.Іванов, В. Г. Євтухов.–Суми: СумДУ, 2012.– 59 с.
9. **Кушніров П. В.** Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Технологічна оснастка” [Текст] : П. В. Кушніров. – Суми: Вид-во Сум ДУ, 2009. – 52 с.
10. **Гжиров Р. И.** Краткий справочник конструктора [Текст] : Р. И. Гжиров. - Л: Машиностроение, 1984. – 464 с.
11. **Приходько В.Н., Літвин О.А.** Проектування оснащення роботів, верстатів і

машин: Навчальн. посібник – Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. – 214 с.

12. **Кушніров П.В., Євтухов А.В., Дегтярьов І.М.** Технологічна оснастка [Електронний ресурс]: навч. посіб. Суми : СумДУ, 2020. - 140 с. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/81842>

13. **Цейтлин Я. М.** Нормальные условия измерения в машиностроении [Текст] : Я. М. Цейтлин. – Л.: Машиностроение, 1981. – 224 с.

14. **Бойко, Д.О.** Допоміжна опора верстатного пристрою зі сферичною основою [Текст] / Б.С. Басов, П.В. Кушніров, Д.О. Бойко // Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 24-25 листопада 2022 р., м. Одеса.– Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2022. – С. 21-22.

15. **Дичковський М.Г.** Спеціальна технологічна оснастка: навч. посіб. Тернопіль: ТНТУ , 2014. 243 с.

16. **Юдин Е. Я.** Охрана в машиностроении [Текст] : Юдин Е. Я., Белов С. В., Баланцев С. К.— М: Машиностроение, 1983. - 432 с.

18. Метод. вказівки до оформлення документації при виконанні курс. робіт, розрахунково-граф. робіт та курсових і дипломних проєктів з технології машинобудування для студ. за напрямом підготовки: 6.050502 «Інженерна механіка» спец. 7.090202 «Технології машинобудування» для усіх форм навчання: 2 частини. – Частина 2. Оформлення технологіч. док-ції / укл.: В.О. Іванов, В. Г. Євтухов.– Суми: СумДУ, 2011.– 57 с

19. **Бабаков А. А.** Нержавеющие стали. Свойства, обрабатываемость и химическая стойкость в различных агрессивных средах [Текст] : А. А. Бабаков. – М: Госхимиздат, 1956. – 328 с.

20. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» денної та заочної форм навчання / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017.

21. Automated fixture configuration for rapid manufacturing planning / S.Nelaturi, A. Rangarajan, C. Fritz, T. Kurtoglu // Computer-Aided Design. – 2014. –

Vol. 46. – P. 160–169.

22. Finite element modelling and analysis of workpiece-fixture system / N. M. Kumbhar, G. S. Patil, S. S. Mohite, M. A. Sutar // International Journal of Applied Research in Mechanical Engineering. – 2012. – Vol. 2. – P. 60–65.

23. **Asante J. N.** A combined contact elasticity and finite element-based model for contact load and pressure distribution calculation in a frictional workpiece-fixture system / J. N. Asante // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2008. – Vol. 39. – P. 578–588.

24. Multi-objective optimization design of a fixture layout considering locator displacement and force–deformation / Z.Liu, M. Wang, K. Wang, X. Mei // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2012. – Vol. 67. – P. 1267–1279.

25. Machining fixture layout design for milling operation using FEA, ANN and RSM / M.Vasundara, K. P. Padmahaban, M. Sabareeswaran, N. RajGanesh // Procedia Engineering. – 2012. – Vol. 38. – P. 1693–1703.

26. **Li B.** Optimal Fixture Design Accounting for the Effect of Workpiece Dynamics / B. Li, S. Melkote // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. – 2001. – Vol. 28. – P. 701–707.

27. **Nalbandh A. H.** Fixture design optimization using genetic algorithm-a review / A. H. Nalbandh, C. C. Rajyaguru // Journal of information, knowledge and research in mechanical engineering. – 2013. – Vol. 2. – P. 466–471.

28. **Amaral N.** Finite Element Analysis Study on Fixtured Workpiece Deformation : Bachelor of Science Thesis – Worcester, USA, 2000. – 109 p.

29. **Papastathis T. N.** Modelling and Design Methodology for Fully-Active Fixtures : PhD Thesis. – The University of Nottingham, Great Britain, 2010.

30. Clamping force optimization for minimum deformation of workpiece by dynamic analysis of workpiece-fixture system / S.Selvakumar, K. P. Arulshri, K. P. Padmanaban, K. S. Sasikumar // World Applied Sciences Journal. – 2010. – Vol. 7. – P. 840–846.

31. **Дубенець В. Г.** Основи методу скінченних елементів: Навчальний посібник. / В. Г. Дубенець, В. В. Хільчевський, О. В. Савченко.— Чернігів: ЧДТУ, 2017. – 288 с..

32. **Сорочак А. П.** Програмне забезпечення інженерних розрахунків : конспект лекцій для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання / А. П. Сорочак. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 128 с.

33. **Сорока М. М.** ANSYS в задачах стійкості плоских стрижневих систем / М. М. Сорока. — Одеса : ОГАСА, 2017. – 141 с.