

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «магістр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки Н117.300.000.07 шляхом інтенсифікації фінішної операції

Здобувача групи ТМ.м-31

(шифр групи)

Токманцева Максима Олексійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Максим ТОКМАНЦЕВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер доцент, канд. техн. наук, доцент Іван ДЕГТЯРЬОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Суми – 2024

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

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів

\_\_\_\_\_ Віталій ІВАНОВ

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 року

**ЗАВДАННЯ**  
**ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧА**

**Токманцев Максим Олексійович**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки Н117.300.000.07 шляхом інтенсифікації фінішної операції»
- керівник проекту Дегтярьов Іван Михайлович канд. техн. наук, доцент, доцент ту  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «12» листопада 2024 року за №1176-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) «15» грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту)  
Креслення деталі «Втулка Н117.300.000.07».

Типовий технологічний процес виготовлення деталі втулка.

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

1. Виконати аналіз первинної інформації про деталь.

2. Удосконалити технологічний процес виготовлення деталі.
3. Проєктування верстатного пристрою для фінішної операції.
4. Розглянути питання охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях.

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання ви- дав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «25» вересня 2024 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи (проєкту)	Строк виконання етапів роботи (проєкту)	Примітка
1	Аналіз первинної інформації про деталь	01.10.2024	
2	Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі	15.10.2024	
3	Розроблення верстатного пристрою	01.11.2024	
4	Підготовка розділу з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	01.12.2024	
5	Формулювання загальних висновків	10.12.2024	
6	Підготовка доповіді	12.12.2024	
7	Підготовка презентації	12.12.2024	
8	Оформлення роботи	14.12.2024	

**Здобувач**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Максим ТОКМАНЦЕВ**

\_\_\_\_\_

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

**Керівник роботи (проєкту)**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Іван ДЕГТЯРЬОВ**

\_\_\_\_\_

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка виконана на 100 сторінках, включає 18 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 15 джерел.

З метою зменшення теплових навантажень під час шліфування та підвищення якості обробки було розроблено нову технологію правки абразивних інструментів. У рамках дослідження було проведено комплекс робіт, що включали детальний аналіз функціонального призначення машини, вузла та оброблюваної деталі, а також аналіз технічних вимог до якості виготовлення. Було розроблено конструкцію заготовки, що дозволяє максимально ефективно використовувати матеріал. Створено новий, більш ефективний технологічний процес виготовлення деталі, а також спеціальний пристрій для фрезерування, який забезпечує високу точність обробки. Проведено наукове дослідження з метою оптимізації процесу шліфування.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки Н1 17.300.000.07 шляхом інтенсифікації фінішної операції.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення втулки.

**Предмет дослідження:** верстатний пристрій для установлення втулки на шліфувальній операції.

**Наукова новизна:** запропоновано підхід до заточування алмазних олівців для правки шліфувальних кругів, що дозволяють виконувати шліфування прогресивними методами.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 100 сторінок, у тому числі 18 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 15 джерел на двох сторінках.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВТУЛКА, РЕЖИМ РІЗАННЯ,  
ШЛІФУВАННЯ

## ABSTRACT

The explanatory note consists of 100 pages, including 18 figures, 12 tables, and a bibliography of 15 sources.

To reduce thermal loads during grinding and improve processing quality, a new technology for dressing abrasive tools has been developed. The research involved a comprehensive study that included a detailed analysis of the machine's functional purpose, component, and workpiece, as well as an analysis of the technical requirements for manufacturing quality. A workpiece design was developed to maximize material utilization. A new, more efficient technological process for manufacturing the part was created, along with a special fixture for milling operations that ensures high processing accuracy. Scientific research was conducted to optimize the grinding process.

The aim of the study is to improve the technological process of manufacturing the sleeve H117.300.000.07 by intensifying the finishing operation.

**Object of study:** The technological process of processing the sleeve.

**Subject of study:** A machine fixture for installing the sleeve during the grinding operation.

**Scientific novelty:** A new approach to dressing diamond pencils for dressing grinding wheels has been proposed, allowing for progressive grinding methods.

**Structure and scope of the master's qualification work.** The work consists of an introduction, three chapters, a list of references, and appendices. The total volume of the master's qualification work is 100 pages, including 18 figures, 12 tables, and a bibliography of 15 sources on two pages.

TECHNOLOGICAL PROCESS, SLEEVE, CUTTING MODE, GRINDING

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
Розділ 1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі .....	7
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла деталі. опис конструктивних особливостей деталі і умов експлуатації .....	7
1.2 Аналіз технічних умов та вимог до конструкції деталі. визначення технологічних завдань щодо її виготовлення .....	10
1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва.....	12
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	13
1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу.....	15
1.6 Висновки .....	17
Розділ 2 Удосконалення технологічного процесу виготовлення деталі .....	18
2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального .....	18
2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки .....	21
2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання .....	25
2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення .....	28
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	34
2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів .....	38
2.7 Розрахунок режимів різання .....	41
2.8 Проектування засобів технологічного оснащення .....	53
2.9 Висновки .....	64
Розділ 3 Наукове дослідження .....	66
3.1. Розроблення 3d – моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерний аналіз .....	66
3.2 Модальний аналіз верстатного пристрою .....	71
3.3 Висновок .....	74
Висновки .....	75
Список джерел посилань .....	77

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сучасному етапі розвитку машинобудівної галузі однією з головних задач є оптимізація технологічних процесів механічної обробки та складання. Ця потреба зумовлена необхідністю підвищення економічної ефективності виробництва, зокрема зменшенням витрат ресурсів, підвищенням продуктивності праці за рахунок використання високопродуктивного автоматизованого обладнання, пристроїв із швидкодійними затискними пристроями, збільшенням режимів обробки та зменшенням часу виконання операцій. Крім того, існує широкий спектр методів, орієнтованих на вдосконалення технологічних процесів. Ця тема є предметом численних наукових досліджень у сфері технології машинобудування.

Серед ключових напрямків розвитку технології машинобудування можна виділити наступні:

- покращення існуючих і впровадження нових високоефективних методів обробки, особливо для завершальних операцій;
- комплексна автоматизація та механізація технологічних процесів із використанням автоматичних ліній, верстатів із ЧПК, сучасних систем контролю та інноваційних конструкцій оснастки;
- активне застосування процесів пластичного деформування;
- розробка принципово нових металорізальних верстатів і модернізація тих, що вже використовуються;
- створення сучасних інструментів, заснованих на останніх досягненнях у галузі виробництва інструментів.

Деталь, що розглядається у цьому дипломному проєкті, є частиною формувальної машини, яка виконує завершальний етап формування профілю готової продукції — білкової оболонки. Цей апарат працює у безперервному режимі та піддається постійним навантаженням. Тому особлива увага приділяється підвищенню зносостійкості контактних поверхонь деталей, які зазнають тертя.

**Метою дослідження** є удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки Н117.300.000.07 шляхом інтенсифікації фінішної операції.

**Об'єкт дослідження:** технологічний процес оброблення втулки.

**Предмет дослідження:** верстатний пристрій для установлення втулки на шліфувальній операції.

**Наукова новизна:** запропоновано підхід до заточування алмазних олівців для правки шліфувальних кругів, що дозволяють виконувати шліфування прогресивними методами.

**Методи дослідження.** Результати роботи базуються на теоретичних основах технології машинобудування, теорії різання, різального інструменту, чисельного моделювання. Також у роботі використовувались комп'ютерне моделювання в середовищі SolidWorks.

**Апробація результатів кваліфікаційної роботи магістра.** Немає.

**Публікації.** Немає.

**Структура й обсяг кваліфікаційної роботи магістра.** Робота складається із вступу, трьох розділів, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг кваліфікаційної роботи магістра становить 99 сторінок, у тому числі 18 рисунків, 12 таблиць, бібліографії із 15 джерел на двох сторінках.



## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

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

Деталь «Втулка» Н117.300.000.07 є складовою вузла «Формувальна головка». Ця головка входить до складу формувальної машини й виконує функцію формування білкової оболонки. Конструкція головки передбачає наявність корпусу з патрубком, обладнаного втулкою. У середині втулки розташовано нерухомий вал із поздовжнім отвором для подачі стисненого повітря. На валу розміщені втулка, що утворює щілину з патрубком для прокачування колагенової маси, і роторна втулка, з'єднана з обоймою, яка містить роликові конічні підшипники й косозубу передачу. Система передбачає підведення колагенової маси до середньої частини корпусу та її охолодження. Для ущільнення використовуються як рухомі, так і нерухомі торцеві елементи, які розміщуються в середній і задній частинах корпусу. На роторній втулці є гвинтові канавки глибиною 0,8–0,9 мм із кутом нарізки  $60 \pm 2^\circ$ . Завдяки цьому підвищується продуктивність головки та забезпечується необхідна кількість готової продукції шляхом повного захоплення колагенової маси без втрат її частин із водою.

Основні частини формувальної головки:

- головний корпус;
- середня частина з пристроєм для розподілу маси;
- охолоджувальний барабан із системою розподілу води;
- обертовий вал;
- нерухомий вал.

Технологія отримання білкової оболонки починається з обробки гольового спилка — сировини, отриманої з яловичої шкіри. Етапи обробки включають:

1. Обробку спилка гашеним вапном (золення);
2. Промивання;
3. Сортування;

4. Кислотну обробку;
5. Грубе подрібнення;
6. Розволокнення;
7. Охолодження розволокненої маси (колагенова маса);
8. Змішування колагенової маси з водою та дубильною рідиною;
9. Фільтрацію;
10. Остаточне охолодження.

Після підготовки колагенова маса подається під тиском через два розподільники до охолоджувального барабана та середньої частини головки. Кожен розподільник забезпечує подачу маси в шість або чотири трубки, звідки вона надходить у сопла. Масу направляють до межкрової щілини, утвореної втулкою середньої частини й обертовим валом. У результаті маса виходить у вигляді рукава, наповненого повітрям, що подається через нерухомий вал.

Системи охолодження головки:

1. Перша система очищує формовану масу. Вода подається через трубку до барабана, проходить через наконечник у середній частині та виводиться до каналізації.

2. Друга система охолоджує середню частину, сопла та розподільники маси. Вода заповнює охолоджувальний барабан, а її надлишок відводиться через систему труб.

3. Третя система забезпечує охолодження середньої обертової частини. Вода подається через шланг і спрямовується по трубках до відповідних елементів, звідки також відводиться до каналізації.

Основні характеристики формувальної машини TSC-4 (Чехія):

- частота обертання формувального вала, об/хв – 1000;
- температура в повітряних каналах, °С – 70÷75;
- тиск підводиться маси, МПа – 40 ... 50;
- охолодження труться і підводиться маси – «крижана» вода, °С - +4 - +6;
- рівень шуму при номінальних режимах, дБ – 150;
- калібр, мм – 45;

- маса формовочної головки, кг – 2500;
- габаритні розміри – 4520x160x2800.

Втулка виконує функцію передачі крутного моменту. Вона встановлена на двох підшипниках кочення (109), які захищені манжетами (105). Обертання від електродвигуна до ротора передається через зубчасте колесо (15). На зовнішній стороні ротора виконано різьбу, на яку нагвинчується фланцева гайка, що забезпечує надійну фіксацію підшипника та інших деталей, розміщених на роторі.

Ротор обертається зі швидкістю 1000 обертів на хвилину. У середині втулки є виступаюча частина з 8 отворами, призначеними для кріплення втулки.

Матеріал ротора сталь 40Х ГОСТ 4543-71. Габаритні розміри втулки 155x88.

Класифікація поверхонь втулки (рис. 1.1):

Поверхні 6, 27 – є основними конструкторськими базами, так як визначають положення ротора в вузлі.

Поверхні 2, 3, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23 – є допоміжними конструкторськими базами, так як ці поверхні визначає положення всіх приєднуються деталей до ротора.

Поверхні 7, 8, 9 – є виконавчої, так як саме вона виконує безпосередню функцію самої деталі у виріб.

Поверхні 1, 2, 4, 5, 13, 14, 15, 16, 24, 25, 26 – є вільними, так як вони не стикаються з іншими поверхнями і не виконують функцій деталі, а тільки визначають розміри, масу, твердість і інші параметри деталі.

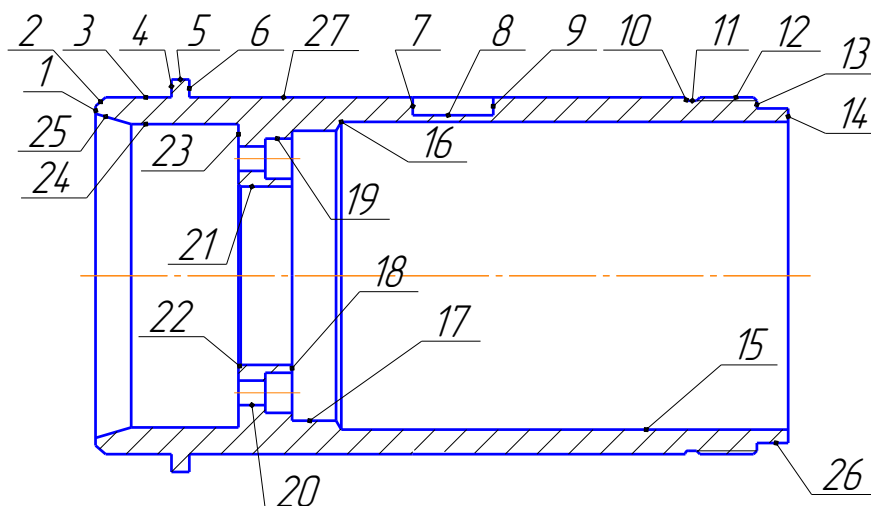


Рисунок 1.1 – Ескіз класифікації поверхонь втулки Н117.300.000.07

Умови експлуатації.

Деталь «Втулка» при роботі в вузлі не відчуває ударні навантаження, які виникають у момент роботи. Навантаження сприймають усі поверхні висячі із зовні деталі.

Деталь при роботі знаходиться у герметичному корпусі.

Деталь і виріб експлуатується в помірних умовах в діапазоні температур від -25 до +35 °С. Сама деталь і виріб при роботі створюють шум на рівні 80÷100 Дб.

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

Аналіз технічних вимог деталей проводять з метою визначення їх відповідності сучасному науково-технічному рівню, а також ступеня використання раніше використаних рішень реалізації даного завдання.

Вихідними даними для розробки технології виробництва деталі втулка є:

- креслення деталі (додаток А);
- програма випуску 1600 штук на рік.

Ця сталь має високу міцність і в'язкість. Твердість НВ 235..252 згідно ГОСТ 9012-59. щільність матеріалу  $Q=7,817 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Коефіцієнт лінійного розширення  $\alpha = 13,4 \cdot 10^{-6}$ к-1. Межа плинності  $\sigma_T = 520 \cdot 10^6$  Па. Час опору розриву  $\sigma_B = 670 \cdot 10^6$  Па.

Робоче креслення дає повне уявлення про деталі (конфігурації, розмірах всіх поверхонь, матеріалі і його властивості, технічні вимоги, шорсткості) і відповідає стандартам ЕСКД з оформлення креслень:

ГОСТ 2.109-68. Основні вимоги до креслень.

ГОСТ 2.305-68. Зображення, види, розрізи перетину.

ГОСТ 2.307-68. Нанесення розмірів і граничних відхилень.

ГОСТ 25142-82. Шорсткість поверхонь.

На кресленні втулка представлена двома проекціями: поздовжнім розрізом і видом з торця, а також чотирма місцевими видами: на першому – отвір під

головку гвинта, на другому – проточкою для виходу різьби, на третьому виді вказані розміри фаски і зона шліфування, на четвертому – конфігурація паза.

Технічні вимоги викладені на поле креслення у вигляді умовних позначень і текстом над основним написом.

Найбільш жорсткі вимоги пред'явлені до поверхонь: 3, 12, 27, 26, 17. Це обумовлено функціональним призначенням деталі.

За базу прийнято вісь деталі.

Поверхня 3 контактує з манжетою 105 (додаток В) яка служить як маслоотражатель не випускаючи його за межі контакту. Манжета щільно фіксується у втулці. Поверхня 3 і манжета шліфується до отримання шорсткості Ra 0,32, і піддається гарту струмами високої частоти, відхилення на діаметр 80 мм призначається 0,1 мм.

Точність посадки підшипника на втулку забезпечується виготовленням поверхні 27 під внутрішнє кільце підшипника за шостим квалітетом з посадкою k6 і встановленням підшипника на ротор запресованієм з використанням спеціального складального пристрою. Шорсткість цієї поверхні – Ra 2,5 мкм.

Матеріал деталі «Втулка» – легована сталь марки 40X, властивості якої наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад, % ГОСТ 4543-71

C	Si	Mn	Cr	Ni
			не більше	
0,36- 0,44	0,17- 0,37	0,5-0,8	0,28- 1,1	-

Таблиця 1.2 – Механічні властивості

ГОСТ	Перетин, мм	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta_5$ , ( $\delta_H$ )%	$\psi$ , %	НВ
4543-71	15	520	670	10	45	217

де  $\sigma_T$ , – межа текучості, МПа;

$\sigma_B$  – межа міцності, МПа;

$\delta_5, (\delta_{и})$  – відносне подовження,%;

$\psi$  – відносне звуження,%;

НВ – твердість по Брінеллю.

У першому пункті технічних вимог зазначено, що не вказані відхилення розмірів на кресленні обробляють з точністю 12-го квалітету.

У другому пункті технічних вимог вказано, що розміри зі знаком \* це розміри для довідок, тобто залежать від розмірів і параметрів самого інструменту, а це різного роду радіуси в канавках.

Загалом креслення виконано відповідно до вимог ЄСКД, за винятком окремих неточностей, зазначених раніше. На кресленні достатньо видів і розрізів для чіткого уявлення форми деталі та її можливостей виготовлення. Усі необхідні розміри вказано.

Висновок: робота втулки здійснюється в стандартних статичних умовах, що виникають за температурних перепадів і без впливу робочого середовища. Під час експлуатації втулка зазнає розтягувальних навантажень. Конструкція деталі передбачена для роботи у горизонтальному положенні.

### **1.3 Характеристика типу виробництва та організаційної форми виробництва**

Тип виробництва відповідно до ГОСТ 3.1108 визначається коефіцієнтом закріплення операцій, який відображає співвідношення кількості різних технологічних операцій, виконуваних або запланованих до виконання підрозділом протягом місяця, до числа робочих місць.

Для визначення типу виробництва за допомогою ЕОМ враховуються річний обсяг випуску та маса деталі. За маси деталі 2,889 кг і річної програми в 1600 одиниць тип виробництва класифікується як малосерійний. Результати розрахунків типу виробництва, такту випуску та партії запуску на основі заводського технологічного процесу, проведених за допомогою ЕОМ, наведені в додатку А.

Малосерійне виробництво характеризується широким асортиментом виробів, які виготовляються невеликими партіями з періодичним повторенням. У

цьому типі виробництва застосовуються універсальні верстати, а також обладнання з ЧПК, оснащене універсальними, універсально-складальними та спеціальними пристроями. Це сприяє зниженню трудомісткості та собівартості виробництва. Технологічний процес у малосерійному виробництві здебільшого концентрований: на одному верстаті виконується максимальна кількість операцій. Для виконання робіт залучаються працівники високої кваліфікації.

Організація виробництва має групову форму, що передбачає розміщення верстатів за технологічно однорідними групами, такими як токарна, фрезерна, шліфувальна тощо.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Для детального аналізу звернемося до креслення деталі (додаток А). Як матеріал використовується сталь 40Х згідно з ГОСТ 4543-71. Ця деталь легко піддається обробці завдяки високій пластичності матеріалу, що підтверджується коефіцієнтом оброблюваності, наведеним у таблиці 1.2 [6].

Таблиця 1.3 – Коефіцієнт оброблюваності різних груп конструкційних матеріалів

Марка сталі	Склад матеріала	Механічні властивості		Коефіцієнт оброблюваності	
		НВ не більше	$\sigma_s$ , МПа	Швидкорізальна сталь	Твердий сплав
Сталь 40Х	Горячекатаний	217	670	1,0	1,0

Зі збільшенням вмісту вуглецю оброблюваність погіршується. Одночасно збільшується можливість отримання більш високих параметрів шорсткості поверхні, ростуть зусилля різання. Можливість отримання необхідних параметрів залежно від коефіцієнта оброблюваності наведені в таблиці 1.5 [6].

Таблиця 1.4 – Отримання необхідної шорсткості поверхні в залежності від оброблюваної сталі

Оброблюваність сталі	$K_v$	Можливість отримання необхідної шорсткості поверхні
Добра	1,4 – 1,0	Без особливих труднощів

Деталь втулка є технологічною з точки зору базування та закріплення. Це деталь типу тіло обертання, що відрізняється жорсткістю конструкції. Завдяки цьому її можна закріплювати у патроні верстата, як на стиск, так і на розтиснення. Усі поверхні доступні для механічної обробки.

Розміри на кресленні задані правильно й зручно для читання та контролю. Вони технологічні, оскільки більшість розмірів задані від трьох баз — осі та торцевих поверхонь кришки. Це дозволяє поєднувати конструкторську та вимірювальну бази.

Шорсткість поверхонь вказана коректно, за винятком поверхні під номером 27 (рис. 1.1), де шорсткість становить Ra 2,5 мкм, що не відповідає 6-му квалітету точності.

Допуски взаємного розташування, зокрема торцевого та радіального биття, задані відносно однієї бази (В). Такий підхід є технологічним, оскільки забезпечує дотримання принципу суміщення та сталості баз.

Деталь є взаємозамінною, тобто її заміна не потребує додаткового припасування або сортування.

Нетехнологічні елементи:

1. Наявність значної кількості зовнішніх і внутрішніх поверхонь з різними діаметрами, а також конічної поверхні, оскільки їх обробка збільшує трудомісткість виготовлення.

2. Обробка чотирьох отворів Ø9 мм, яка вимагає спеціального різального інструмента — цековки.

3. Обробка численних поверхонь, до яких важко отримати доступ.

4. Фаски на внутрішніх поверхнях втулки, які складно обробляти та контролювати.



5. Високі вимоги до точності поверхонь (80k6, 120js6, 75h7, 65H8, 40H7), оскільки досягнення такої точності потребує багаторазової обробки.

6. Висока шорсткість (Ra 0,63 мкм), яка потребує чистового точіння або шліфування для досягнення заданої якості поверхні.

### 1.5 Аналіз базового або типового технологічного процесу

Аналіз здійснюється на основі базового технологічного процесу. У даному технологічному процесі послідовність механічної обробки узгоджується із загальноприйнятими етапами розробки технологічного процесу.

Маршрутний технологічний процес виготовлення деталі представлений у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Маршрутний техпроцес

Номер операції	Найменування операції	Обладнання
005	Заготівельна	Пароповітряний кувальний молот М 132
010	Токарна чорнова	16К30Ф3
015	Токарна чистова	16К30Ф3
020	Фрезерна	6Р13Ф3
025	Свердлильна	2Н135Ф2
030	Термічна	Піч термічна
035	Шліфувальна	3М151
040	Шліфувальна	3М151
045	Контрольна	Стіл ОТК

Проаналізуємо кожну операцію окремо:

005 Заготівельна. На цьому етапі розміри заготовки не відповідають габаритам деталі, через що під час обробки доводиться видаляти значний обсяг матеріалу. Це свідчить про невдалий вибір заготовки, який є неекономічним. Надалі слід обирати заготовку, максимально наближену до форми готової деталі.

010 Токарна чорнова. Ця операція передбачає підрізання торців, обточування й підрізання поверхонь. Базування та закріплення виконані правильно. Проте вибір верстата є невідповідним, оскільки чорнова операція не потребує високої точності й великих потужностей. Доцільно використовувати менш габаритний і потужний верстат. Замість різців із напаяними пластинами зі швидкорізальної сталі, що застаріли, слід застосовувати різці з механічно закріпленими багатограними пластинами. Це дозволить впровадити прогресивні режими різання.

015 Токарна чистова. Операція є чистовою, проте її доцільно доповнити напівчистовою обробкою. Верстат 16K20 слід замінити на верстат із ЧПК для підвищення точності. Мірительний інструмент обрано правильно. Проте різці з напаяними пластинами також потребують заміни.

020 Фрезерна. Неправильне базування знижує точність операції. Для її підвищення потрібно змінити пристрій. Використання верстата 6T104 є виправданим, адже верстати з ЧПК не скоротять суттєво штучного часу. Фрези зі швидкорізальної сталі слід замінити на інструмент із твердого сплаву.

020 Свердлильна. Базування виконано правильно. Використання верстата 2M112 обґрунтоване, оскільки операція є чорною. Однак відсутність спеціального пристрою ускладнює закріплення деталі.

020 Термічна. Операція виконана коректно.

025 Шліфувальна. Базування вибрано правильно. Використання верстата 2A110B і різального інструменту є доцільним.

030 Шліфувальна. Базування вибрано правильно. Використання верстата 3K227B і різального інструменту виправдане.

#### **Загальний аналіз базового техпроцесу:**

1. Для уникнення пошкодження зовнішніх поверхонь деталі під час закріплення операції 025 та 030 потрібно поміняти місцями.

2. До техпроцесу слід додати дві операції: розмічальну для точного розташування отворів  $\varnothing 5,5$  мм по колу  $\varnothing 52$  мм і промивання деталі.

3. Усі операції відповідають принципам сталості та суміщення баз. Поверхні поділені на дві групи: зовнішні та внутрішні.

4. Деякі верстати обрано з надлишковою потужністю, що підвищує енерговитрати й собівартість.

5. Інструмент із напаяними пластинами слід замінити на сучасний із багатогранними пластинами з твердого сплаву.

6. Вимірювальний інструмент старих конструкцій або безшкальний (скоби, калібри) є недоцільним для даного типу виробництва. Рекомендується розробка нових універсальних і дешевших вимірювальних пристроїв.

7. Режими різання обрано правильно, але застаріле обладнання не дозволяє їх оптимізувати. Впровадження сучасних інструментів скоротить час обробки, підвищить точність і знизить собівартість.

045 Технічний контроль. Контроль виконується контролером ОТК на спеціальному столі. Перевіряється попередня механічна операція. Використовуються мікрометри й зразки шорсткості.

## **1.6 Висновки**

Як висновки та пропозиції доцільно зазначити необхідність розроблення технологічного процесу, заснованого на принципах машинобудівної технології із застосуванням сучасних верстатів та обробних центрів з числовим програмним керуванням. Крім того, для таких верстатів слід створити прогресивну заготовку з мінімальними припусками, провести розрахунок припусків для точної поверхні та визначити послідовність розташування баз на етапах механічного оброблення.

## РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

### 2.1 Складання варіантів технологічних маршрутів та вибір оптимального

На сьогодні існує безліч технологічних способів отримання поверхонь заданої якості, які забезпечують однакові вимоги до оброблюваних поверхонь деталей, але значно відрізняються за вартістю реалізації. Виходячи з цього, одну й ту саму поверхню деталі можна обробити кількома послідовними технологічними методами, які формують різні маршрути обробки поверхонь (МОП).

При проектуванні важливим завданням є розроблення такого технологічного процесу, який забезпечить необхідну точність і шорсткість поверхонь деталі, оптимальні фізико-механічні властивості поверхневого шару матеріалу, високу продуктивність та мінімальні витрати на виробництво.

Послідовність методів обробки всіх поверхонь, що забезпечують досягнення необхідних розмірних, точнісних і фізико-механічних параметрів деталі, наведено в таблиці 2.1.

Втулка має одну внутрішню поверхню з діаметром 40, виготовлену за 7-м квалітетом точності та з параметром шорсткості Ra 2,5 мкм.

Досягнення необхідної точності та якості поверхні можливе кількома способами (табл. 2.1).

Для зручності розглянемо кілька технологічних маршрутів обробки та виберемо серед них оптимальний.

Маршрут №1:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Токарна чистова

030 Шліфувальна

035 Свердлильна

040 Слюсарна

Маршрут №2:

005 Заготівельна. Штамповка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Токарна чистова

025 Свердлильна

030 Шліфувальна

035 Слюсарна

Маршрут №3:

005 Заготівельна. Ковка заготовки

010 Термічна обробка

015 Токарна чорнова

020 Свердлильна

025 Свердлильна

030 Шліфувальна

035 Токарна чистова

040 Слюсарна

Маршрут №2 є більш оптимальним, оскільки у маршрутах №1 та №3 попередні свердлильні операції спричиняють удари під час подальшої токарної чистової та шліфувальної обробки. Це може призвести до поломки інструменту та появи небажаних дефектів на оброблюваних поверхнях.

Таблиця 2.2 – Варіанти оброблення внутрішніх поверхонь

I варіант		II варіант	
1	Свердління, IT14, Ra 12,5	1	Свердління, IT14, Ra 12,5
2	Розсвердлювання, IT12, Ra 12,5	2	Розточування чорнове, IT12, Ra 6,3
3	Розточування напівчистове, IT9, Ra 6,3	3	Розточування напівчистове, IT9, Ra 3,2

4	Розточування чистове, IT7, Ra 2,5	4	Розточування чистове, IT7, Ra 2,5
---	--------------------------------------	---	--------------------------------------

Найбільш раціональним є цей варіант, оскільки точіння є більш продуктивним процесом порівняно з розсвердлюванням. Крім того, шорсткість поверхні, отриманої під час гостріння, є нижчою, ніж при свердлінні.

Найточніші зовнішні поверхні з діаметрами 80 та 75 виконуються за 6-м та 7-м квалітетами точності й мають параметр шорсткості Ra 0,63 мкм.

Досягти необхідної точності та шорсткості можна кількома методами (табл. 2.1).

Таблиця 2.3 – Варіанти оброблення зовнішніх поверхонь

I варіант		II варіант	
1	Точіння чорнове, IT12, Ra 12,5	1	Точіння чорнове, IT12, Ra 6,3
2	Точіння напівчистове, IT10, Ra 6,3	2	Точіння напівчистове, IT10, Ra 3,2
3	Точіння напівчистове, IT9, Ra 3,2	3	Точіння чистове, IT9, Ra 2,5
4	Точіння чистове, IT6, Ra 0,63	4	Шліфування, IT6, Ra 0,63

Вибираємо II варіант, тому що шліфування більш продуктивний процес оброблення.

Найточніші лінійні розміри деталі виконуються за 9-10-м квалітетами точності, а решта розмірів — за 12-м квалітетом. Шорсткість торцевих поверхонь 1, 14, 18, 23 (рис. 1.1) становить Ra 2,5 мкм, тоді як для інших поверхонь цей показник дорівнює Ra 6,3 мкм.

Для досягнення необхідної шорсткості передбачено такі етапи обробки:

1. Чорнове точіння – забезпечує точність 12-го квалітету та шорсткість Ra 6,3 мкм.

2. Напівчистове точіння – досягається точність 10-го квалітету та шорсткість Ra 3,2 мкм.

3. Чистове точіння – гарантує точність 9-го квалітету та шорсткість Ra 2,5 мкм.

Для поверхонь із вимогами 12-го квалітету точності та шорсткістю Ra 6,3 мкм достатньо виконати чорнову обробку.

## **2.2 Обґрунтування способу отримання, розрахунок та формулювання технічних вимог на виготовлення первинної заготовки**

Основною умовою раціональної технології виготовлення заготовки є забезпечення максимальної відповідності форми та розмірів заготовки готовій деталі. Саме тому проектування заготовки є одним із ключових етапів розробки технологічного процесу. Використання заводського методу отримання заготовки нецільне, оскільки значна кількість металу переходить у стружку ( $K_z = 0,3$ ), через відсутність центрального отвору в заводській заготовці.

Спосіб виготовлення заготовки для машинних деталей визначається низкою факторів:

- призначенням деталі;
- конструктивними особливостями;
- матеріалом;
- технічними вимогами;
- обсягом виробництва та серійністю;
- економічною доцільністю.

При виборі способу виготовлення заготовки необхідно враховувати взаємозв'язок між цими факторами.

Для раціонального використання металу обрано метод штампування на гарячоштампувальному комплексі (ГКМ). Клас точності поковки визначається залежно від технологічного процесу, обладнання та вимог до точності розмірів поковки, у цьому випадку — Т4.

Деталь може бути виготовлена такими способами:

- штампуванням;
- куванням на молотах.

Беручи до уваги конфігурацію деталі та технічні вимоги конструкторської документації, оптимальним варіантом є штампована поковка.

Матеріал деталі — сталь 40Х відповідно до ГОСТ 4543. Маса деталі складає 2,9 кг. Припуски та граничні відхилення призначаються згідно з ГОСТ 7505 (табл. 2.1).

Основні припуски і допуски на заготовку вибираємо згідно ГОСТ 7505.

Розрахунковий коефіцієнт  $K = 1,4$  додаток 3 [3];

Клас точності – Т3 додаток 1 [3].

Група сталі – М1 таблиця 1 [3].

Середня масова частка вуглецю в сталі 30 – 0,3% С.

Ступінь складності – С2 додаток 2 [3].

Відношення мас тіл становить –  $G^n / G^\phi = 24,2/54,7 = 0,42$

Конфігурація роз'єму штампа П (плоска) – таб. 1 [3].

Вихідний індекс – 13 таб. 2 [3].

Припуски і ковальські напуски.

Основні припуски на розміри, мм.

2,1 – діаметр 75 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,5 – діаметр 180 мм і шорсткість поверхні 1,6

1,5 – діаметр 145 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,2 – діаметр 85 мм і шорсткість поверхні 1,6

1,5 – діаметр 65 мм і шорсткість поверхні 12,5

1,9 – товщина 55 мм і шорсткість поверхні 12,5

2,2 – довжина 171 мм і шорсткість поверхні 1,6

2,3 – товщина 45 мм і шорсткість поверхні 0,4

Додаткові припуски, що враховують:

- зміщення по поверхні рознімання штампа – 0,6 мм;
- вигнутість і відхилення від площинності і прямолінійності – 0,8 мм.



Розміри поковки; мм

Діаметр  $75 + (2,3 + 0,8) \cdot 2 = 81$  – приймаємо 81;

Діаметр  $85 + (2,0 + 0,8) \cdot 2 = 85,6$  – приймаємо 86;

Діаметр  $166 - (1,7 + 0,8) \cdot 2 = 161$  – приймаємо 161;

Товщина  $45 + (2,4 + 0,2) + (2,1 + 0,8 + 0,7) = 51,5$  – приймаємо 52.

Допустиме відхилення від площини 0,6 мм – по п. 5 [3].

Допустима величина залишкового облоя 0,8 мм – по п. 5 [3].

Допустима величина на зміщення по поверхні рознімання штампа 0,7 мм – по п. 5 [3].

Маса заготовки  $m = 2,9$  кг.

Коефіцієнт використання заготовки:

$$K_3 = \frac{m_D}{m_3} \geq 0,7$$

де  $m_D$  – маса деталі, кг;

$m_3$  – маса заготовки, кг;

0,7 – рівень технологічності ЕСТПП.

$$K_3 = 2,1 / 2,9 = 0,71$$

$K_3 > 0,7$  – це обумовлено не прошитим отвором в заготовці.

Таблиця 2.4 – Розміри поковки

№ пов.	Номінальний розмір деталі	Загальний допуск	Величина припуску	Кінцевий розмір
1	Ø75	5	+2.4 -1.2	80
2	Ø80	5	+2.4 -1.2	85
3	L165	6	+1.8 -1.0	171
4	L113	5	+1.6 -0.9	118

Собівартість заготовки отриманої куванням на молоті визначаємо за формулою:

$$S_{3AG} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_m \cdot K_c \cdot K \cdot \mathcal{K}_{\%} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000} \quad (2.1)$$

де  $C_i = 28000$  грн – базова вартість однієї тонни матеріалу, грн.,

$Q = 2,8$  кг – маса заготовки;

$q = 2,1$  кг – маса готової деталі;

$K_t = 1,1$  – коефіцієнт, що враховує точність поковки;

$K_m = 1,22$  – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу;

$K^n = 1,3$  – коефіцієнт, що враховує групу серійності;

$K_n = 1,1$  – коефіцієнт що враховує групу складності;

$K_b = 0,98$  – коефіцієнт, що враховує масу штамповки;

$S_{отх} = 2800$  грн – ціна однієї тони відходів.

$$S_{заг} = \left( \frac{18000}{1000} \cdot 60,5 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,3 \cdot 1,1 \cdot 0,98 \right) - (60,5 - 45,5) \frac{2000}{1000} = 2048 - 30 = 290 \text{ грн.}$$

Технічні вимоги:

1. Поковка ГрІ ГОСТ 7505-89-70;
2. Незазначені радіуси  $R=5$  мм;
3. Незазначені зовнішні ухили  $7^\circ$ ;
4. Заусенців по периметру не більше 3 мм.

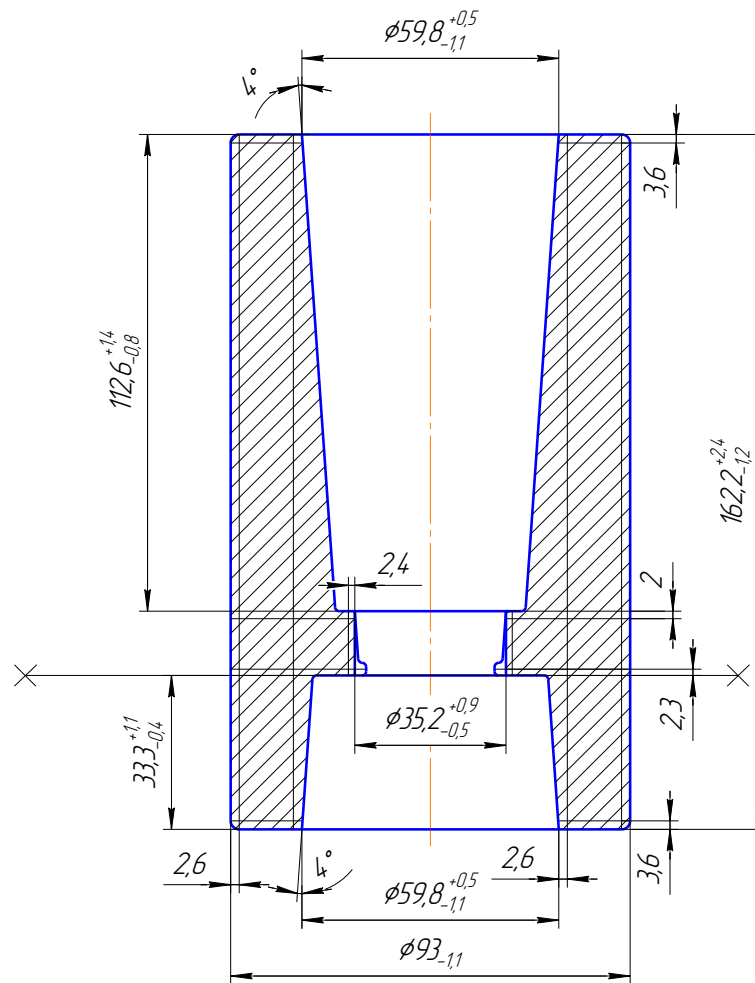


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки

### 2.3 Розрахунок припусків на обробку поверхні обертання

Розрахунок припусків ведеться на зовнішню циліндричну поверхню 80кб. Розрахунок проводиться за методом професора Кована за допомогою програми "rip" (додаток Б)

До вихідних даних відноситься: маршрут обробки, точність кожного переходу, параметри шорсткості  $R_z$ , глибина дефектного шару  $h$ , просторові відхилення поверхні і похибки базування і закріплення.

Маршрут обробки включає наступні переходи: лиття, токарна чорнова, токарна напівчистова.

Параметри шорсткості і глибину дефекту шару приймається по [2, табл.1].

Розрахункова формула для знаходження припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (2.2)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$T_{i-1}$  – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\rho_{i-1}$  – величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

$\varepsilon_i$  – похибка на виконуваний операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується як

$$\rho_{заг} = \sqrt{\rho_{экс}^2 + \rho_{см}^2} = \sqrt{2,0^2 + 0,7^2} = 2,119 \text{ мкм},$$

$\rho_{i-1}$  знаходиться в відсотковому відношенні від

$$\rho_{заг} \text{ тоді } \rho_{черн} = \rho_{заг} k_y,$$

де  $k_y = 0,04 \div 0,06$ , в залежності від переходу. Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{чер} = 1420 \cdot 0,06 = 89 \text{ мкм.}$$

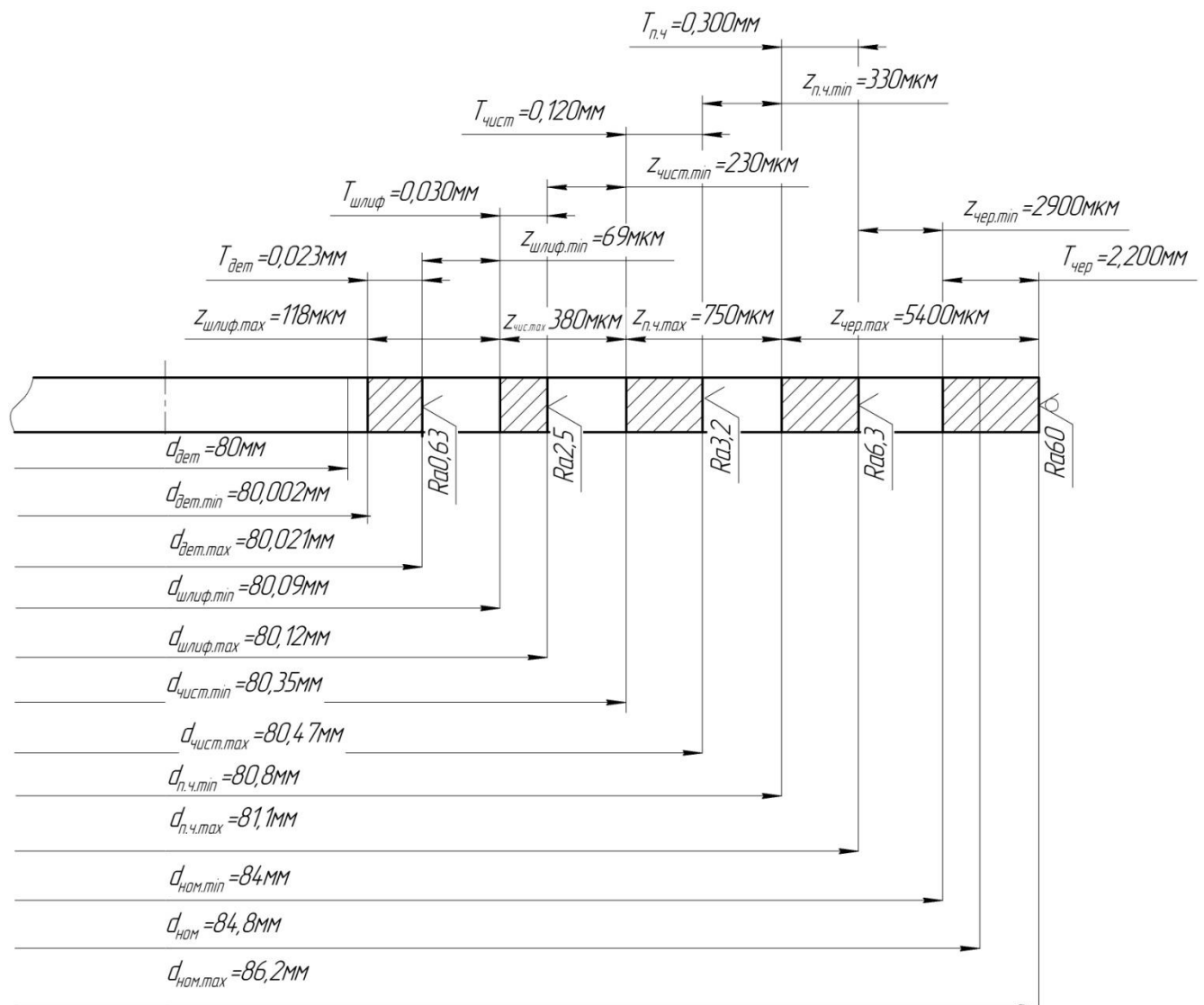
$$\rho_{н/ч} = 1420 \cdot 0,05 = 72 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{чис} = 1420 \cdot 0,04 = 59 \text{ мкм.}$$

Вихідні данні для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Вихідні дані

Найменування переходу	Познач. точності	Гранич відхил.	Елементи припуску, мкм				
			Rz	T	$\rho$	$\epsilon_b$	$\epsilon_z$
Поковка	T3	$\begin{matrix} +1.8 \\ -1.0 \end{matrix}$	250	250	1520	-	-
Точ. чорнове	кв. 12	-0,4	100	100	92	50	150
Точ. п/ч	кв. 10	-0,16	50	50	76	20	40
Точ.чистове	кв.9	$\begin{matrix} -0.05 \\ -0.165 \end{matrix}$	25	25	61	0	0

Рисунок 2.2 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру  $\varnothing 80k6$  мм

## 2.4 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

При виборі схем базування і закріплення слід дотримуватися рекомендацій із джерела [8].

**Операція 010. Токарно-гвинторізна обробка.** Розглянемо установку А.

Для цієї операції можливі лише дві схеми базування, обидві з яких позбавляють заготовку п'яти ступенів свободи, а похибка базування є однаковою (рис. 2.8 а, б, в). Відповідності та матриця зв'язків наведені в таблицях 2.9.

Найефективніші способи закріплення заготовки на цій операції:

1. Закріплення в патроні з упором у лівий торець.
  - У першому випадку патрон затискає зовнішню поверхню деталі.
  - У другому випадку патрон затискає внутрішню поверхню.

При цьому формуються дві технологічні бази:

- Циліндрична поверхня виконує роль подвійної опорної бази.
- Упор у лівий торець є настановною базою.

Похибка базування:

- Для діаметральних розмірів:  $\epsilon_6=0$ .
- Для лінійних розмірів, коли технологічна та вимірювальна бази не збігаються:
  - Для розміру 160,1 мм:  $\epsilon_6=0$ .
  - Для розмірів 135,6; 111,3; 101,5 мм:  $\epsilon_6 = T158,5=400$  мкм.

Для зручності та надійності обираємо другий варіант схеми базування. Цей варіант передбачає закріплення у зовнішніх кулачках, що є більш простим у реалізації та забезпечує надійне фіксування заготовки.

Таблиця 2.6 – Таблиця відповідності на операції 010

Зв'язок	Ступінь вільності	Бази
1,2,3	I, V, V	Установоча база
4,5	II, III	Подвійна опорна база
6	IV	

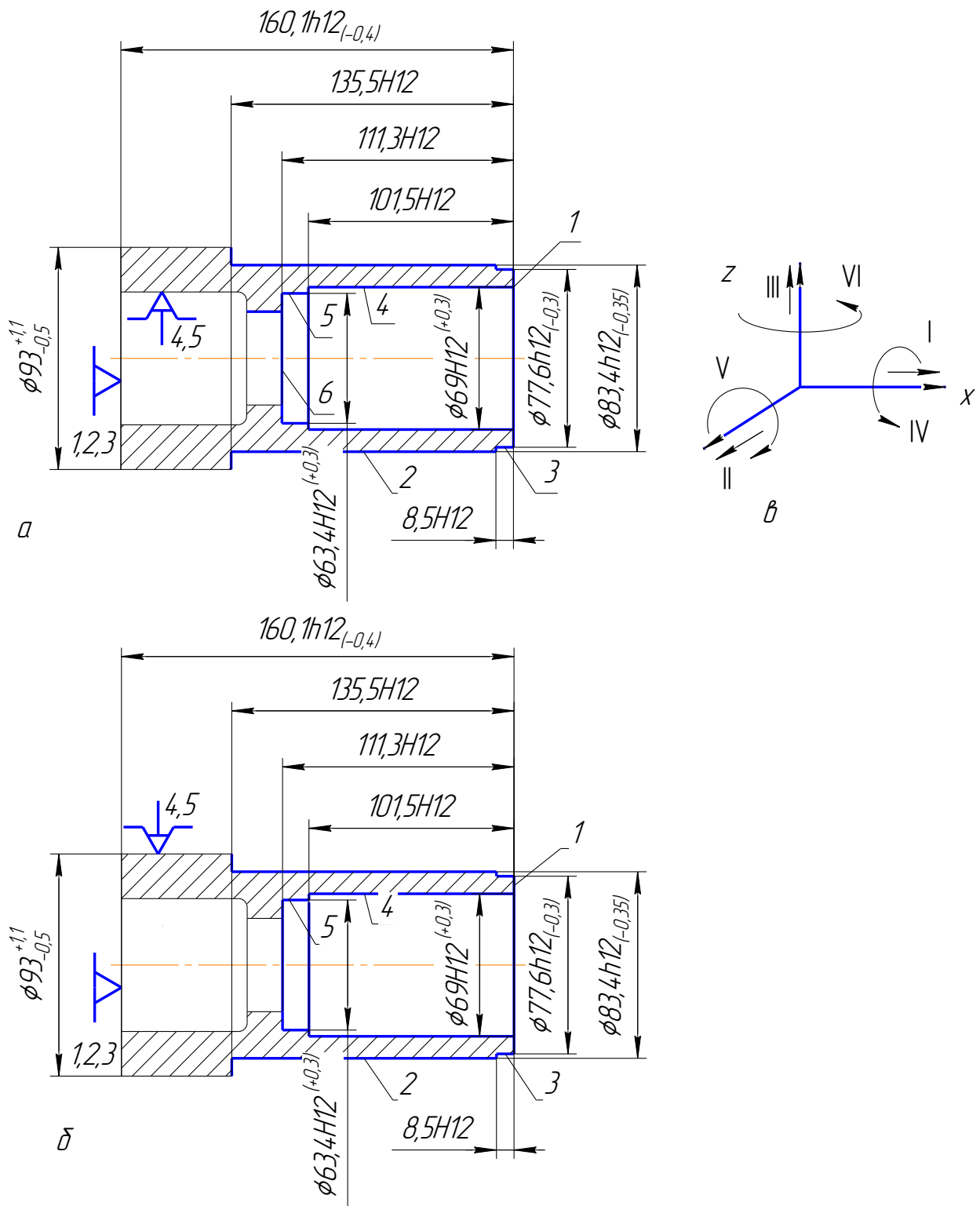


Рисунок 2.9 – Ескіз закріплення заготовки на операції 010

а – перший варіант базування;

б – другий варіант базування;

в – система координат

Таблиця 2.7 – Матриця зв'язків на операції 010

	X	Y	Z	
L	1	0	0	Установоча база
$\alpha$	0	1	1	
L	0	1	1	Подвійна опорна база
$\alpha$	0	0	0	
L	0	0	0	
$\alpha$	1	0	0	

Операція 015. Токарно-гвинторізна з числовим програмним керуванням (ЧПК). Схема базування представлена на відповідному аркуші маршруту технологічного процесу.

Операція 020. Вертикально-фрезерна. Для цієї операції можливі дві схеми базування, які забезпечують повне позбавлення заготовки шести ступенів свободи.

В обох випадках таблиця відповідностей і матриця зв'язків є однаковими та наведені в таблицях 2.8 і 2.9.

Таблиця 2.8 – Таблиця відповідностей на операції 020.

Зв'язок	Ступінь вільності	Бази
1,2,3,4	II, III, V, VI	Подвійна напрямна база
5	I	Опорна база
6	IV	

У першому випадку заготовка закріплюється в опорній призмі з упором в торець і зверху затискаються зажимами, при цьому виникають три технологічні бази (рисунок 2.7 а):

- циліндрична поверхня є подвійний направляючої базою;
- упор в лівий торець є опорною базою;
- зажим є опорною базою.



Таблиця 2.9 – Матриця зв'язків на операції 020.

	X	Y	Z	
L	0	1	1	Подвійна напрямна база
$\alpha$	0	1	1	
L	1	0	0	Опорна база
$\alpha$	0	0	0	
L	0	0	0	
$\alpha$	1	0	0	

При цьому похибка базування:

$$E_{\sigma} = T_{66} = 300_{\text{МКМ}}$$

У другому випадку заготовка закріплюється в опорній призмі з упором в лівий торець і зверху затискаються зажимами, при цьому виникають три технологічні бази (рисунок 2.7 б):

- циліндрична поверхня є подвійний направляючої базою;
- упор в лівий торець є опорною базою
- зажим є опорною базою.

При цьому похибка базування для діаметральні розмірів дорівнює нулю, для лінійних розмірів похибка (технологічна база і вимірювальна збігаються) дорівнює

$$T_{155} = 400_{\text{МКМ}} \text{ (по ГОСТ 25346-82); } E_{\sigma} = T_{155} + T_{66} = 400 + 300 = 700_{\text{МКМ}}$$

І при першому і при другому варіантах базування похибка базування більше допуску на розмір 18 мм (відповідно). Застосовуємо перший варіант базування, так як його похибка менше, ця похибка не впливає на роботу самого вузла.

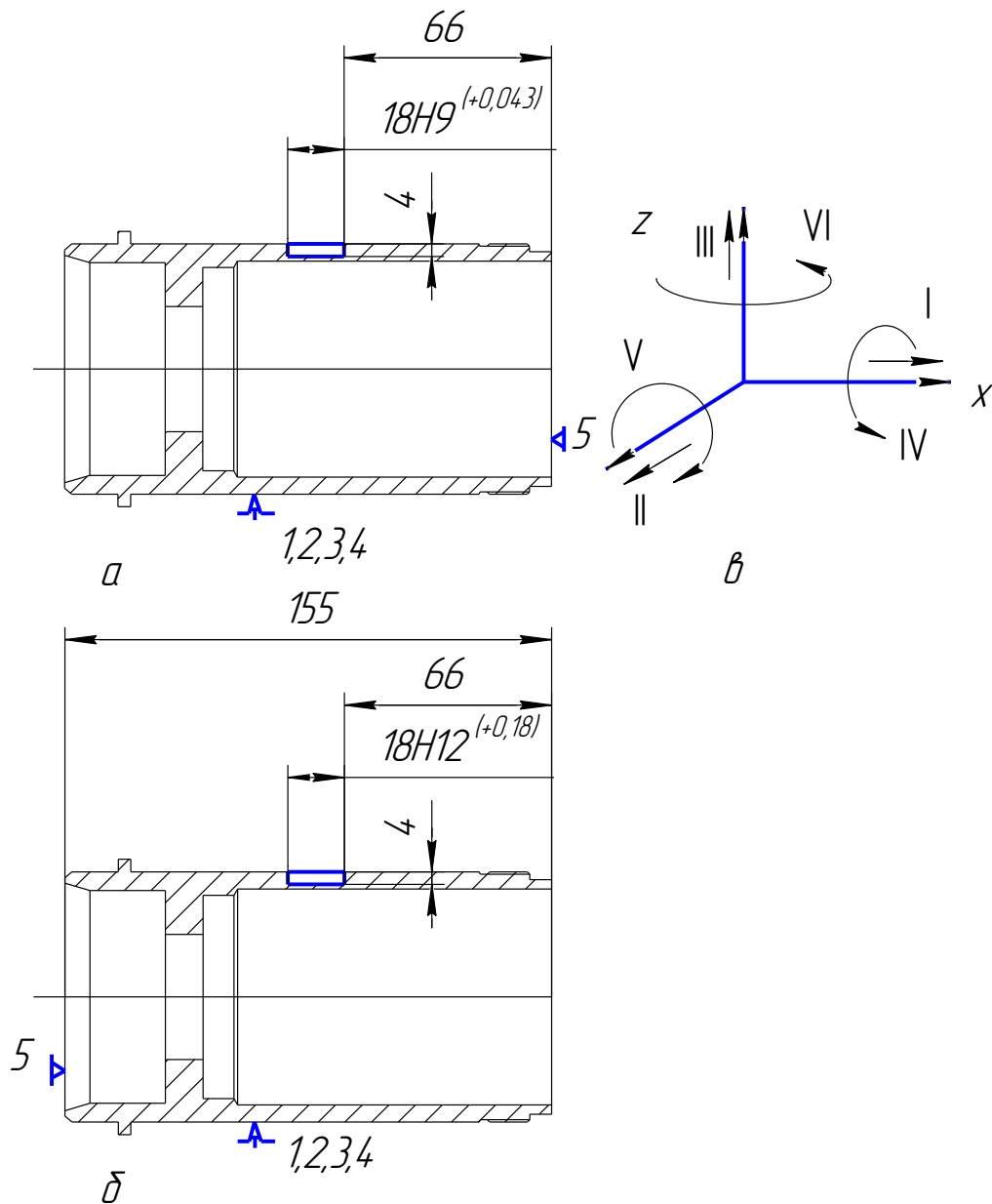


Рисунок 2.10 – Ескіз закріплення заготовки на операції 020

а – перший варіант базування;

б – другий варіант базування;

в – система координат

#### Операція 025 Вертикально-сверлильна

У двох випадках заготовка розташована на столі верстата і закріплена в трьохкулачковому патроні, позбавлена п'яти ступенів вільності і похибка базування однакова (рисунок 2.11 а, б). Таблиця відповідностей і матриця зв'язків представлені в таблицях 2.10 і 2.11.

Похибка базування буде дорівнює:

$$\varepsilon_6 = T_{155} + T_{32} = 0,4 + 0,25 = 0,75 \text{ мм.}$$

Таблиця 2.10 – Таблиця відповідності на операції 025

Зв'язок	Ступінь вільності	Бази
1,2,3	I, V, V	Установоча база
4,5	II, III	Подвійна опорна база
6	IV	

Таблиця 2.11 – Матриця зв'язків на операції 025

	X	Y	Z	
L	1	0	0	Установоча база
$\alpha$	0	1	1	
L	0	1	1	Подвійна опорна база
$\alpha$	0	0	0	
L	0	0	0	
$\alpha$	1	0	0	

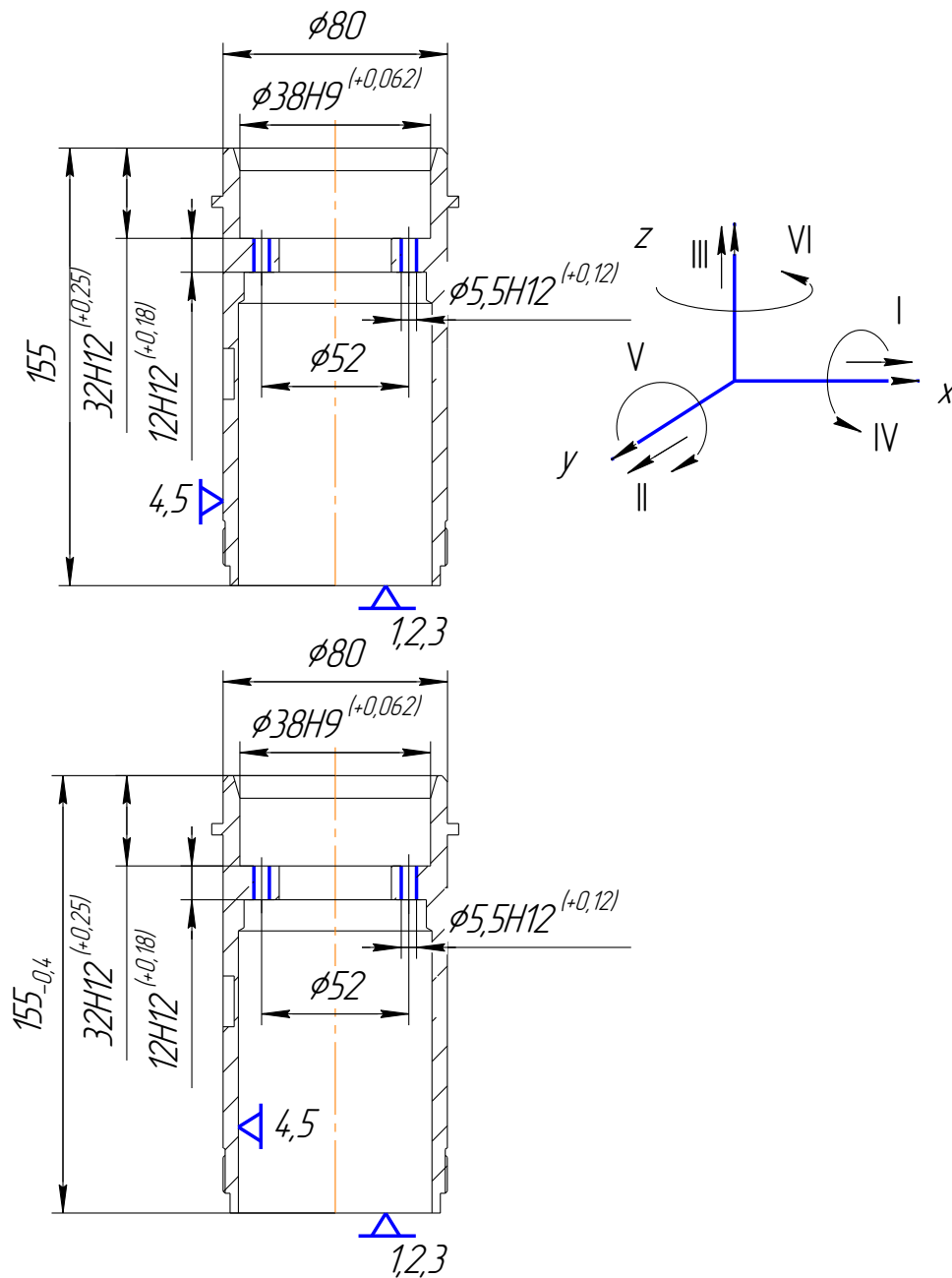


Рисунок 2.11 – Ескіз закріплення заготовки на операції 025

а – перший варіант базування;

б – другий варіант базування;

в – система координат.

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

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

На операції 010 токарна з ЧПК проводиться чорнова обробка заготовки з одного установа.

Металорізальний верстат вибираємо за наступними критеріями:

- технологічні методи обробки поверхонь: для обробки вищевказаних поверхонь було розглянуто перелік токарних верстатів, проаналізувавши, був обраний верстат моделі 16К20Ф3, який оснащений системою ЧПК [4];
- потужність двигуна: верстат даної моделі оснащений 14 кВт двигуном, якого достатньо для точіння поверхонь корпусу;
- габарити робочого простору: дане обладнання дозволяє обробляти заготовки діаметром – до 400 мм, і довжиною – до 800 мм, що дозволить встановити заготовку;
- тип виробництва: при дрібносерійному виробництві перевага віддається універсальному обладнанню з ЧПК, таким обладнанням є верстат моделі 16К20Ф3.

Основні технічні характеристики токарного верстата моделі 16К20Ф3 наступні:

- найбільший діаметр оброблюваної заготовки над:
- станиною – 400 мм,
- супортом – 200 мм;
- найбільша довжина оброблюваної заготовки – до 800 мм;
- крок метричної різьби до 6 мм;
- частота обертання шпинделя  $12,5 \div 1600 \text{ хв}^{-1}$ ;
- подача:
- поздовжня  $1 \div 1000 \text{ мм/хв}$ ;
- поперечна  $1 \div 200 \text{ мм/хв}$ ;
- потужність електродвигуна приводу головного руху – 14 кВт.

Для операції 020. Вибір металорізального верстата для фрезерування паза.

При обробці паза потрібно керуватись такими характеристиками як розміри робочого простору столу і потужність електродвигуна.

З огляду на, що довжина фрезеруемого паза 18 мм, глибина 4 мм і ширина 6 мм, то потрібно буде вибрати верстат з робочою поверхню столу наближеною до  $160 \times 550$  і потужністю електродвигуна до (2 кВт).

Порівнюючи два вертикально-фрезерних верстата:

а) моделі 6Т104

б) моделі 6Р13Ф3-01

Можна зробити висновок. Що якщо використовувати верстат з ЧПК 6Р13Ф3-01, то при фрезеруванні пазів потрібно буде використовувати спеціальні пристрої для автоматичного повороту деталі. Це буде значно дорожче, ніж в базовому техпроцесі і тим більше потрібно змінити техпроцес.

Великого виграшу в часі ми не отримаємо, потужність електродвигуна (7,5 кВт) і габарити робочого простору ( $400 \times 1000$  мм) роблять його для обробки економічно неефективним [1].

Отже для обробки будемо застосовувати верстат 6Т104

Основні технічні характеристики верстата 6Т104

1 Розміри робочої поверхні столу (ширина  $\times$  довжина)  $160 \times 630$

2 Найбільше переміщення столу:

- поздовжнє 400

- поперечне 160

- вертикальне 320

3 Переміщення гільзи зі шпинделем

4 Найбільший кут повороту шпиндельної головки,  $^{\circ} \pm 45^{\circ}$

5 Число швидкостей шпинделя 12

6 Частота обертання шпинделя, об / хв  $63 \div 2800$

7 Число подач столу 12

8 Подача столу, мм/хв

- поздовжній і поперечній  $11,2 \div 500$

- вертикальна -

9 Швидкість швидкого переміщення столу, мм/хв

- поздовжня і поперечна 3800

- вертикальна -

10 Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 2,2

11 Габаритні розміри, мм

- довжина 1250

- ширина 1205

- висота 1630

12 Маса, кг – 830

Для операції 025.Вибір металорізального верстата для свердління восьми отворів  $\varnothing 5,5$ мм і цековки чотирьох отворів  $\varnothing 9$  мм.

При виборі верстата потрібно керуватися такими характеристиками як розмір робочого простору столу і потужність електродвигуна.

Враховуючи дрібносерійне виробництво і точність отворів (12 квалітет), то потрібно вибрати універсальний верстат.

Порівнюючи два вертикально-свердлильні верстата:

а) моделі 2Н125

б) моделі 2Н135

Паспортні дані цих верстатів обрані по [1].

Так як отвори не великих розмірів - глибина різання не велика, то верстат можна прийняти не великої потужності (потужність верстата моделі 2Н125 - 2,2кВт; 2Н135 - 4 кВт) це економічно доцільно.

Отже для обробки будемо застосовувати верстат 2Н125

Основні технічні характеристики верстата 2Н125

1 Найбільший умовний діаметр

свердління в стали 25

2 Робоча поверхня столу 400 450

3 Найбільша відстань від торця шпинделя

До робочої поверхні столу 700

4 Виліт шпинделя 250

5 Найбільший хід шпинделя 200

6 Найбільше вертикальне переміщення:

- свердлильної головки – 170
- столу – 270
- 7 Конус Морзе отвору шпинделя 3
- 8 Число швидкостей шпинделя 12
- 9 Число подач шпинделя -
- 10 Частота обертання шпинделя  $45 \div 2000$
- 11 Подача шпинделя, мм / об 9
- 12 Потужність електродвигуна приводу головного руху, кВт 2,2
- 13 Габаритні розміри
  - довжина 950
  - ширина 785
  - висота 2350
- 14 Маса верстата, кг – 800.

## **2.6 Обґрунтування та вибір верстатних пристроїв, різального та вимірювального інструментів**

Враховуючи типу виробництва (дрібносерійне) найбільш доцільно застосувати систему універсально складальних пристроїв (УСП) згідно ГОСТ 14.305-73.

Як пристрої вибираємо:

Для операції 010

Патрон самоцентруючий трьохкулачковий 7100-0015 ГОСТ 2675-80 [8]

Для операції 015

Патрон трьохкулачковий ГОСТ 2675-80 [9] з пневмоприводом представленим на кресленні верстатного пристрою.

Для операції 020

Опорна призма ГОСТ 12195-66 [1] в спеціальному пристрої, який представлений на кресленні пристрою.

Для операції 025

Патрон самоцентруючий трьохкулачковий 7100-0015 ГОСТ 2675-80[9]



Для операції 030

Кільцевий індуктор для одночасної шпильки зовнішньої циліндричної поверхні

Для операції 035

Патрон самоцентруючий трьохкулачковий 7100-0015 ГОСТ 2675-80 [9]

Вибір інструмента виробляємо виходячи з таких умов.

а) метод обробки поверхні

б) етап обробки

в) матеріал заготовки Сталь 40Х (ГОСТ 4543-71)

г) вид і стан заготовки: штампування.

Як різальний інструмент вибираємо:

Для операції 010

З метою підвищення ефективності процесу різання будемо використовувати токарний різець з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластинок.

Матеріал різучої частини: твердий сплав Т15К6 ГОСТ 3882-74.

Для точіння поверхонь 3,4,5,6,13,26,27 вибираємо:

- пластина тригранна 741-1704-1 по ГОСТ 19079-80 [10];

- різець прохідний упорний 2101-0603 ГОСТ 20872-80 [20]

Для підрізування поверхонь 1, 14 вибираємо:

- пластина чотиригранна 03131-090304 по ГОСТ 19049-80 [10];

- різець підрізний 2102-0018 ГОСТ18868-73 [20].

Для паростки поверхонь 15,17,18,21,23,24 вибираємо:

- пластина ромбічна 03113-120408 по ГОСТ 19056-80 [10];

- різець розточний 2142-00331 ГОСТ 19795-84 [20].

Для операції 015

Матеріал різальної частини: твердий сплав Т15К6 ГОСТ 3882-74.

Для точіння поверхонь 1,2,3,13,14,26,27 вибираємо:

- пластина тригранна 01114-16034 по ГОСТ 19079-80 [10];

- різець прохідний 2103-0671 ГОСТ 20872-80 [20]

Для поверхонь 16,17,18,21,22,23,24,25 вибираємо:

- пластина тригранна 01114-16034 по ГОСТ 19079-80 [10]
- різець розточний 2142-0031 ГОСТ 19795-84 [20].

Для точіння поверхонь 10,11 вибираємо:

- пластина чотиригранна 03131-090304 по ГОСТ 19049-80 [10];
- різець канавочний 2366-00114 ГОСТ 25419-82 [20].

Для отримання різьбовій поверхні:

- пластина 01114-16034 по ГОСТ 19079-80 [10];
- різець різьбовий 2564-00051 ГОСТ 25419-82 [20].

Для операції 020.

Для обробки використовується шпонкова цільна фреза 2234-0205 ГОСТ16463-80 [1]. Матеріал різальної частини: твердий сплав ВК8.

Для операції 030

Для обробки отворів Ø5,5 мм використовується свердло спіральне з циліндричним хвостовиком 2300-6966 ГОСТ 886-77 [20] Для обробки отворів Ø9 мм використовується цековка спеціальна. Матеріал різальної частини: швидкоріжуча сталь Р6М5

Для операції 035.

Для обробки використовується шліфувальний круг ПП 32×8×10 25А СМ-5-К ГОСТ2424-83 [1]. Матеріал ріжучої з електрокорунда білого марки 25А.

Для операції 040.

Для обробки використовується шліфувальний круг ПП 32 × 8 × 10 25А СМ-5-К ГОСТ2424-83 [1]. Матеріал різальної з електрокорунда білого марки 25А.

При виборі контрольно-вимірювальних інструментів до уваги слід взяти трудомісткість вимірювань, точність вимірювань тип виробництва.

У дрібносерійному виробництві пріоритет слід віддавати універсальним (шкальні) вимірювальних засобів. При визначенні точності інструментів потрібно

враховувати, що ціна ділення повинна становити  $0,3 \div 0,5$  допуску вимірювального параметра.

В якості вимірювального інструмента вибираємо

На всіх операціях параметри шорсткості перевіряються за зразком

Для операції 010.

Для вимірювання використовується штангенциркуль ШЦ-ІІ-630-0.1 ГОСТ 166-63 [1]

Для операції 015.

Для вимірювання використовується гладкий МК по ГОСТ 6507-60 [11]

Для вимірювання різьби використовується різьбовий МВМ по ГОСТ 4380[1]

Для операції 020.

Для вимірювання використовується глибиномір 8315-0508 ГОСТ 24116-80 і штангенциркуль ШЦ-ІІ-320-0.1 ГОСТ 166-89 [9]

Для операції 030.

Для вимірювання використовується нутроміри з вимірювальною головкою по ГОСТ 9244-75 [3].

Для операції 040.

Використовується контрольно-вимірювальний пристрій для контролю радіального биття (креслення пристрою), гладкий МК по ГОСТ 6507-60 [9].

Для операції 045.

Використовується гладкий мікрометр МК по ГОСТ 6507-60 [9]

## 2.7 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання для операції 010 токарно-гвинторізна і проводиться аналітичним (повним) способом для точіння поверхні 2 (рисунок 1.1).

Вихідні дані: на токарно-гвинторізний верстаті 16Б16А обробляється поверхня деталі. Оброблювальний матеріал – Сталь 40Х,  $\sigma_B$  – 670 МПа, заготовка – штампування. Діаметр оброблюваної поверхні 83,4 мм, довжина оброблюваної

поверхні – 133,6 мм, обробка чорнова, шорсткість Ra 6,3 мкм; обробка без охолодження.

1. Паспортні дані верстата 16Б16.

Частота обертання шпинделя, об/хв – 20 25 32 40 50 63 80 100 126 159 200  
252 317 399 502 632 796 1002 1262 1589 2000.

Поздовжня подача мм / об 0,05 0,065 0,086 0,11 0,15 0,19 0,25 0,33 0,43 0,56  
0,73 0,96 1,25 1,64 2,14 2,8.

Потужність електродвигуна головного руху  $N_{ел} = 4,6 \text{ кВт}$ , ККД = 0,9.

Максимальна осьова сила допускається механізмом подачі  $P = 3000 \text{ Н}$ .

1. Призначаємо глибину різання. Припуск на сторону дорівнює:

$$\Delta = \frac{D - d}{2}$$

$$\Delta = \frac{93 - 83,4}{2} = 4,8 \text{ мм}$$

Виходячи з вимог до деталі (IT12, Ra 6,3 мкм), припуск знімаємо за один прохід.

$$t = \Delta = 4,8 \text{ мм};$$

2. Вибираємо геометричні параметри різця. Для чорнової обробки приймаємо токарний упорний різець з механічним кріпленням твердосплавних пластини з кутами в плані  $\phi = 90^\circ$ ,  $\lambda = 15^\circ$ . матеріал пластини твердий сплав Т15К6. Позначення пластини 01113-110304 по ГОСТ 19044-80 [10] товщина пластини  $S = 3,18 \text{ мм}$ , радіус при вершині 0,4 мм.

При орієнтовному значенні чорновий подачі для даних умов 0,6 -1,2 мм / об 13 і глибини різання 4,8 мм для верстата 16Б16А приймаємо перетин різця 16x25мм 10. Задній кут 150, передній кут 100, кут нахилу ріжучої кромки 0. Спосіб кріплення ріжучої пластини клиновий.

Для одноінструментальної обробки призначаємо період стійкості  $T = 30 \text{ хв}$ .

Визначаємо подачу виходячи з таких обмежень:

А. Подача, що допускається міцністю державки різця, визначається за формулою:

$$S_{\text{пр.р}} = \sqrt{\frac{B \cdot H^2 \cdot [\sigma] \dot{\epsilon}}{60 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot L_p}},$$

де:  $B=16$  мм,  $H=25$  мм

$[\sigma] = 490$  МПа (для загартованої державки зі сталі 40ХН);

$$L_p = 1,5 \cdot H = 1,5 \cdot 25 = 38 \text{ мм};$$

Знаходимо коефіцієнти до показників ступенів [13].

$$C_{pz} = 300, X_{pz} = 1,0, Y_{pz} = 0,75, n_{pz} = -0,15.$$

$K_{pz}$  – поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки;

$$K_{pz} = K_{\varphi pz} \cdot K_{\chi pz} \cdot K_{\lambda pz} \cdot K_{r pz},$$

де  $K_{\varphi pz} = 0,89$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\varphi$  [13];

$K_{\chi pz} = 1,0$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\chi$  [13];

$K_{\lambda pz} = 1,0$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від кута  $\lambda$  [13];

$K_{r pz} = 0,87$ ; - поправочний коефіцієнт впливає на зміну умов обробки від радіусу при вершині різця [13];

$K_{MP}$  - поправочний коефіцієнт на зміну умов обробки в залежності від оброблюваного матеріалу;

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^{0,75} = \left(\frac{670}{750}\right)^{0,75} = 0,92$$

$$K_{pz} = 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,92 = 0,71$$

$C_v = 350$ ;  $X_v = 0,15$ ;  $Y_v = 0,35$ ;  $m=0,2$  – поправочні коефіцієнти і показники ступеня в формулах швидкості різання.

Поправочний коефіцієнт впливає на швидкість різання

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

де  $K_{mv}$  – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу [1];

$$K_{mv} = \left( \frac{750}{\sigma_B} \right) = \frac{750}{670} = 1,12$$

$K_{iv} = 1$ ; - коефіцієнт, що враховує якість матеріалу інструмента [1];

$K_{nv} = 1$ ; – коефіцієнт, що відображає стан поверхні заготовки [1].

$$K_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

$$S_{пр.р} = \sqrt[0.75]{\frac{16 \cdot 25^2 \cdot 490}{60 \cdot 300 \cdot \left( \frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}} \right)^{-0.15} 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 38}} = 6,9 \text{ мм/об}$$

Б. Подача, що допускається жорсткістю різця:

$$S_{жр} = \sqrt[урз]{\frac{f_p \cdot E \cdot B \cdot H^3}{40 \cdot c_{pz} \cdot \left( \frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m} \right)^{урз} t^{урз} \cdot k_{pz} \cdot L_p^3}},$$

де:  $f_p$  – прогин різця, для чорнової обробки приймаємо рівним 0,1;

$E_p$  – модуль пружності державки для сталі 40ХН  $2,1 \cdot 10^5$  Мпа;

$$S_{жр} = \sqrt[0.75]{\frac{0,1 \cdot 2,1 \cdot 10^5 \cdot 16 \cdot 25^3}{40 \cdot 300 \cdot \left( \frac{350 \cdot 1,12}{30^{0.2}} \right)^{-0.15} 48^1 \cdot 0,71 \cdot 38^3}} = 7,98 \text{ мм/об}$$

В. Подача, що допускається міцністю пластини.

$$S_{пр.п} = \sqrt[урз]{\frac{340 \cdot c^{1,35} \left( \frac{\sin 60^\circ}{\sin \varphi^\circ} \right)^{0.8}}{10 \cdot c_{pz} \cdot \left( \frac{c_v \cdot k_v}{T_y^{0.2}} \right)^{урз} t^{урз-0.77} \cdot k_{pz}}},$$

де:  $c$  – товщина пластини, складає 3,18мм;

$\varphi$  – кут в плані,  $90^0$ ;

$$S_{\text{пр.п}} = \sqrt[0.75]{\frac{340 \cdot 3,18^{1,35} \left( \frac{\sin 60^\circ}{\sin 90^\circ} \right)^{0,8}}{10 \cdot 300 \cdot \left( \frac{350 \cdot 1,12}{30^{0,2}} \right)^{0,75} 4,8^{1-0,77} \cdot 0,71}} = 0,95 \text{ мм/об}$$

Г. Подача, що допускається жорсткістю деталі.

$$S_{\text{ж.д}} = \sqrt[0.75]{\frac{f_g \cdot \mu \cdot E \cdot I}{11 \cdot c_{pz} \cdot \left( \frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m} \right)^{0,75} t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot L^3}},$$

де:  $f_g$  – допустима величина прогину 0,2 мм;

$\mu$  – коефіцієнт, що враховує тип закріплення;

$I$  – момент інерції заготовки [13]

$$S_{\text{ж.д}} = \sqrt[0.75]{\frac{0,2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 0,05 \cdot 83,4^4}{11 \cdot 300 \cdot \left( \frac{350 \cdot 1,12}{30^{0,2}} \right)^{-0,15} 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 133,6^3}} = 61,44 \text{ мм/об}$$

Д. Подача, допустима прочністю механізму подачі.

$$S_{\text{м.п}} = \sqrt[0.75]{\frac{P_{\text{м.п}}}{4 \cdot c_{pz} \cdot \left( \frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m} \right)^{0,75} t^{xpz} \cdot k_{pz}}},$$

де:  $P = 3000\text{Н}$ , осьова сила допустима механізмом подачі

$$S_{\text{м.п}} = \sqrt[0.75]{\frac{3000}{4 \cdot 300 \cdot \left( \frac{350 \cdot 1,12}{30^{0,2}} \right)^{-0,15} 4,8^1 \cdot 0,71}} = 1,7 \text{ мм/об}$$

2. Визначаємо економічне значення подачі в якості, якої приймаємо найменшу з подач, що допускаються прийнятими технологічними обмеженнями для заданих умов:

$$S_e = S_{\text{ж.д}} \{6,9; 7,98; 0,95; 61,44; 1,7\}_{\min}$$

$$S_e = S_{\text{ж.д}} = 0,95 \text{ мм/об.}$$

Дану подачу можна реалізувати на верстаті так як виконується умова 0,01

Коригуємо економічне значення подачі по верстата. З урахуванням виконання умови 5% в якості технологічної подачі приймаємо найближче значення з наявних на верстаті, тобто  $S_T=0,96\text{мм/об}$ .

7. Визначаємо економічне значення числа оборотів за формулою:

$$n_d = \frac{100 \cdot C_v \cdot K_v}{T_y^m \cdot S^{yv} \cdot t^{xv} \cdot \pi \cdot D}$$

$$n_d = \frac{1000 \cdot 350 \cdot 0,75}{30^{0,2} \cdot 0,95^{0,35} \cdot 4,8^{0,15} \cdot \pi \cdot 83,4} = 406 \text{ об/хв}$$

Це число оборотів можна реалізувати на верстаті, так як виконується умова  $20 \leq 475 \leq 2000$ .

8. Перевіряємо економічне значення подачі по потужності верстата.

$$S_{M.C} = \sqrt[ypz]{\frac{N_y \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1020 \cdot 1000}{10 \cdot c_{pz} \cdot \left(\frac{c_v \cdot k_v}{T_y^m}\right)^{npz} \cdot t^{xpz} \cdot k_{pz} \cdot \pi \cdot D \cdot n_y}}$$

$$S_{M.C} = \sqrt[0,75]{\frac{4,6 \cdot 0,9 \cdot 60 \cdot 1020 \cdot 1000}{10 \cdot 300 \cdot \left(\frac{350 \cdot 1,12}{30^{0,2}}\right)^{-0,15} \cdot 4,8^1 \cdot 0,71 \cdot 3,14 \cdot 83,4 \cdot 406}} = 0,33 \text{ мм/об}$$

В якості технологічної розрахункової подачі приймаємо  $S_{Tr} = 0,33 \text{ мм/об}$ . Коригуємо значення  $S_{Tr}$  по верстата. В якості технологічної подачі приймаємо  $S_T=0,33\text{мм/об}$ .

Знаходимо число обертів допускаються потужністю верстата по формулі

$$n_{M.C} = \sqrt[1+npz]{\frac{N_y \cdot \eta \cdot 60 \cdot 1020}{10 \cdot c_{pz} \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot \left(\frac{\pi \cdot D}{1000}\right)^{1+npz} \cdot k_{pz}}}$$

$$n_{M.C} = \sqrt[0,85]{\frac{4,6 \cdot 0,9 \cdot 60 \cdot 1020}{10 \cdot 300 \cdot 4,8^1 \cdot 0,33^{0,75} \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 83,4}{1000}\right)^{0,85} \cdot 0,71}} = 406 \text{ об/хв}$$



Коригуємо  $n_{м.с}$  значення по верстата і приймаємо в якості дійсного числа оборотів з урахуванням виконання умови 5% –  $n=399$  об/хв

9. Визначаємо фактичну швидкість різання за формулою:

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

$$V = \frac{3,14 \cdot 83,4 \cdot 399}{1000} = 104,5 \text{ м/хв};$$

10. Знаходимо силу різання по формулі:

$$P_z = 10 \cdot c_{pz} \cdot t^{xpz} \cdot S^{ypz} \cdot V^{npz} \cdot K_{pz}$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 4,8 \cdot 0,33^{0,75} \cdot 104,5^{-0,15} \cdot 0,71 = 2189 = 218,9 \text{ кН};$$

11. Розраховуємо потужність різання за формулою:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{60 \cdot 1020};$$

$$N_p = \frac{218,9 \cdot 104,5}{60 \cdot 1020} = 0,37 \text{ кВт.}$$

12. Визначаємо коефіцієнт використання верстата по потужності:

$$K_N = \frac{N_p}{N_{\text{э}} \cdot \eta} = \frac{0,37}{2,8 \cdot 0,9} = 0,14$$

Оскільки  $K_N \leq 1$ , знайдений режим різання можна реалізувати на верстаті 16Б16А.

Для інших переходів цієї операції вибираємо:

- подачу встановлюємо по [14], далі коригуємо подачу за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну, значення заноситься в таблицю;
- швидкість різання встановлюємо по [14] і заносимо значення в таблицю;
- частоту обертання шпинделя розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{V_i \cdot 1000}{\pi \cdot D_i},$$

де  $V_i$  – швидкість різання;

$D_i$  – діаметр  $i$ -го переходу.

Далі коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання, значення заноситься в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Параметри режиму різання віх переходів операції 010

Номер переходу	Параметри режимів різання					L, мм	T <sub>o</sub> , хв	Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
1	2,1	0,29	430	135	1	5,8	0,38	Табличний
2	4,8	0,33	399	105	1	136,5	1,036	Розрах.
3	2,9	0,14	790	152	1	8,5	0,072	Табличний
4	4,6	0,14	640	142	1	101,5	1,08	Табличний
5	1,8	0,14	790	164	1	10,4	0,13	Табличний
6	1,2	0,14	790	152	1	15	0,31	Табличний
7	2,1	0,29	430	132	1	3	0,38	Табличний
8	4,8	0,33	399	105	1	18,5	0,195	Табличний
9	2,5	0,48	430	122	1	4	0,035	Табличний
10	2,9	0,14	790	152	1	32,3	0,29	Табличний
11	1,2	0,14	790	152	1	13,5	0,22	Табличний
12	1,2	0,14	790	164	1	10,4	0,11	Табличний

Розрахунок режимів різання для операції 020 вертикально-фрезерної

Вибираємо горизонтально-фрезерний верстат моделі 6Т104. потужність електродвигуна  $N_{эл}=2,2$ кВт, КПД  $\eta=0,75$ .

Число обертів за хвилину: 63 89 125 177 249 351 495 698 984 1388 1957 2800.

Подача стола, мм/хв: 11,2 16 22 32 45 63 89 126 177 251 354 500.

Нарізувана глибина різання дорівнює глибині паза, тобто  $t = 4$  мм.

При фрезеруванні закритого паза розрізняють осьову подачу і подовжню подачу, мм / хв.

Режим різання при осьовому врізанні

Швидкість різання, м / хв,

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot k_v, \quad (2.8)$$

де  $D = 6$  мм – діаметр фрези;

$S_z = 0,006$  мм/хв – осьова подача фрези [1];

$S_z = 0,02$  мм/хв – продольна подача фрези [1];

$B = 6$  мм – ширина фрезерування;

$z = 2$  – кількість зубів фрези;

$T = 60$  хв – період стійкості фрези [1];

$C_v = 12$ ;  $q = 0,3$ ;  $x = 0,3$ ;  $y = 0,25$ ;  $u = 0$ ;  $p = 0$ ;  $m = 0,26$  – [1];

$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}$  – коефіцієнти

$$k_{mv} = k_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv} = \left( \frac{750}{670} \right)^1 = 1,12 \text{ - коефіцієнти [1];}$$

$k_{nv} = 1$  – коефіцієнти, що враховують стан поверхні [1];

$k_{uv} = 1$  – коефіцієнти, що враховують стан інструменту [1]

$$k_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

Режим різання при осьовому різанні

Швидкість різання по формулі:

$$V = \frac{12 \cdot 6^{0,3}}{60^{0,26} \cdot 6^{0,3} \cdot 0,006^{0,25} \cdot 6^0 \cdot 2^0} \cdot 1,12 = 16,66 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання, об/хв

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 16,66}{\pi \cdot 6} = 884 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 984$  об/хв.

Сила різання, Н

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot k_{mp}, \quad (2.9)$$

де  $C_p=68,2$ ;  $x=0,96$ ;  $y=0,72$ ;  $u=1$ ;  $q=0,86$  – коефіцієнти до показників ступенів [1]

$k_{mp}$  – поправочний коефіцієнт на якість оброблюваного матеріалу [1]

$$k_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{670}{750}\right)^{0,75} = 0,92$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6^{0,86} \cdot 0,006^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 2}{6^{0,86} 984^0} \cdot 0,92 = 189,24 \text{ Н}$$

Крутний момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$ , на шпинделі

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{189,24 \cdot 6}{200} = 5,68 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{эл} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{189,24 \cdot 16,66}{1020 \cdot 60} = 0,05 \text{ кВт}$$

Режим різання при поздовжньому фрезеруванні

Швидкість різання, м/хв розраховуємо за формулою:

$$V = \frac{12 \cdot 6^{0,3}}{60^{0,26} \cdot 6^{0,3} \cdot 0,02^{0,25} \cdot 6^0 \cdot 2^0} \cdot 1,26 = 12,33 \text{ м/хв}$$

Частота обертання, об/хв

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 12,33}{\pi \cdot 6} = 654 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 698$  об/хв.

Сила різання, Н розраховується за формулою:

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 6^1 \cdot 2}{6^{0,86} \cdot 698^0} \cdot 0,92 = 450,29 \text{ Н}$$

Обертаючий момент,  $\text{Н} \cdot \text{м}$

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} = \frac{450,29 \cdot 6}{200} = 13,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{эл} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{450,29 \cdot 12,33}{1020 \cdot 60} = 0,09 \text{ кВт.}$$

Розрахунок режимів різання для вертикально-свердлильний операції 025

Вибираємо горизонтально - свердлильний верстат моделі 2М112

Потужність електродвигуна  $N_{\text{эл}}=0,6$  кВт, КПД  $\eta=0,75$ .

Число оборотів шпинделя в хвилину: 450 800 1423 2530 4500.

Подача стола, мм/хв – ручна

Глибина різання

$$t = 0,5D,$$

де  $D$  – діаметр отвору, мм:

$$t_1 = 0,5 \cdot 5,5 = 2,75 \text{ мм}$$

$$t_2 = 0,5 \cdot 9 = 4,5 \text{ мм}$$

Подача

Для діаметра свердла 4-6 мм [1] приймаємо

$$S_1=0,19 \text{ мм/об.}$$

Для діаметра зенкера до 15 мм [1] приймаємо

$$S_2=0,5 \text{ мм/об.}$$

Швидкість різання при свердлінні, м/хв,

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot S_z^y} \cdot k_v,$$

де  $S_z$  - подача свердла [1];

$T=25$  хв – період стойкості свердла [1];

$C_v=7$ ;  $q=0,4$ ;  $y=0,7$ ;  $m=0,2$ – [1];

$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}$  - поправочний коефіцієнт:

$$k_{mv} = k_r \left( \frac{750}{\sigma_B} \right)^{nv} = \left( \frac{750}{670} \right)^{0,9} = 1,12 \text{ - поправочний коефіцієнт [1];}$$

$k_{nv}=1$  – поправочний коефіцієнт [1]

$k_{uv}=1$  – поправочний коефіцієнт [1]

$$k_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

$$V = \frac{12 \cdot 5,5^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 0,19^{0,7}} \cdot 1,12 = 39,9 \text{ м/хв.}$$

Швидкість різання для розсвердлювання отвору, м/хв,

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot k_v$$

де  $S=0,5$  мм/хв – подача при цикуванні;

$T=25$  хв – період стійкості при свердлінні;

$C_v=16,2$ ;  $q=0,4$ ;  $x=0,2$ ;  $y=0,5$ ;  $u=0$ ;  $m=0,2$  – [1];

$k_v = k_{mv} \cdot k_{nv} \cdot k_{uv}$  - поправочний коефіцієнт

$k_{mv} = k_r \left(\frac{750}{\sigma_B}\right)^{nv} = \left(\frac{750}{670}\right)^{0,9} = 1,12$  - поправочний коефіцієнт [1]

$k_{nv}=1$  – поправочний коефіцієнт [1]

$k_{uv}=1$  – поправочний коефіцієнт [1]

$$k_v = 1,12 \cdot 1 \cdot 1 = 1,12$$

$$V = \frac{16,2 \cdot 9^{0,4}}{25^{0,2} \cdot 4,5^{0,2} \cdot 0,5^{0,5}} \cdot 1,12 = 28,99 \text{ м/хв.}$$

Частота обертання, об/хв

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

При свердлінні

$$n = \frac{1000 \cdot 39,9}{\pi \cdot 5,5} = 2310 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 2530$  об/хв.

При циковці

$$n = \frac{1000 \cdot 28,99}{\pi \cdot 9} = 1026 \text{ об/хв.}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання  $n_d = 800$  об/хв.

Сила резання , Н:

При свердлінні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot k_p,$$

де  $C_p=68$ ;  $x=0$ ;  $y=0,7$ ;  $q=1$  – коефіцієнт і показники ступеня у формулі осьової сили [1].

$$k_p = \left(\frac{\sigma_B}{750}\right)^n = \left(\frac{670}{750}\right)^{0,75} = 0,92$$

$$P_0 = 10 \cdot 68 \cdot 5,5^1 \cdot 0,19^{0,7} \cdot 0,92 = 1075,9 \text{ Н}$$

при розсвердлюванні:

$$P_0 = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot k_p,$$

де  $C_p = 67$ ;  $y = 0,65$ ;  $q = 0$ ;  $x = 1,2$  – коефіцієнт і показники ступеня у формулі осьової сили;

$$P_0 = 10 \cdot 67 \cdot 1,75^{1,2} \cdot 0,5^{0,62} \cdot 0,92 = 784,2 \text{ Н}$$

Крутний момент,  $H \cdot m$ , на шпинделі:

При свердлінні:

$$M = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot k_p, H \cdot i$$

де  $C_M = 0,0345$ ;  $x = -$ ;  $y = 0,9$ ;  $q = 2$  – коефіцієнт и показатели степени в формуле крутящего момента [1]

$$M = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5,5^2 \cdot 0,19^{0,9} \cdot 0,92 = 2,15 \text{ Нм}$$

при розсвердлюванні:

$$M = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot k_p,$$

де  $C_M = 0,09$ ;  $x = 0,9$ ;  $y = 0,8$ ;  $q = 1$  – коефіцієнт и показатели степени в формуле крутящего момента [1]

$$M = 10 \cdot 0,09 \cdot 9^1 \cdot 4,5^{0,9} \cdot 0,5^{0,8} \cdot 0,92 = 7,06 \text{ Нм}$$

Потужність різання, кВт

$$N_{эл} = \frac{M \cdot n}{9750},$$

При свердлінні

$$N_{эл} = \frac{2,14 \cdot 2530}{9750} = 0,55 \text{ кВт}$$

при розсвердлюванні

$$N_{эл} = \frac{7,06 \cdot 800}{9750} = 0,57 \text{ кВт}$$

## 2.8 Проектування засобів технологічного оснащення

Проектування верстатного пристрою для фрезерної операції

Обґрунтування необхідності створення пристрою: згідно з існуючим технологічним процесом, заготовка обробляється на універсальному обладнанні, де вона фіксується у призмі з ручним приводом. На цій операції працює верстатник шостого розряду.

Використання спеціального пристрою з механізованим приводом має такі переваги:

- зниження кваліфікаційних вимог до оператора (розряд може бути зменшений);
- зменшення трудомісткості процесу обробки;
- підвищення точності та стабільності параметрів, що забезпечуються операцією.

Вибір системи пристрою: для даної операції доцільно застосувати спеціалізований пристрій, який:

- забезпечує надійне закріплення заготовки під час обробки;
- оснащений механізованим приводом для автоматизації процесу фіксації;
- адаптований до використання на універсальному обладнанні.

Такий пристрій дозволить оптимізувати виробничий процес, зменшити вплив людського фактора на точність та якість обробки, а також знизити загальні виробничі витрати.

На даній операції утворюється шпонковий паз розмірами 6x4x18.

Точність розміру 18 мм – довжина паза, на кресленні не вказується, точність визначаємо по технічних вимогах – IT12. Числове значення допуску на цей розмір визначаємо по ГОСТ 25346-82 –  $T_{18} = 180$  мкм.

Точність розміру 18 мм – довжина паза, на кресленні не вказується, точність визначаємо по технічних вимогах – IT12. Числове значення допуску на цей розмір визначаємо по ГОСТ 25346-82 –  $T_6 = 120$  мкм.

Точність розміру 6 мм – ширина паза, так само на кресленні не вказується, точність визначаємо по квалитету – IT12. Числове значення допуску на цей розмір визначаємо по ГОСТ 25346-82 –  $T_4 = 120$  мкм.



Точність форми. Спотворення форми паза характеризується відхиленням від площинності. Допуск площинності на кресленні і в технічних вимогах не вказано, значить його величина повинна знаходитися в межах допуску номінального розміру – довжина більшої сторони паза – 18 мм; а саме  $0,6 \cdot T_{18} = 0,6 \cdot 180 = 108$  мкм. За ГОСТ 24643-81 визначаємо допуск площинності – 100 мкм, що відповідає 13-й ступеня точності.

Допуск паралельності на кресленні і в технічних вимогах не вказано, але повинна знаходитися в межах допуску на розмір 6 мм, а саме  $0,6 \cdot T_6 = 0,6 \cdot 120 = 72$  мкм. За ГОСТ 24643-81 визначаємо допуск паралельно – 60 мкм, що відповідає 12-й ступеня точності.

Шорсткість поверхонь вказано на кресленні, приймаємо шорсткість -  $R_a = 3,2$  мкм по ГОСТ 2789-73.

З'ясування кількісних і якісних даних про заготовку, що надходить на операцію.

На дану операцію заготовка надходить попередньо обробленої з припуском 0,1 мм на сторону. Поверхня  $\varnothing 80_{k6}$  надходить так само з припуском 0,1 мм. Маса заготовки – 2,2 кг. Матеріал – сталь 40Х ГОСТ4543-71. Заготовка являє собою тіло обертання, в цілому жорстка, оброблюваність цілком задовільна. Є досить розвинені поверхні, прийняті за базові. До яких можна віднести циліндричну поверхню ( $\varnothing 80,2$ ) і правий торець. Уточнимо точності параметри поверхонь, які можуть бути базовими.

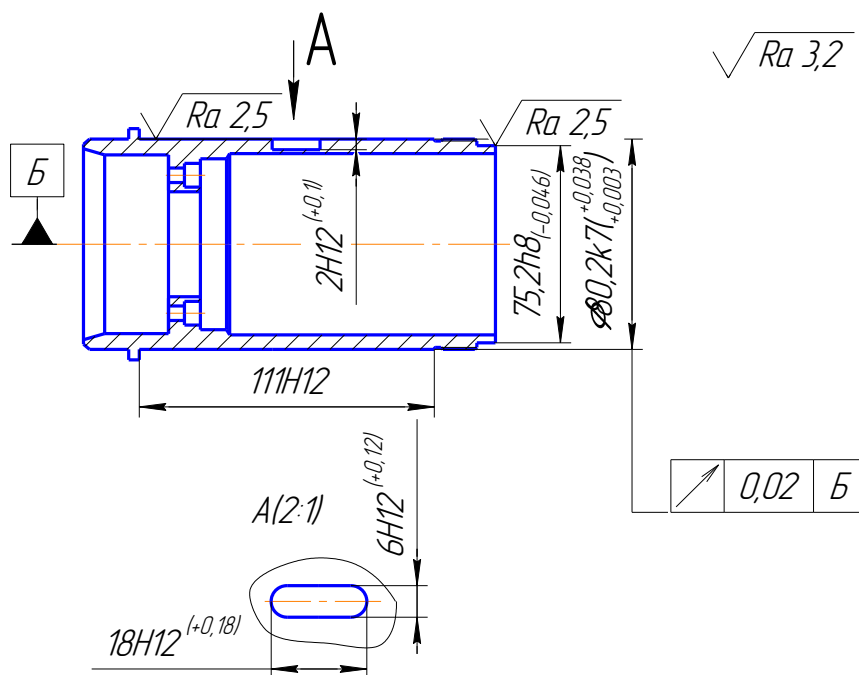


Рисунок 2.12 – Операційний ескіз

Точність Розташування поверхонь.

Діаметр зовнішньої циліндричної поверхні після чистового точіння дорівнює 80,2 мм, так як на кресленні проставлено значення і точність цього діаметра після кругло-шліфувальної операції –  $\varnothing 80k6$ , після чистового точіння допуск діаметрального розміру –  $\varnothing 80,2$  буде по квалитету k7 – допуск 35 мкм по ГОСТ 25346-82, це дозволяє виконати розмір паза – 4 мм без похибки.

Розмір 75,2 мм – торцевої поверхні, отриманий після чистового точіння. Він має квалітет h8, допуск визначається по ГОСТ 25346-82 -  $T_{75,2} = 46$  мкм.

Відношення  $L/d = 111/80,2 = 1,38 \geq 1$ . Це дозволяє використовувати її в якості технологічної бази – подвійної направляючої.

Точність форми.

Оскільки допуск циліндричної і круглості не обумовлено в технічних вимогах і в кресленні, то він може бути встановлений в межах допуску на розмір, а саме  $0,3 \cdot T_{80,2} = 0,3 \cdot 35 = 11$  мкм. За ГОСТ 25643-81 допуск дорівнює 10 мкм, що відповідає 6-го ступеня точності.

Відхилення від площинності торця не вказується на кресленні і в технічних вимогах. Так само встановлюється –  $0,3 \cdot T_{75,2} = 0,3 \cdot 46 = 13,8$  мкм. За ГОСТ 25643-8, допуск дорівнює 12 мкм, що відповідає 7 ступеню точності.

Розробка і обґрунтування схеми закріплення.

Вибір головної базової поверхні

З усього комплексу поверхонь, що утворюють заготовку, на головну базову поверхню може претендувати тільки одна –  $\varnothing 80,2$  мм. Вона оброблена з точністю IT7,  $T_{80,2} = 35$  мкм. Ставлення довжини до діаметру 1,38, шорсткість поверхні Ra = 2,5 мкм. Застосування цієї поверхні в якості базової не перешкоджає доступу інструментів до оброблюваних поверхонь.

Циліндрична поверхня  $\varnothing 80,2k7$ , буде прийнятої в якості головної базової, позбавляє заготовку чотирьох ступенів свободи, тобто є подвійний направляючої.

Вибір опорної бази

Функції опорної бази в рівній мірі можуть виконувати два торця.

Визначимо похибка базування за першим варіантом.

Похибка базування виглядає наступним чином:

$$T_{155} = 400 \text{ мкм (за ГОСТ 25346-82); } E_{\sigma 66} = T_{155} = 400 \text{ мкм}$$

Похибка базування  $E_{\sigma 66}$  значно перевершує допуск на  $T_{66} = 300$  мкм, що не допустимо.

Визначимо похибка базування на точності параметри за другим варіантом.

$$E_{\sigma 66} = 0 ; T_{66} = 300 \text{ мкм (за ГОСТ 25346-82);}$$

Тут похибка базування  $E_{\sigma 66}$  на розмір 66 мм відсутній. Тому вибираємо другу схему базування.

Точнісні параметри базових поверхонь, визначені у пункті 3, можна порівняти з точносних параметрами оброблюваних, що забезпечує виконання точносних вимог, пред'явлених до обробки.

Остаточо аналіз структури зв'язків зробимо, побудувавши таблицю односторонніх зв'язків.

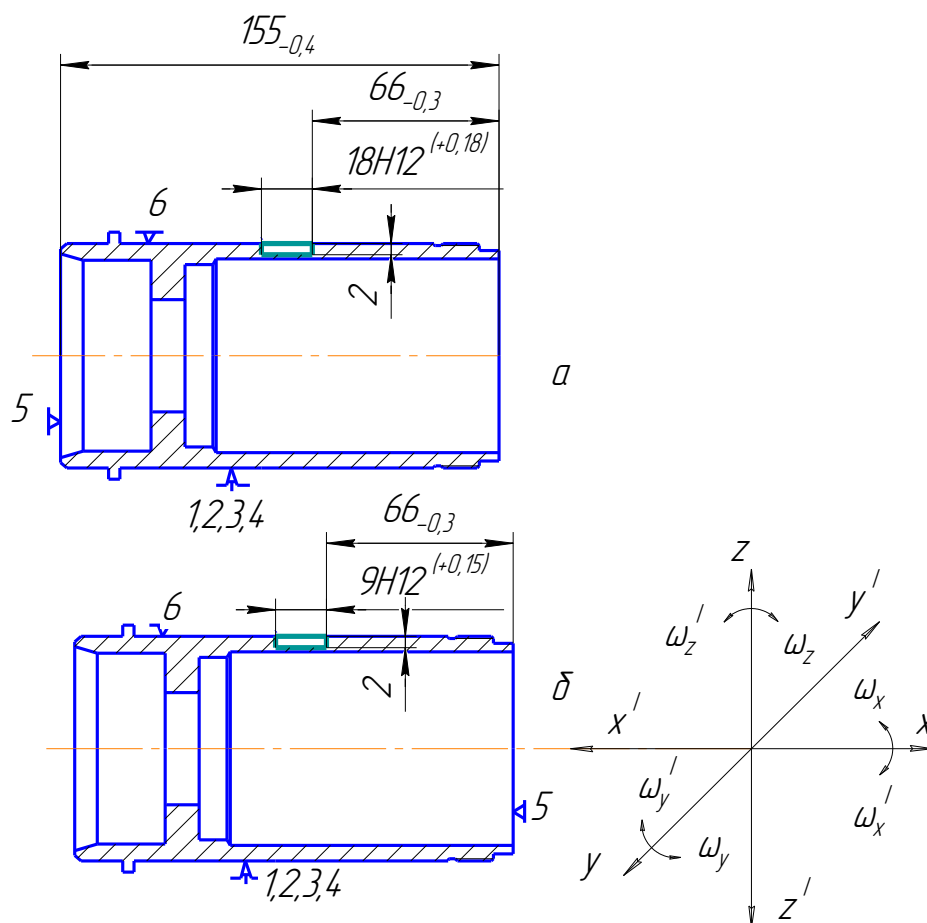


Рисунок 2.13 – Варіанти базування: а – перший варіант;  
б – другий варіант

Таблиця 2.13 – Таблиця односторонніх зв'язків

Індекс зв'язку	x	x'	y	y'	z	z'	$\omega_x$	$\omega_{x'}$	$\omega_y$	$\omega_{y'}$	$\omega_z$	$\omega_{z'}$
Реакція	R		R	R	R	R			R	R	R	R

З таблиці видно, що на заготовку накладено дев'ять односторонніх зв'язків.

### Побудова функціональної структури і загального компонентування пристрою

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

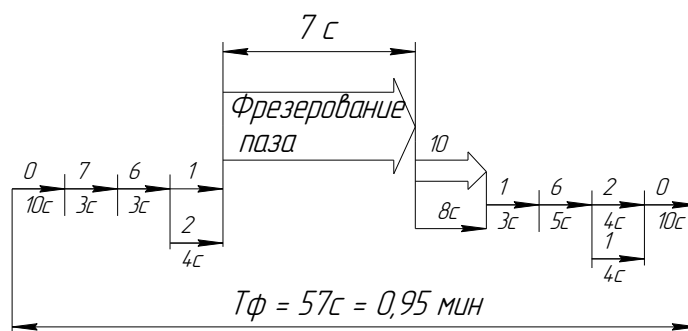


Рисунок 2.14 – Схема послідовної реалізації функцій

Аналіз структури полів сил, що обурюють і полів врівноважують сил.

Для визначення взаємного впливу поля сил, що обурюють і поля призначені врівноважити сил побудуємо графічну модель сил, що обурюють у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування.

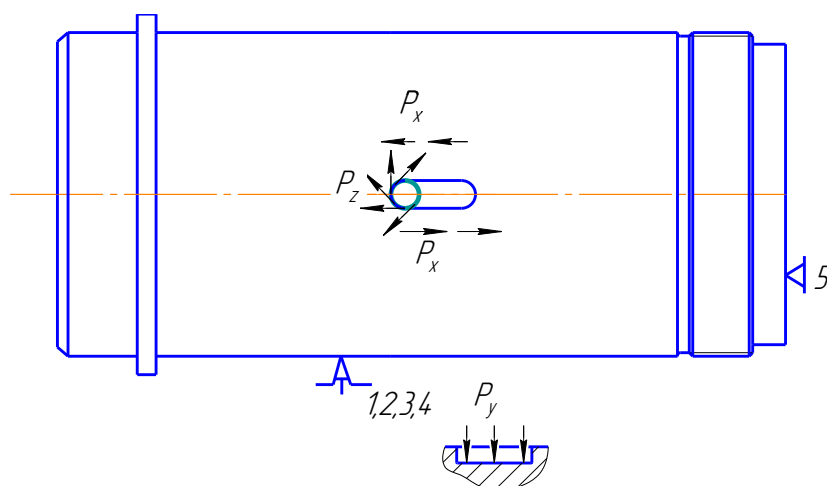


Рисунок 2.15 – Структура поля сил, що обурюють за складовими  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$

З рисунка 2.15 видно, що складова  $P_x$  поля сил, що обурюють врівноважується реакцією  $R_x$ . Решта складових поля сил, що обурюють неврівноважені і вимагають програми додаткових сил закріплення. При такій схемі базування слід визнати раціональним застосування призм, які створять поле врівноважують сил, що представлене на рисунку.

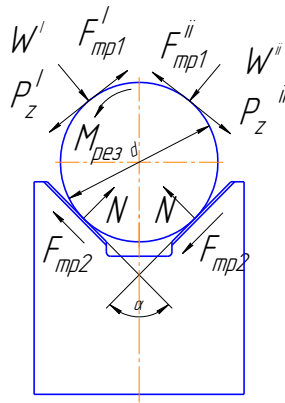


Рисунок 2.18 – Структура поля призначені врівноважити сил, створювана затискним механізмом

Величину сумарного зусилля закріплення необхідно вважати з наступних умов:

- умови непроворота від сили  $P_z$ :

$$W = \frac{\kappa \cdot M_{рез}}{f_1 \cdot r + f_2 \cdot r \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2}},$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт запасу закріплення;  $\kappa = 4$ .

$f$  – коефіцієнт тертя,

$f_1 = 0,25$  – коефіцієнт тертя в місці контакту заготовки з опорами;

$f_2 = 0,7$  – коефіцієнт тертя заготовки з елементами затискного механізму, що має на робочих поверхнях рифлення.

$\alpha = 90^0$  – кут між сторонами призми.

- умови нездвігання заготовки:

$$W = \frac{\kappa \cdot P_x}{f_1 + f_2 \cdot \frac{1}{\sin \alpha/2}},$$

Недоліком прийнятого способу врівноваження є високий рівень енергетичних витрат на закріплення.

Оскільки гідропривід верстата гарантує сталість зусилля закріплення, а вплив неоднорідності шорсткості бази можна знехтувати, то приймаємо похибки закріплення на діаметральні розміри рівні нулю.

У зв'язку з тим, що заготовка досить жорстка, можна не побоюватися відхилень розмірів, форми і розташування її поверхонь при закріпленні в пристрої.

Розрахунок сил закріплення:

$$W = \frac{4 \cdot 13500}{0,25 \cdot 16 + 0,7 \cdot 16 \cdot \frac{1}{\sin \frac{90}{2}}} = 1940 \text{ (Н)}.$$

Перевіряємо умова не зрушення заготовки: при цьому = 0,006 мм/хв – осьова подача фрези

Сила різання різання розрахована в розділі і дорівнює  $P_x = 189,24 \text{ Н}$

Тоді:

$$W = \frac{4 \cdot 189,24}{0,25 + 0,7 \cdot \frac{1}{\sin \frac{90}{2}}} = 1034,6 \text{ (Н)}.$$

Приймаємо більшого значення сили закріплення.

Розрахунок деталі на зріз:

Для розрахунку на зріз приймається деталь-палець  $d10$ . Матеріал деталі - Сталь 40Х. Для того, щоб палець не зрізало, необхідне виконання умова

$$\tau_p \leq [\tau_p]$$

$$[\tau_{cp}] = [0,6 \cdot \sigma]$$

$$\sigma = \frac{\sigma_m}{n} = \frac{520}{3} = 173 \text{ Н/мм}^2,$$

$$[\tau_{cp}] = [0,6 \cdot 173] = 104 \text{ Н/мм}^2$$

$$[\tau_{cp}] = 104 \text{ Н/мм}^2.$$

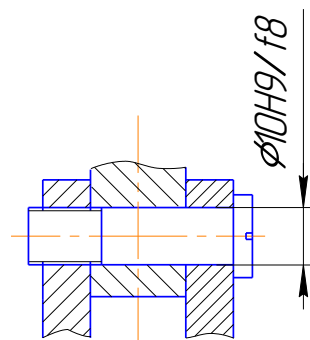


Рисунок 2.18 – Ескіз пальця

З умови міцності пальця на зріз визначимо площа зріза  $S_{cp}$ :

$$\tau_{cp} = \frac{F}{2S_{cp}} \leq [\tau_{cp}]$$

Отримаємо:

$$S_{cp} = \frac{F}{2[\tau_{cp}]} = \frac{1940}{2 \cdot 104} = 9,33 \text{ мм}^2.$$

Визначаємо допустимий діаметр:

$$S_{cp} = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Звідси:

$$d = \sqrt{\frac{4S_{cp}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 9,33}{3,14}} \approx 3,7 \text{ мм}.$$

Так як  $3,7 < 10$ , то дані умови для пальця прийнятні.

Вибір і розрахунок приводу

Визначаємо зусилля на штоку гідроприводу:

$$Q = \frac{a}{b} \cdot W,$$

де:  $a, b$  – передавальні плечі лапи:  $a = 54$  мм,  $b = 36$  мм.

$$Q = \frac{54}{36} \cdot 1940 = 2910 \text{ (Н)}.$$

Визначаємо діаметр поршня гідроциліндра:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P}}$$

де:  $P$  – тиск в гідроциліндрі, приймаємо  $P = 7,5$  МПа;

Тоді:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2910}{3,14 \cdot 7,5 \cdot 10^6}} = 0,022 \text{ м} = 22 \text{ мм}.$$

Приймаємо  $D = 50$  мм – діаметр циліндра,  $d = 25$  мм – діаметр штока

**Точнісні розрахунки пристрою.**



З інформаційної точки зору розрахунки допусків на виготовлення елементів пристрою полягають у перетворенні інформації про точність обробки поверхонь деталі на даній операції в точності вимоги до пристрою.

У нашому випадку до розрахунковим параметрам слід віднести точність взаємного розташування основних і допоміжних конструкторських баз пристрою, зокрема:

1) Для виконання допуску співвісності паза  $T_{\div} = 40$  мкм необхідно забезпечити паралельність направляючих призм, прийнявши при цьому похибка позиціонування рівну  $\varepsilon_{\text{поз}} = 0$  мкм. Так як деталь обробляється без зміни позиції.

$$E_{np} \leq T_{\div} - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot E_{\delta})^2 + E_3^2 + E_y^2 + E_{II}^2 + E_{II}^2 + (K_{T2} \cdot \omega_6)^2 + E_{\text{поз}}^2},$$

де  $K_T = 1,2$  – коефіцієнт, що враховує можливі відступи від нормального розподілу окремих складових;

$K_{T1} = 0,8$  – коефіцієнт, що приймається до уваги, коли похибка базування не дорівнює «0»;

$\varepsilon_{\delta} = 0$  – похибка базування;

$\varepsilon_3 = 0$  мкм – похибка закріплення заготовки з урахуванням неоднорідності бази заготовки;

$\varepsilon_y = 0$  – похибка установки пристрою на верстаті;

$E_{II} = 0$  – похибка перекосу інструменту;

$\varepsilon_{\text{зн}}$  – похибка, що виникає внаслідок зносу настановних елементів визначається за формулою:

$$E_u = \beta \cdot N^n$$

$$E_u = 0,3 \cdot 1600^{0,6} \approx 25 \text{ (мкм)} = 0,025 \text{ (мм)}$$

$\omega_6 = 11$  мкм – середня економічна точність обробки;

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

$E_{\text{поз}} = 0$  мкм – похибка позиціонування.

$$E_{np} = 40 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0)^2 + 0^2 + 25^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 11)^2 + 0^2} = 9 \text{ мкм.};$$

2) Для виконання допуску на розмір глибини паза  $T_{76,2} = 300$  мкм не обходимо забезпечити паралельність установчої бази пристрою з віссю валика. При цьому похибка базування при установці в призмах складе:

$$E_B = \frac{T_{76,2}}{2} \left( \frac{1}{\sin \alpha/2} - 1 \right) = \frac{300}{2} \left( \frac{1}{\sin 90/2} - 1 \right) = 62 \text{ мкм.}$$

$$E_{np} = 300 - 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 62)^2 + 0^2 + 14^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 11)^2 + 0^2} = 233 \text{ мкм.}$$

Опис пристрою и принцип дії пристрою.

Пристрій являє собою призму 2, оснащену двома гідро-циліндрами 1, які кріпляться за допомогою болтів з Т-подібними головками на столі вертикально-фрезерного верстата. Базовою деталлю пристрою є плита 4, на якій за допомогою штифтів 16 і гвинтів 12 з шайбами 14 кріпиться призма 2. Привід пристрою – гідроциліндр 1, кріпиться до плити за допомогою вушка 8, приєднаної до плити гвинтом 11 і штифтом 15. До штоку гідроциліндра 1 приєднаний важіль 3, нерухомий кінець якого закріплений в отворі призми гвинтом. Для забезпечення центрування пристрою на столі верстата є шпонки 9 установчі, які закріплюються гвинтом 10. Для підведення робочої рідини до гідроциліндрів використовується штуцер 6.

Деталь укладається на установчі елементи призми 2. Робочий переводить рукоятку гідророзподільника в положення «вкл». При цьому робоча рідина через штуцер 6 надходить в безштокові порожнину гідроциліндра 1. Шток гідроциліндра переміщається вгору, важіль 3 повертається навколо гвинта спеціального і затискає деталь. Потім проводиться механічна обробка деталі.

При розкріплення деталі робочий переводить рукоятку гідророзподільника в положення «викл». Під дією пружини вмонтованою в гідроциліндр 1 шток гідроциліндра опускається вниз, переміщаючи важіль 3 в неробочий стан. За допомогою підйомного пристрою ротор знімається з верстатного пристрою.

## 2.9 Висновки

З метою підвищення ефективності виробництва деталі "корпус" було проведено комплекс заходів, спрямованих на оптимізацію технологічного процесу. Для

зниження собівартості було прийнято рішення про використання штампованої заготовки замість кованої.

Був проведений ретельний аналіз існуючих технологічних операцій та розроблено нові, більш ефективні рішення. Зокрема, було змінено послідовність операцій, модернізовано обладнання та розроблено спеціальний верстатний пристрій для фрезерування.

Для забезпечення високої точності обробки було виконано детальний аналіз схем базування та закріплення заготовки, а також розраховано оптимальні режими різання. Результати дослідження були узагальнені у вигляді комплекту технологічної документації, необхідної для організації виробництва.

## РОЗДІЛ 3 НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 3.1. Розроблення 3D – моделі конструкції верстатного пристрою та його інженерний аналіз

Для виконання розрахунків чисельного моделювання на першому етапі була виконана побудова 3D – моделі верстатного пристрою разом із деталлю (рис. 3.1).

Дослідження напружено-деформованого стану (НДС) виконувалось типу для визначення розмірів ВП, які будуть задовольняти всім точнісним параметрам для обробки деталі. При цьому визначались похибки при типовій обробці, що виникають у результаті деформацій елементів ВП, та виконувалось типowo для порівняння їх з допустимими значеннями на відповідній операції механічної обробки для деталі вал. Допустимі значення похибок обмежуються допусками на виготовлення пазів згідно з кресленням деталі «Втулка». Також дослідження НДС верстатного пристрою передбачає перевірку на міцність, виявлення концентраторів напружень та елементів, де напруження більші, ніж допустимі для конкретного матеріалу, та при їх наявності удосконалення конструкції. 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 типова контактна задача. Механічні властивості матеріалів, які використовуються у моделі, наведено у табл. 3.1.

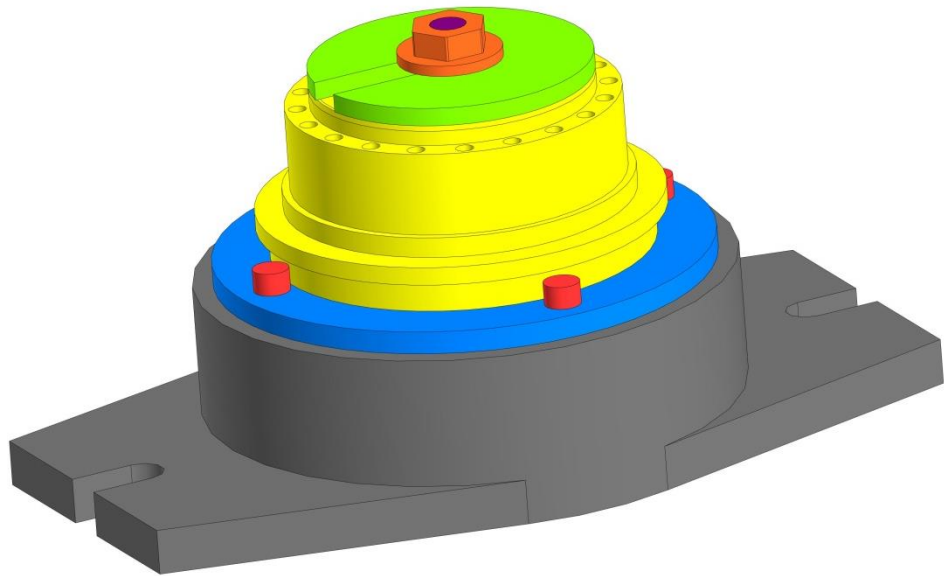


Рисунок 3.1 – Спроектований верстатний пристрій із деталлю

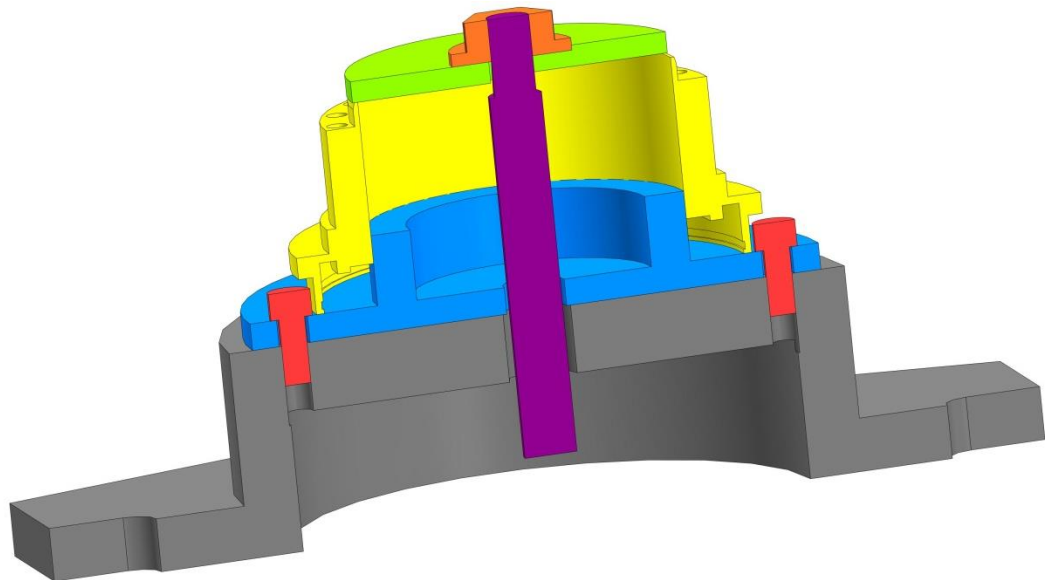


Рисунок 3.2 – Спроектований верстатний пристрій із деталлю у розрізі

Таблиця 3.1 – Механічні властивості матеріалів заготовки та елементів ВП

Матеріал	Модуль пружності $E$ , ГПа	Коефіцієнт Пуассона $\mu$	Густина $\rho$ , $\text{кг/м}^3$	Границя міцності при розтягуванні $[\sigma_{\text{раст}}]$ , ГПа	Границя міцності при стисненні $[\sigma_{\text{ож}}]$ , ГПа	Границя текучості $\sigma_T$ , ГПа
Сталь 45 ДСТУ 1050-2016	200	0,3	7850	0,950	0,950	0,726

Першим етапом при вирішенні вищевказаних задач згідно оптимізаційного алгоритму було розроблення скінченноелементної розрахункової моделі ВП і заготовки. Кінематичні та силові граничні умови моделі верстатів типових відповідають реальним схемам закріплення із зовнішнім навантаженням та задавалися жорстким закріпленням по нижній поверхні основи пристрою, що еквівалентно встановленню ВП типових на стіл верстата. Усі елементи ВП типових жорстко зв'язані між собою шляхом об'єднання вузлів, а на поверхнях, які зв'язані одна з одною за рахунок дії сил тертя, встановлена можливість переміщення з відповідним коефіцієнтом тертя між цими поверхнями. Можливі переміщення елементів ВП типових із зазначенням типу контактів і характеристик контактних пар, а також коефіцієнтів тертя між елементами.

За допомогою розрахункового комплексу ANSYS отримані результати переміщень та напружень, що виникають у конкретних деталях та в місцях їх контакту. Як приклад, ілюстрації зі скінченно елементною сіткою, розрахунковими схемами навантажень, переміщеннями та напруженнями при обробці наведені на рис. 3.2 – 3.9. Для більш повного аналізу величини переміщень представлені ілюстрації переміщень за осями координат, де діють максимальні навантаження під час оброблення, що дає більш повне уявлення про характер зміни положення елементів ВП та впливу на точність.

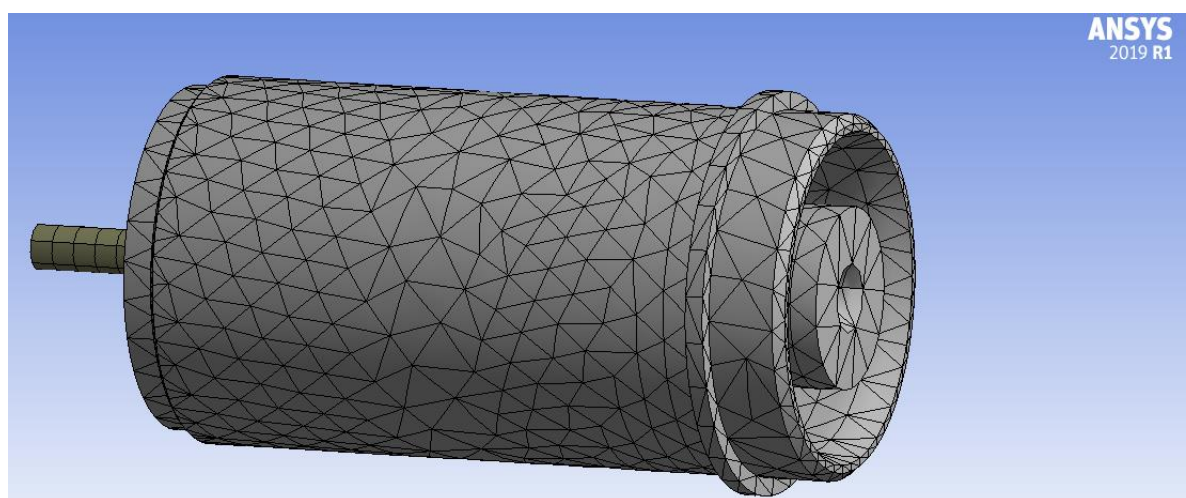


Рисунок 3.3 – Верстатний пристрій зі скінченно елементною сіткою

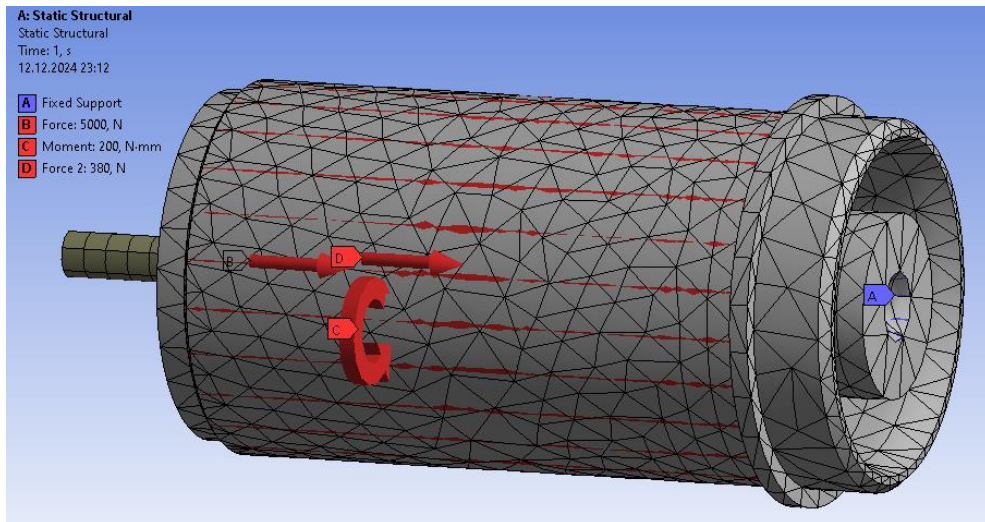


Рисунок 3.4 – Верстатний пристрій з навантаженнями та скінчено елементною сіткою

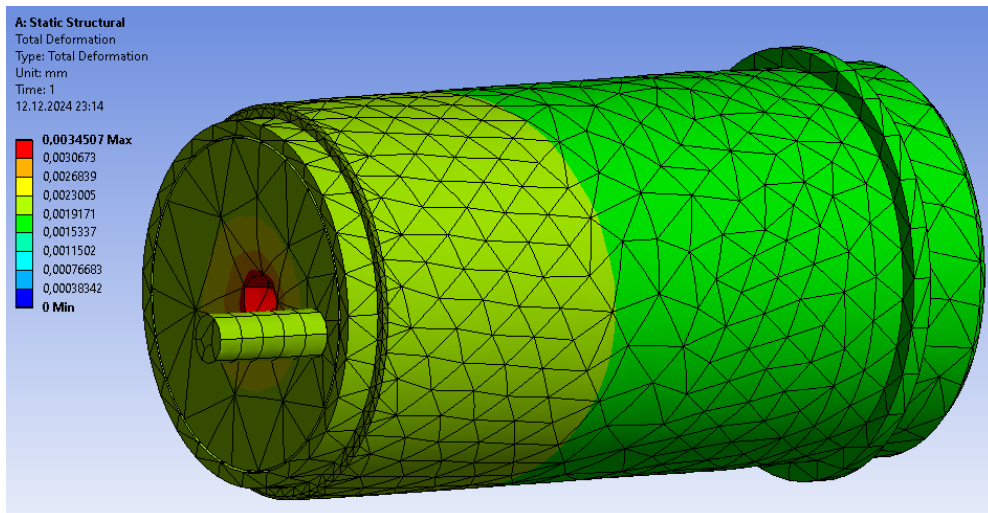


Рисунок 3.5 – Загальні переміщення

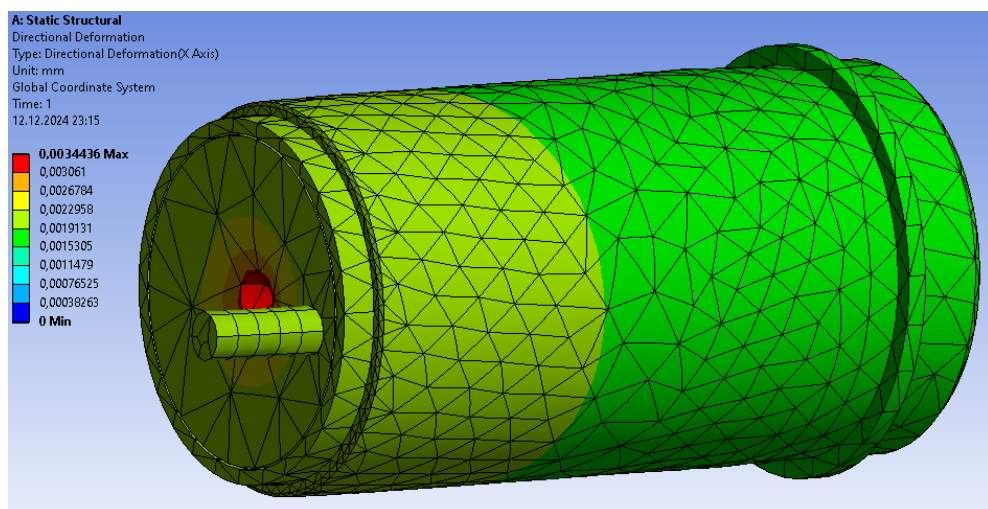


Рисунок 3.6 – Переміщення по осі X

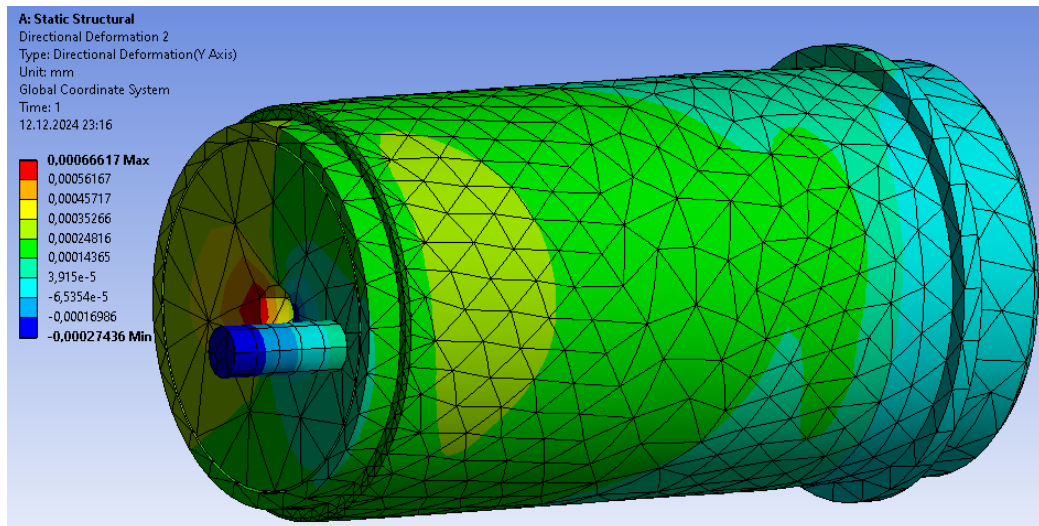


Рисунок 3.7 – Переміщення по осі Y

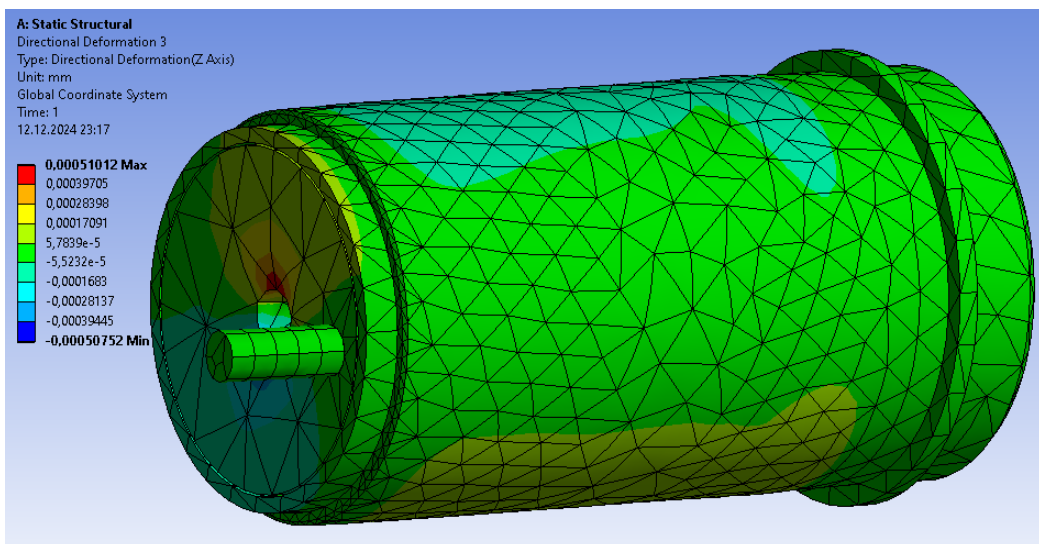


Рисунок 3.6 – Переміщення по осі Z

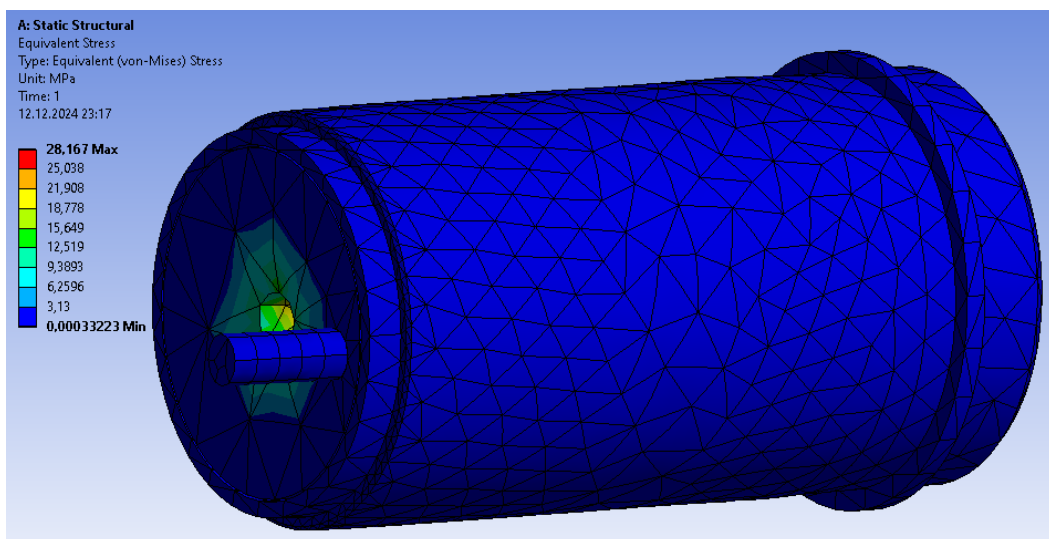


Рисунок 3.7 – Напруження у верстатному пристрої



Таблиця 3.2 – Результати чисельного моделювання у програмному комплексі ANSYS для розробленого верстатного пристрою

Технологічний перехід	Максимальні переміщення в зоні різання, мм	Допустимі переміщення, мм	Максимальні напруження, МПа	Допустимі напруження, МПа
шліфування	0,003	0,01	28	600

### 3.2 Модальний аналіз верстатного пристрою

Для запобігання виникнення явища резонансу в процесі механічного оброблення необхідно, щоб частоти власних коливань елементів типового верстатного пристрою і частота процесу різання не співпадали. Вирішення цієї проблеми полягає у призначенні інших режимів різання. Для цього за допомогою вбудованого модуля Modal Analysis у розрахунковому комплексі ANSYS Workbench визначено частоти власних коливань верстатного пристрою, які порівняно з частотами процесу різання на всіх переходах механічної обробки на фрезерному верстаті.

Результати аналізу дозволяють за необхідності відлаштуватися від резонансу (табл. 3.3). При розрахунках усі елементи верстатного пристрою зв'язувались між собою шляхом об'єднання вузлів. Для деяких поверхонь елементів верстатного пристрою передбачено можливість відносного переміщення аналогічно із дослідженнями НДС. Як приклад форми коливань представлені на рис. 3.8-3.13. Досліджено перших шість частот, адже вони є найбільш небезпечними.

Із табл. 3.3 видно, що для розробленого пристосування резонансу не виникає, оскільки перша критична частота власних коливань 481 вища за максимальну частоту процесу різання 68 Гц.

Таблиця 3.3 – Порівняльна таблиця власних частот, які виникають у процесі механічного оброблення

1-ша критична частота, Гц	2-га критична частота, Гц	3-я критична частота, Гц	Частота процесу шліфування, Гц
481	483	1235	
4-а критична частота, Гц	5-а критична частота, Гц	6-а критична частота, Гц	
4092	4105	6176	68

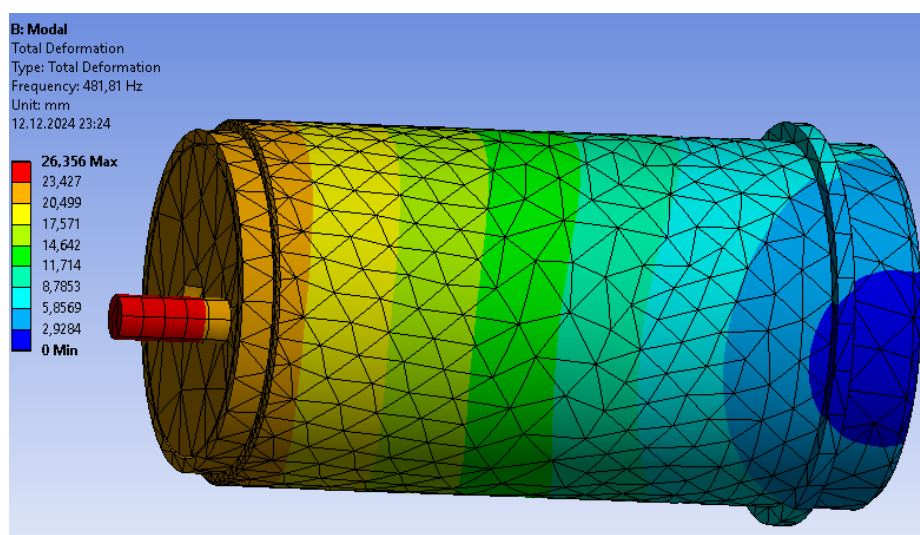


Рисунок 3.8 – Ілюстрація 1-шої частоти

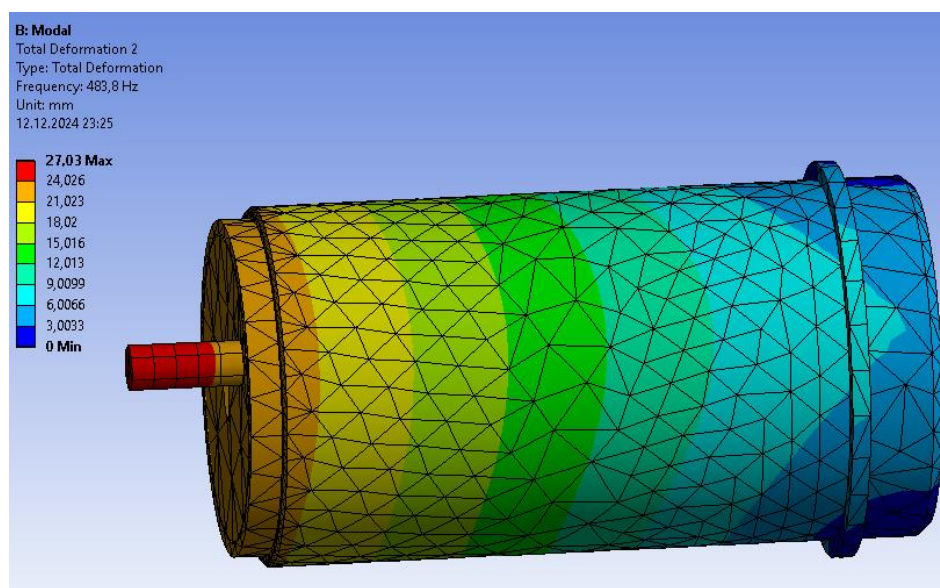


Рисунок 3.9 – Ілюстрація 2-ї частоти

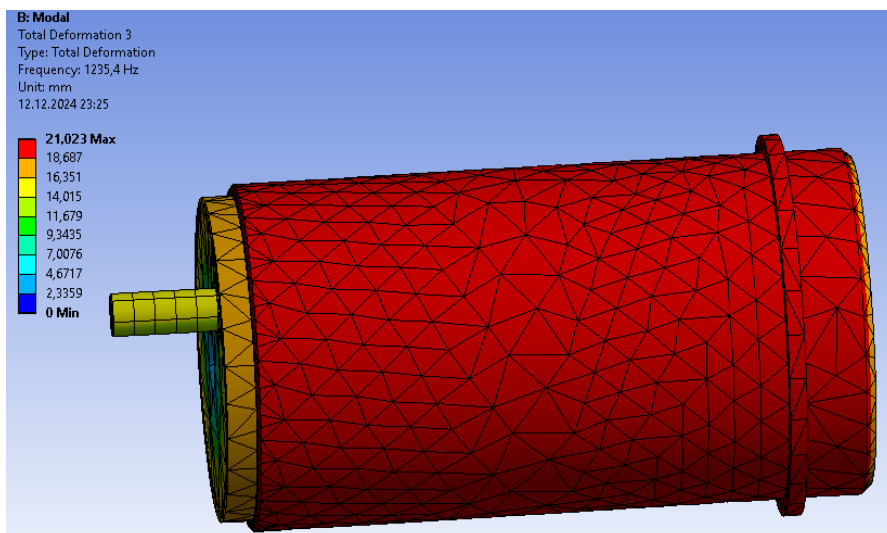


Рисунок 3.10 – Ілюстрація 3-ї частоти

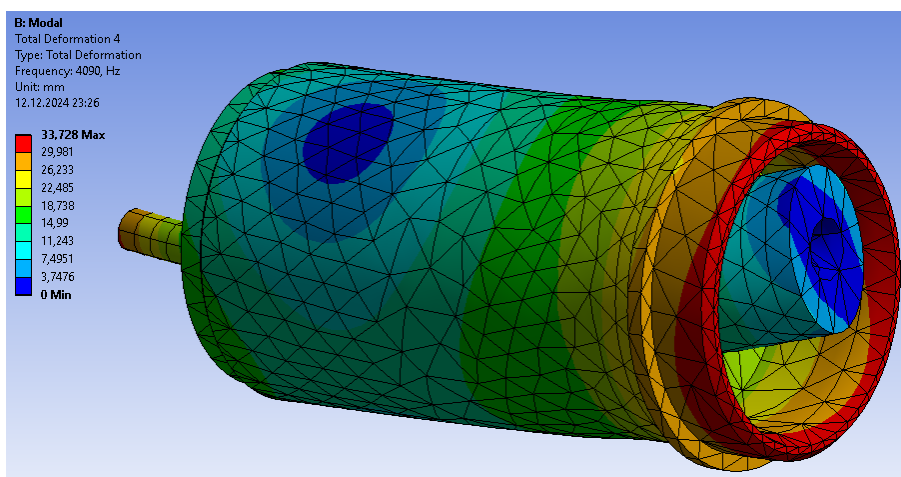


Рисунок 3.11 – Ілюстрація 4-ї частоти

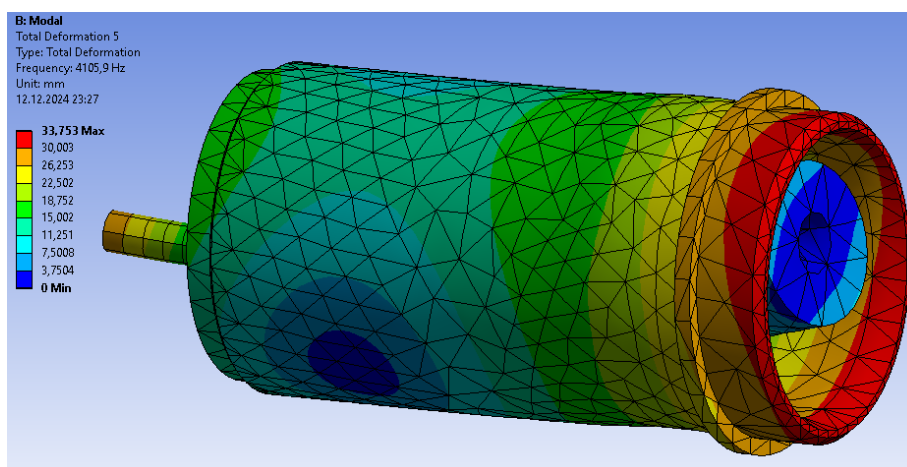


Рисунок 3.12 – Ілюстрація 5-ї частоти

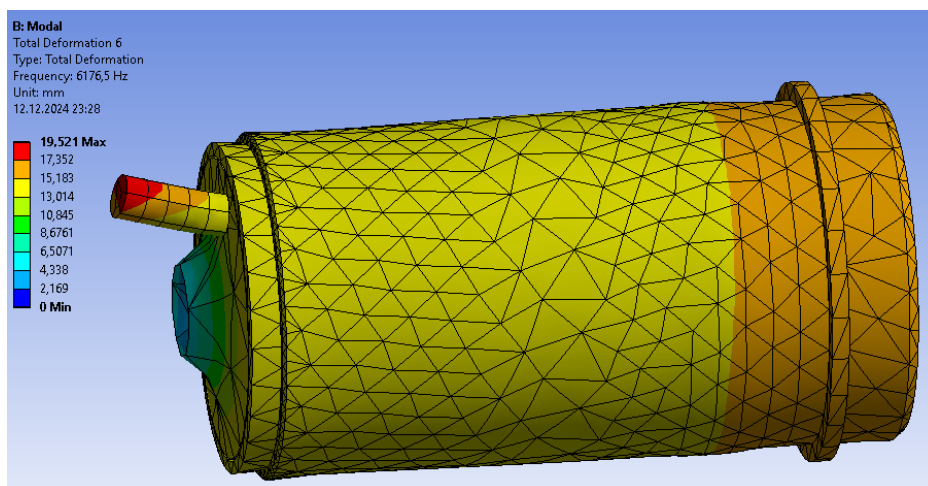


Рисунок 3.13 – Ілюстрація 6-ї частоти

Також із отриманих значень форм коливань 1-ї та 2-ї, 5-ї та 6-ї частоти та їх величини та картини коливань, а також переміщень при цьому відповідно дуже близькі за значеннями, отже це є доказом того, що розрахунки вірні та модель адекватна. Результати модального аналізу дозволяють висунути гіпотезу, що динамічна жорсткість розробленого пристосування є та буде достатньою для проведення механічного оброблення без виникнення резонансних режимів.

### 3.3 Висновок

1. Виконано кількісний та якісний аналіз свердлильної операції, що дозволило перейти до проектування удосконаленого ВП пневматичної дії.
2. Базуючись на алгоритмах та рекомендаціях, щодо проектування та оптимізації ВП сконструйовано пристрій для свердлильної операції, 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, що у прихваті можна зробити вікно, яке не вплине на міцність, але зменшить масу ВП, тому дане вікно перенесено на його креслення. Максимальні напруження та переміщення не перевищують допустимих значень.
4. Встановлено, що резонансу у ВП не виникне, тому даний ВП можна використовувати для отримання необхідної точності і продуктивності.

## ВИСНОВКИ

Тема магістерської кваліфікаційної роботи – удосконалення технологічного процесу виготовлення втулки Н117.300.000.07 шляхом інтенсифікації фінішної операції.

У ході виконання кваліфікаційної роботи магістра було виконано наступний обсяг робіт:

- аналіз первинної інформації, який включав у себе характеристику і особливості машини, вузла, деталі, технічні вимоги до неї, визначення типу виробництва, розрахунок технологічності та огляд базового технологічного процесу з виявленням недоліків та постановкою завдання на удосконалення;

- виконано удосконалення базового технологічного процесу виготовлення деталі в частині підбору оптимального маршруту оброблення, розрахунку первинної заготовки за техніко-економічними показниками, призначено схеми базування, які забезпечують мінімальні похибки та дотримання розмірів на аналізовану операцію, для якої також підбрані сучасні металорізальні верстати, різальний та вимірювальний інструменти, та розраховані режими оброблення;

- для аналізованої операції за класичними методиками розрахунку спроектовано верстаний пристрій для круглошліфувальної операції технологічного процесу.

У результаті в існуючий технологічний процес виготовлення деталі та внесено зміни спрямовані на його вдосконалення, а саме змінена послідовність операцій, замінено універсальне устаткування на обладнання з ЧПК. В якості заготовки було прийнято поковка та спроектований верстатний пристрій гідравлічної дії і до цієї ж операції розроблена карта операційного налагодження.

У науковому дослідженні розглянуті питання проектування верстатного пристрою для ефективноної обробки зовнішніх поверхонь шліфуванням. Визначені максимальні напруження, переміщення, та частоти коливань запропонованого верстатного пристрою та встановлено, що резонанс не виникне.

Також у роботі магістра розглянуто питання та виконаний розрахунок з розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у додатку.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посіб. / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко. – Київ: НУХТ, 2018. – 195 с.
2. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
3. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів : підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів : Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.
4. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 123 с.
5. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.
6. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102с.
7. Паливода Ю. Є. Технологія оброблення корпусних деталей : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла, Ів. Б. Гевко. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 156 с.

8. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення важелів та вилок : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ , 2013. – 56 с.

9. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення валів : навчальний посібник / Ю. Є. Паливода, І. Г. Ткаченко, Ю. Б. Капаціла. – Тернопіль : ТНТУ , 2016. – 198 с.

10. Паливода Ю. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві : навчально-методичний посібник / Паливода Ю.Є., Дячун А.Є. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2023. – 148 с.

11. Паливода Ю.Є. Технологія оброблення зубчастих коліс : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» галузі знань 13 «Механічна інженерія» / укладачі : Ю. Є. Паливода, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – 136 с.

12. Паливода, Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки : навчально-методичний посібник / Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Р. Я. Лещук. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2019. – 240 с.

13. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с.

14. Паливода Ю. Є. Розмірні ланцюги : навчально-методичний посібник / укладачі : Ю. Є. Паливода, А. Є. Дячун, Ю. Б. Капаціла, І. Г. Ткаченко. – Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 132 с.

15. Технології формоутворення сучасних складнопрофільних деталей [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» спеціалізацій «Технології виготовлення літальних апаратів», «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 380 с.