

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Сумський державний університет

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ *Віталій ІВАНОВ*

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**Удосконалення технологічного процесу виготовлення  
Вала Н12.178.34.01 шляхом модернізації верстатного пристрою  
для токарної обробки**

Кваліфікаційна робота (проект) магістра

Спеціальність – 131 «Прикладна механіка»

Освітня програма – «Технології машинобудування»

Студент

*Євген ОСТАПЕНКО*

Керівник

*Анна НЕШТА*

Нормоконтроль

*Олександр ІВЧЕНКО*

Суми – 2021

## ЗМІСТ

Вступ .....	3
Розділ 1 Аналіз технологічного процесу виготовлення деталі «Вал Н12.178.34.01».....	5
1.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації.....	5
1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі .....	10
1.3 Визначення типу виробництва, такту випуску та партії запуску .....	12
1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі .....	14
1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу .....	18
РОЗДІЛ 2 ВДОСКОНАЛЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛУ .....	20
2.1 Вибір способу отримання заготовки та розробка технічних вимог до неї.....	20
2.2 Розрахунок припусків на механічну обробку .....	23
2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення.....	25
2.4 Складання технологічного процесу .....	31
2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів .....	32
2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів.....	34
2.7 Розрахунки режимів різання.....	34
2.8 Проектування верстатного пристрою .....	42
2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою .....	56
РОЗДІЛ 3 .....	59
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ 3.1. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ОСНАСТКОВОГО ПРИСТРОЮ.....	59
НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ 3.2. МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЧАСТОТВЛАСНИХ КОЛИВАНЬ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ .....	63
3.2.1 Модальний аналіз.....	63
3.2.2 Модальний аналіз КВП .....	65
Висновки .....	68
Висновки .....	69
Перелік джерел посилання.....	70

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** В сучасній промисловості досягнена великих успіхів у розвитку машинобудівних верстатів, та технологій обробки матеріалів, за допомогою ІТ-програм, та нового допоміжного оснащення.

На сьогоднішній день основним напрямком в механообробці є розвиток верстатів з ЧПК. Даний вид верстатного устаткування являє собою майже автоматичну систему для виготовлення деталей, в даному типі верстатів покладено основу обробки матеріалів. Так як його системи автоматичного керування досягли високої точності, та виконання складних траєкторій, це дозволяє йому виконувати найскладніші види обробки.

На сьогоднішній день українське машинобудування знаходиться в стані повільного розвитку, більшість підприємств працюють на старих потужностях, лише невелика кількість з них намагається модернізувати та покращити промислову потужність. Дана тенденція має такий характер за рахунок того, що більшість підприємців не мають достатнє фінансування.

Проблема може бути вирішена шляхом допомоги держави, та збільшенням високо-кваліфікованих спеціалістів, які зможуть знайти більш економічні шляхи виробництва.

**Мета роботи:** є покращення технологічного процесу, шляхом прискорення процесу виробництва та підвищення економічної ефективності виготовлення деталі вал Н12.178.34.01, яке базується на застосуванні останніх розробок у галузі машинобудування.

### **Завдання дослідження:**

1. Аналіз технологічного процесу
2. Удосконалення даного технологічного процесу
3. Проектування верстатного пристрою

**Практичне значення отриманих результатів:** при виконанні дослідження отримана раціональний технологічний процес виготовлення деталі «Вал

Н12.178.34.01» та набуто досвід у використанні ANSYS Workbench при дослідженні частот власних коливань вимірювального пристрою.

**Наукова новизна:** удосконалена методика оптимізації компонувань верстатних пристроїв з метою отримання оптимальних параметрів обробки деталі «Вал» на універсальних верстатах та верстатах з ЧПК, при яких дотримуються всі норми виготовлення деталі.

**Особистий внесок здобувача:** результати досліджень, що були проведені отримано отримано здобувачем спільно з науковим керівником роботи.

**Апробація роботи:** немає.

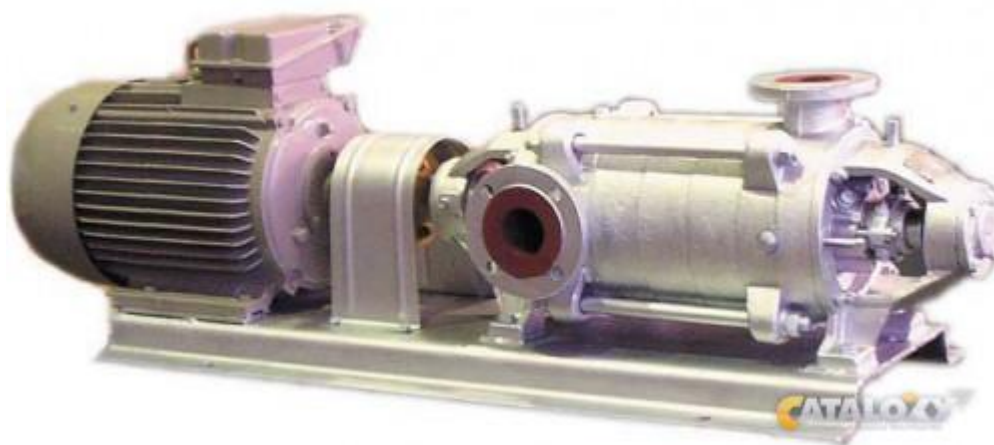
**Публікації:** немає.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ВАЛ Н12.178.34.01»

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

Деталь «Вал», що розглядається, входить до складу компресору повітряного поршневого ЦНР 800-230, рис. 1.1.



Джерело: [www.catalog.com](http://www.catalog.com)

Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд компресору повітряного поршневого  
ВШ-ЦНР 800-230

Система розохолодження у насосі використовується для забезпечення теплорегулювання залишкових тепловиділень активної зони реактора і розохолодження I контуру із заданою швидкістю в режимах планового і аварійного розохолодження і відноситься до захисних систем безпеки АЕС.

Конструкція насосів ЦНР 800-230 типова для відцентрових насосів з робочим колесом двостороннього входу. Спиральний корпус насоса має горизонтальну площину роз'єму, яка ділить його на верхню і нижню частини. Розташування патрубків в нижній частині дозволяє здійснювати розбирання

насоса без його демонтажу. Радіальними опорами ротора є масляні підшипники ковзання, що мають картерів систему мастила.

Вал кріпиться в корпусі. Відносно вала орієнтується корпус підшипника; маслоподаючі кільця; вкладиш радіального підшипника; ротор; ущільнення торцеве; корпус ущільнення; кришка; колесо робоче; кільце ущільнювача; підшипник осьової.

Вал насосу працює для передачі робочого колеса враження від двигуна насосу. Колеса закріплюють на валу з підтримкою шпонок та установочних гайок.

Підшипники, в яких обертається вал насоса, бувають шариковими та ковзаючі тертям із вкладишами. Шарикові підшипники застосовують, як правило, в горизонтальних насосах. У деяких конструкціях підшипників великих насосів попередньо дивляться пристрої для охолодження і примусовій циркуляції масел. При розташуванні підшипникових опор різняться насоси з виносними опорами, викриваються від перекачуваної рідини, а насоси із внутрішніми опорами, в яких підшипники дотикаються з перекачуваною рідиною.

Робота сальників полягає в ущільненні отворів в корпусі насоса, через які проходить вал. Сальник має бути розташований з боку нагнітання тиску рідини та повинен запобігати витоку рідини з насоса, а сальник, що розташований з боку всмоктування рідин, повинен запобігати надходженню повітря в насос.

В ході технічного супроводу ремонтів і експлуатації насосного обладнання поставки підприємств України, що здійснюється фахівцями ОКБМ на Балаковської АЕС, запропоновано шляхи покращення конструкції зазначених насосів. На АЕС на цей момент впроваджені нова конструктивна схема фіксації гайок в вузлі кріплення осьових підшипників і захист поверхонь головного роз'єму корпусу анаеробним герметиком.

Подальший комплексний аналіз режимів експлуатації і результатів ревізії деталей насоса ЦНР 800-230 на АЕС привів до виявлення ряду прихованих недоліків цих насосів, таких як мала надійність і довговічність підшипників і підвищена вібрація. Конструкція підшипникових вузлів насоса не призначена для

частих пусків-зупинок, які є основним режимом роботи при нормальній експлуатації енергоблоку.

Головною проблемою є можливість виходу підшипників з ладу при аварійному запуску і відмова насоса, що неприпустимо для насосів системи безпеки.

Мета глибокої модернізації насоса (рис. 2), запропонованої ОКБМ, полягає в постійній наявності в зоні контакту підшипників змазує рідини.

У пропонованому проекті модернізації насоса опорами ротора є радіальні гідростатичні підшипники ковзання, змащувані перекачується середовищем, що пройшла попередню очистку від механічних домішок в мультигідроциклоні об'язки насоса. Крім вирішення перерахованих вище проблем масляних підшипників за рахунок відмови від легкозаймистих мастильних матеріалів виключається пожежонебезпека насоса.

Вузли, застосовані для модернізації насоса ЦНР 800-230Р по конструкції аналогічні раніше розробленим в ОКБМ і успішно пройшли перевірку як в умовах експлуатації на об'єктах, так і на стендах підприємства.

Модернізація дозволила вирішити ряд проблем:

- забезпечити працездатність як при частій короткочасній роботі під час регламентних пусків, так і при тривалій експлуатації (до 1000 год. В рік) під час ремонту енергоблоку;
- поліпшити вібраційні характеристики насоса, знижений обсяг протікання по його валу.

Збереження гідравлічних характеристик насоса після модернізації гарантується запозиченням деталей гідравлічної частини (корпус і робоче колесо).

Міжвідомча приймання дослідного зразка насоса ЦНР 800-230Р підтвердила надійність і працездатність прийнятих конструктивних рішень.

Перевагою запропонованої модернізації є можливість її проведення на АЕС без демонтажу корпусних деталей, шляхом блочної установки модернізованих вузлів.

Конструктивні рішення глибокої модернізації насосів з блочною заміною вузлів, використані для насосів ЦНР 800-230Р застосовані ОКБМ також для модернізації ряду інших типів насосів.

Використання модернізованих насосів системи безпеки дозволить істотно збільшити міжремонтний напрацювання агрегату і підвищити експлуатаційну надійність системи безпеки енергоблоку.

Розробка нових конструкцій насосів на базі вузлів насоса ЦНР 800-230Р.

Використання старих корпусних деталей експлуатуються насосів доцільно для АЕС, що мають не дуже великий термін експлуатації.

Отриманий досвід відпрацювання вузлів, що застосовуються при модернізації експлуатуються насосів систем безпеки, був використаний при створенні насосів ЦНР 800-230/1. Ці насоси можуть виготовлятися ОКБМ для заміни експлуатуються насосів з граничним терміном служби або поставки на новоспоруджувані енергоблоки всього насосного агрегату.

Принциповою відмінністю конструкції цих насосів від модернізованих насосів є нове виконання литого корпусу. Використання сучасних ущільнюючих матеріалів роз'ємів корпусу дозволяє збільшити цикл між проведенням капітальних ремонтів з розкриттям гідравлічної частини.

На відміну від модернізованої конструкції насоса ЦНР 800-230Р, де компоновка диктувалася розмірами старих корпусів, гідростатичні підшипники встановлені безпосередньо у всмоктуючих корпусах, що дозволило скоротити габарити насоса.

Модернізований насос ЦНР 800-230Р / 1 з вертикальними роз'ємами корпусу. З метою використання насосів у системах з підвищеним вмістом домішок конструкція насоса розрахована на установку уніфікованих гідродинамічних підшипників. Матеріалом пари тертя для цього варіанта виконання є графіт СГ-П 0,5.

Незважаючи на деяке ускладнення розбирання насоса і необхідності наявності вільного місця для демонтажу ротора конструкція має ряд переваг перед



корпусом насоса, що має горизонтальний роз'єм. Корпусні деталі розраховані на проведення гідравлічних випробувань насоса спільно з системами на АЕС повним гідравлічним тиском, що неможливо для експлуатуються насосів ЦНР 800-230. Повна відповідність приєднувальних розмірів дозволяють адаптувати насос ЦНР 800-230 / 1 без переробки проекту АЕС, що особливо цінно, для добудови енергоблоків.

Жорсткі вимоги до якості основного металу корпусу та продовження терміну служби насоса до 40 років змушують шукати вихід в застосуванні поковок для виготовлення корпусних деталей.

ОКБМ була опрацьована конструкція насоса ЦНСБ 800-230 з кованими-звареним корпусом, що має ті ж характеристики, що й насоси ЦНР 800-230 / 1.

Незважаючи на великі в порівнянні з прототипами габарити, масу і, відповідно вартість, поставка насосів ЦНСБ 800-230 може бути актуальна при подальшому підвищенні вимог до ресурсних характеристик обладнання та безпеки АЕС.

Впровадження запропонованих ОКБМ рішень, закладених при модернізації існуючих і проектуванні нових насосів АЕС, дозволить істотно поліпшити технічні та експлуатаційні показники насосних агрегатів у порівнянні з аналогами, в тому числі збільшити ресурс зношуються вузлів, міжремонтний період, зменшити тривалість і трудомісткість ремонтних робіт.

Таблиця 1.1 – Характеристики насосу ЦНР 800-230

Насос	Q Подача (м <sup>3</sup> /год)	H Напор (м или кГс/см <sup>2</sup> )	P Тиск (кГс/см <sup>2</sup> )	N Частота оберт. (об/хв)	N Потужність э/д (кВт)	Маса (кг)	Габарити LxVxH (мм)
ЦНР 800-230	800	230	23406	2980	800	6450	4195x1635x1370

Схема базування деталі у виробі показана на рис. 1.2. Основними конструкторськими базами виступають дві циліндричні поверхні і правий торець.

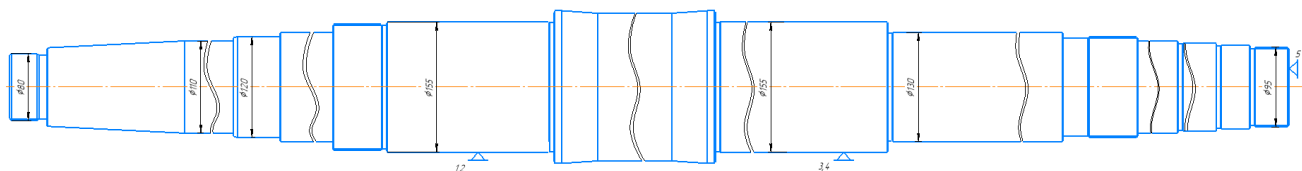


Рисунок 1.2 – Схема базування деталі Вал Н12.178.34.01 у виробі.

Таблиця 1.2 – Матриця зв'язків при базуванні деталі у виробі

<i>База</i>	<i>Зв'язки</i>	<i>Ступені волі</i>	<i>Що забезпечує</i>	<i>Чим забезпечує</i>
<i>ДНБ</i>	<i>1,2,3,4,5</i>	<i>y, z</i>	<i>//, ≡, одноразова обробка цільцевою фрезою</i>	<i>y, z</i>
<i>ОБ</i>	<i>5</i>	<i>x</i>		

Таблиця 1.3 – Таблиця відповідностей

<b>Ось</b>	<b>Переміщення</b>	<b>Обертання</b>
<b>x</b>	-	-
<b>y</b>	-	-
<b>z</b>	-	+

## 1.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

Технічні вимоги для виготовлення деталі надають за її службовим призначенням. На базі аналізу робочого креслення можна зазначити, що наявних перетинів і проекцій достатня кількість, вони розставлені за стандартами, на всіх поверхнях позначені вихідні дані: розміри поверхонь, їх точність і шорсткість, проставлені технічні вимоги, що мають бути для нормального виготовлення деталі. З цього виходить, що креслення деталі Вал Н12.178.34.01 виконано відповідно до ЕСКД і повністю відповідає стандартам:

- ГОСТ 2.305 Зображення видів, перетинів на кресленні;
- ГОСТ 2.307 Нанесення розмірів і граничних відхилень на кресленні;

– ГОСТ 2.309 Шорсткість поверхні. Параметри, характеристики і позначення на кресленні;

– ГОСТ 2.109 Основні вимоги до креслень;

– ГОСТ 24643 Допуски форми і розташування поверхонь.

Числові значення. Вимоги по точності розмірів конструктор відобразив у вигляді відхилень. Аналізуючи технологічність конструкції по застосуванню матеріалів можна зробити висновок, що сталь 45ХГМА є взаємозамінною на сталь 18Х2Н4МА.

Деталь являє собою тіло обертання з відношення  $l/d=3570/182$ .

Найбільш точною поверхні є зовнішня циліндрична поверхня  $d=110h6_{-0,022}$ ,  $d=105h6$ ,  $d=130h6$ . Найбільш високу якість мають зовнішні циліндричні поверхні  $Ra0,8$ : центровий отвір,  $d=150$ ,  $d=155$ ,  $d=105$ .

Таблиця 1.4 – Якісні критерії оцінки.

Вид обробки	Поверхня	Метод досягнення точності
Точіння	$d182$ -2шт., $d130$ , $d176$ , $d110$ , $d117$ , всі канавки: 15	Чорнова
	Нарізання різьби $M80 \times 4-6g$ , $M150 \times 2-6g$ , $M150 \times 2LH-6g$ , $M95 \times 2LH-6g$	Чистова
Фрезерування	Глухий паз: $L10$ , $125N9$ , $15N9$ , $132N9$ , $116N9$ , $18N9$	Напівчистова
Шліфування	$d110h6$ , $d120h6$ , $d155h6$ -2шт., $d130h6$ , $d105h6$ , $d100h6$	Чистова
Свердлування	Центровий отвір – 2шт.	Чорнова

Основні вимоги, що пред'являються конструктором до деталі, полягають в наступному:

Допуск радіального биття валу, відносно поверхні  $T$ , дорівнює 0,2 мм.

Допуск симетричності пазу, відносно поверхні  $U$ , дорівнює 0,104 мм.

Допуск паралельності пазу, відносно поверхні  $U$ , дорівнює 0,26 мм. Даний допуск забезпечується сумісністю баз, які є вимірювально та технологічною.

Дані допуски дозволяють розташувати паз на конусі в правильному положенні, в разі недотриманні указаних показників, при з борці виробу, можуть з'явитися дефекти, які можуть привести в подальшому до передчасної поломки, зазвичай це можуть бути негативні вібрації, які утворилися в результаті недотриманих допусків форм. Негативні вібрації викликає великий зазор чи натяг, при з'єднанні деталей в виробі.

### 1.3 Визначення типу виробництва, такту випуску та партії запуску

Тип виробництва характеризується кількісним коефіцієнтом закріплення операцій КЗО, який дозволяє визначити відношення всіх різноманітних технологічних операцій, які виконуються на протязі місяця до кількості робочих місць.

Такт випуску та партії для запуску в виробництві розраховується за формулами

$$Kz.o.=\sum O/\sum P, \quad (1.1)$$

де  $\sum O$  – сумарне число різноманітних операцій;

$\sum P$  – число робітників виконуючих ці операції.

Визначення штучно-калькуляційного  $T_{ш-к}$  на всіх операціях. Штучно-калькуляційний час потрібно брати з базового технологічного процесу. Данні вказуємо у таблиці 3.1. Розрахункову кількість верстатів по операціям знаходимо за формулою:

$$m_p = \frac{N_{річ} \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.сп.}}, \quad (1.2)$$

де  $N_{річ}$  – річна програма випуску деталей;

$F_d$  – дійсний річний фонд часу роботи обладнання,  $F_d = 4029$  год;

$\eta_{з.н.ср}$  – середнє значення нормативного коефіцієнта завантаження обладнання.

Виконаємо розрахунок необхідної кількості обладнання для операції 060:

$$m_p = \frac{2000 \cdot 83,9}{60 \cdot 4029 \cdot 0,8} = 0,86 \text{ шт.}$$

Число місць що задіяні на виробництво даної деталі Р знаходимо шляхом округлення до цілого числа отриманого значення  $m_p$ :  $P=1$ . Результати розрахунків для всіх інших механічних операцій приведені в таблиці 3.1. Фактичний коефіцієнт завантаження обладнання робочого місця знаходиться за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m_p}{P}, \quad (1.3)$$

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,86}{1} = 0,86.$$

Кількість операцій виконуваних на робочому місці:

$$O = \frac{\eta_{з.н.ср.}}{\eta_{з.ф.}}, \quad (1.4)$$

$$O = \frac{0,8}{0,86} = 0,93 \approx 1,$$

Результати розрахунків для інших механічних операцій представимо в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунків для інших механічних операцій

№ операції	Найменування операції	$T_{ш-к}$ , хв	$m_p$ , шт.	$P$ , шт.	$\eta_{з.ф.}$	$O$
010	Торцепідрізна	31,9	0,32	1	0,32	3
020	Токарна чорнова	81,6	0,84	1	0,84	1
060	Токарна напівчистова	83,9	0,86	1	0,86	1
070	Токарна чистова	47,97	0,49	1	0,49	2
105	Різьбонарізна	7,4	0,07	1	0,07	11
115	Фрезерувальна	60,33	0,62	1	0,62	1

125	Шліфувальна	90,6	0,93	1	0,93	1
Разом:		403,7	-	7	-	21

З таблиці 3.1 знаходимо  $\sum P$ ,  $\sum O$ ,  $\sum T_{ш-к}$ .

Коефіцієнт закріплення операцій знаходимо по формулі:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{21}{7} = 3. \quad (1.5)$$

Розраховане значення коефіцієнта ( $20 < K_{з.о.} < 40$ ) відповідає стандартам дрібносерійного типу виробництва. За вимогами до ГОСТ 3.1108 для дрібносерійного виробництва, коефіцієнт закріплення операцій складає від 20 до 40 включно. Дрібносерійне виробництво подібне за своїми технологічними особливостями до одиничного виробництва. Для даного виробництва типова досить велика номенклатура виробів, та порівнюючи з іншими типами виробництва, невеликий обсяг випуску і велика кількість виконання на різних робочих місцях операцій. Коефіцієнт закріплення операцій вираховується відношенням числових значень всіх різних технологічних операцій, що виконуються або мають підлягатися виконанню протягом місяця, до кількості робочих місць. Відповідно до ДСТУ 3.1108-74 коефіцієнт закріплення операцій становить для дрібносерійного типу виробництва – від 20 до 40 включно.

#### 1.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

Не технологічними конструктивними елементами є: глухі пази, галтелі, перепади, канавки, конус. Причиною проблем в виготовленні торцевих канавок – надмірне навантаження на інструмент та оброблювану деталь, потрібно чітко визначити сили різання, щоб зменшити навантаження на виріб, для зменшення деформацій та прибрати вірогідність пошкодження оброблюваної поверхні.

Більшість поверхонь мають вимоги шорсткості Ra 6,3 мкм, так як вони не відповідають за якість роботи деталі в приладі. До баз (основних або допоміжних конструкторських) конструктор пред'явив вимогу Ra 0,8-3,2 мкм за тим критерієм, що дані поверхні застосовують для розташування на них інших деталей виробу.

Матеріал деталі:

а) Допускається заміна матеріалу на сталь 18Х2Н4МА Гр. КП 735С ГОСТ 8479-70

Механічні властивості матеріалу:

- межа плинності 0,2 735 МПа (75 кгс / мм);
- тимчасовий опір розриву в 880 МПа (90 кгс / мм);
- відносне подовження S 12%;
- відносне звуження 35%;
- ударна в'язкість КСУ 88 Дж / см (9,0 кгс / см).

Відбір проб для випробувань – по ГОСТ 8479-70.

б) Допускається для сталі 18Х2Н4МА виготовлення з прокату по ГОСТ 4543-71.Правила приймання, методи випробувань, відбір проб і значення механічних властивостей як для поковки Гр. КП 735С ГОСТ 8479-70.

в) Поковка зі сталі 45ХГМА за ТУ 26-12-811-90.

г) Матеріал поковки 45ХГМА., 18Х2Н4 додатково випробувати на ударну в'язкість (КСV) при температурі 60 ° С на двох зразках типу 11 ГОСТ 9454-78. Величина ударної в'язкості повинна бути не менше 29 Дж / см (3,0 кгс / см). Відбір зразків по ГОСТ 8479-70.

д) Деталь валу піддати контролю ультразвуковим методом в обсязі 100% по ГОСТ 24507-80. Фіксації підлягають дефекти еквівалентної площею понад 5 мм.

е) Надрізи, ризики, гострі переходи на поверхні вала не допускаються.

Можемо зробити висновок: оформлення креслення задовільняє існуючим ГОСТам. Кількість зображених потрібних видів і розрізів цілком достатньо, простановка розмірів, допусків форми, шорсткості є правильною.

Кількісний аналіз технологічності деталі представимо у вигляді таблиці 2.3. Так як деталь має велику кількість видів розрізів, можемо сказати, що вона має досить складну форму, що обумовлено в більшій мірі з виконанням великої кількості переходів.

Таблиця 1.6 – Кількісна оцінка технологічності

Назва елементів	Кількість	Точність	Якість
Зовнішній циліндр			
d110	1	h6	Ra1,6
d120	1	h6	Ra1,6
d130	1	h14	Ra6,3
d155	2	h6	Ra0,8
d182	2	h14	Ra3,2
d176	1	h14	Ra3,2
d130	1	h6	Ra0,8
d117	1	h14	Ra3,2
d110	1	h14	Ra3,2
d105	1	h6	Ra0,8
d100	1	h6	Ra0,8
Різьба метрична M120-2 M150-2, M80-4, M95-2	4	6g	Ra1,6
Фасонна канавка (5×5)	3	h14	Ra6,3
Торець			
3570	2	h12	Ra12,5
l45	1	h14	Ra6,3
l268	1	h13	Ra6,3
l350	1	h14	Ra6,3
l692,5	1	h14	Ra6,3
l65	1	h14	Ra6,3
l200	1	h12	Ra1,3
l360	1	h14	Ra6,3
l392,5	1	h14	Ra6,3
l266	1	h12	Ra6,3
l176	1	h12	Ra6,3
l150	1	h14	Ra6,3
l40	1	h14	Ra6,3
l46	1	h14	Ra6,3
Канавки (5)	5	h13	Ra6,3
Циліндрична канавка d154	3	h14	Ra6,3
Паз			
l10	1	h14	Ra6,3
l25	1	N9	Ra6,3
l5	1	N9	Ra6,3
l32	1	N9	Ra6,3



Назва елементів	Кількість	Точність	Якість
116	1	N9	Ra6,3
18	1	N9	Ra6,3
Фаски А	23	h14	Ra6,3
Фаска В	1	h14	Ra1,6
Галтелі R1,6	3	h14	Ra6,3
Галтелі R2	2	h14	Ra6,3

Коефіцієнт точності обробки розраховується як:

$$K_{Tч} = 1 - (1/A_{CP}), \quad (1.6)$$

де  $A_{CP}$  – середній квалітет точності.

Розрахунок середнього арифметичного значення квалітету точності деталі:

$$A_{CP} = (n_1 + n_2 + \dots + n_{32}) / \sum_i m_i, \quad (1.7)$$

де  $n$  – квалітет точності кожної поверхні;

$m$  – кількість поверхонь.

$$A_{CP} = 4 \times 6 + 7 \times 6 + 5 \times 9 + 51 \times 14 + 5 \times 12 + 6 \times 13 / 78 = 12.3$$

$$K_{Tч} = 1 - 1/12.3 = 0.91 > 0.7$$

Коефіцієнт шорсткості по критерію Ra розраховують за формулою:

$$K_{Ш} = 1 - 1/B_{CP} \quad (1.8)$$

де  $B_{CP}$  – середня шорсткість поверхонь.

Розрахунок арифметичного значення шорсткості всіх поверхонь:

$$B_{CP} = (c_1 + c_2 + \dots + c_{32}) / \sum_i m_i \quad (1.9)$$

де  $c$  – значення шорсткості кожної поверхні.

$$B_{CP} = 58 \times 6.3 + 7 \times 1.6 + 2 \times 12.5 + 5 \times 0.8 + 5 \times 3.2 + 1.3 / 78 = 5.38$$

$$K_{Ш} = 1/5.38 = 0.18 < 0.52$$

Так як  $K_{ш} > 0,32$ , деталь задовільняє по даному показнику технологічний показник.

За результатами кількісного аналізу можна зробити висновок, що деталь задовільняє вказані потреби.

Здебільшого аналізуючи технологічність деталі «вал», він має достатньо великі габарити та достатньо складні поверхні, виконання яких може викликати ускладнення. Проте аналізуючи загальний розрахунки можемо зробити висновок, що деталь є технологічною хоча має окремі не технологічні характеристики як по точності та к і по якості, що можуть ускладнювати обробку.

Висновок: при аналізуванні базування деталі, його конструкторських розмірів, виконавчих умов, властивостей матеріалу та іншого, я зробив висновок, що всі пункти задовольняють умови для експлуатації деталі.

### 1.5 Аналіз існуючого технологічного процесу

Вданому пункті розглянемо та проаналізуємо базовий технологічний процес для деталі «Вал Н12.178.34.01».

Даний технологічний процес було спроектовано відповідно до всіх вимог ДСТУ і показаний в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Базовий технологічний процес

№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Вхідний контроль	
010	Токарна (торцепідрізна-центрувальна) ИОТ №2	1М63БФ101
015	Контроль ИОТ №35	
020	Маркування ИОТ №3	
025	Токарно-гвинтонарізна	PT2516Ф1
030	Контроль ИОТ №35	
035	Токарна з ЧПК (під стабілізуючий відпуск) ИОТ №2	DOOSAN PUMA 700XL
040	Контроль ИОТ №35	
045	Термічна обробка	
050	Токарна (торцепідрізна-центрувальна) ИОТ №2	1М63БФ101
055	Контроль ИОТ №35	
060	Маркування ИОТ №3	

№ операції	Назва операції	Обладнання
065	Контроль ИОТ №35	
070	Токарна з ЧПК (напівчистова)	PT2516Ф1
075	Контроль ИОТ №35	
080	Токарна з ЧПК (чистова)	DOOSAN PUMA 700XL
085	Токарна з ЧПК (перевірка радіального биття) ИОТ №2	
090	Контроль ИОТ №35	
095	Круглошліфувальна (попередньо) ИОТ №2	3M194
100	Контроль ИОТ №35	
105	Токарна з ЧПК (нарізання різьби)	DOOSAN PUMA 700XL
110	Контроль ИОТ №35	
115	Токарна з ЧПК (фрезерування пазів)	6T82Г
120	Контроль ИОТ №35	
125	Круглошліфувальна (чистова)	3M194
130	Круглошліфувальна (перевірка радіального биття)	3M194
135	Контроль ИОТ №35	
140	Збірка ИОТ №3, ИОТ №24, ИОТ №31, ИОТ №76	

## 1.6 Висновок

При аналізуванні базового технологічного процесу, робимо висновок, що він відповідає всім технічним вимогам на виробництво.

Даний технологічний процес заснований з застосуванням застарілого устаткування, тому в подальшому його буде змінено на більш нове.

## РОЗДІЛ 2

### ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛУ

#### 2.1 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог щодо неї

В даному розділі ми маємо розглянути два варіанти вибору заготовки. Так як правильний вибір заготовки впливає, на собівартість деталі, трудомісткість, ми маємо обрати найбільш ефективний та економічний вид заготовки.

Щоб отримати заготовку, яка задовільняє вище сказані характеристики, ми маємо брати в увагу вимоги до виготовлення деталі, її конфігурації, габаритів, розмірів та обсягу випуску.

В базовому варіанті заготовку отримували прокатом. В проєктованому варіанті, щоб перевірити економічність або його зворотнього результату для базового варіанту, оберемо виготовлення заготовок метод ГKM.

Вид заготовки встановлюється на основі всіх перелічених даних, а також техніко-економічного порівняння декількох варіантів.

Проведемо аналіз економічності заготовки.

Собівартість заготовок з прокату розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = M + \sum C_{\text{о.з.}}, \quad (2.1)$$

де  $M$  – витрати на матеріал заготовки, грн;

$\sum C_{\text{о.з.}}$  – технологічна собівартість операції правки, калібрування прутків, розрізання їх на штучні заготовки

$$C_{\text{о.з.}} = \frac{C_{\text{п.з.}} \cdot T_{\text{шт}}}{60 \cdot 100}, \quad (2.2)$$

де  $C_{\text{п.з.}}=3050$  – приведенні затрати на робочому місці, грн./год.;

$T_{\text{шт}}=7,9$  – штучний час виконання заготівельної операції, хв.

$$M = Q \cdot S - (Q - q) \frac{S_{\text{омх}}}{1000} \quad (2.3)$$

де  $Q = 810$  – маса заготовки (розраховується за габаритами заготовки заводського варіанта – прокат діаметром 192 мм та довжиною 3575 мм та за густиною матеріалу заготовки,  $\rho = 7800$  кг/м<sup>3</sup>), кг;

$q = 435$  – маса готової деталі, кг;

$S_{отх} = 0,9$  – ціна 1 тони відходів, грн.;

$S = 15,6$  – ціна 1 кг матеріалу заготовки, грн.

$$M = 81015,6 - (810 - 435) \frac{900}{1000} = 12298,5 \text{ грн.}$$

$$C_{о.з.} = \frac{3050 \cdot 7,9}{60 \cdot 100} = 4,01 \text{ грн.}$$

$$S_{заг} = 12298,5 + 4,01 = 12302,5 \text{ грн.}$$

Собівартість заготовок, отриманих ковкою на молотах розраховується за формулою:

$$S_{заг} = \left( \frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_M \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (2.4)$$

де  $C_i = 15600$  – базова вартість однієї тони заготовок, грн/т;

$K_m$  – коефіцієнт, який залежить від класу точності заготовки;

$K_c$  – коефіцієнт, який залежить від групи складності заготовки;

$K_v$  – коефіцієнт, який залежить від маси заготовки;

$K_M$  – коефіцієнт, який залежить від марки матеріалу;

$K_n$  – коефіцієнт, який залежить від обсягу виробництва;

$Q$  – маса заготовки;

$q$  – маса деталі;

$S_{отх}$  – вартість однієї тони відходів, грн.

Для заготовки, отриманої ковкою на молотах:

$$C_i = 15600 \text{ грн/т;}$$

$$K_m = 1 \text{ [3, с.37];}$$

$$K_c = 1,1 \text{ [3, табл.2.12, с.38];}$$

$$K_v = 0,98 \text{ [3, табл.2.12, с.38];}$$

$$K_m = 1,22 \text{ [3, с.37];}$$

$$K_n = 0,95 \text{ [3, табл.2.13, с.38];}$$

$$Q = 527 \text{ кг (виходячи з габаритних розмірів, } \rho = 7,8 \text{ г/см}^3\text{);}$$

$$q = 435 \text{ кг;}$$

$$S_{omx} = 900 \text{ грн/т.}$$

Вартість заготовки, отриманої ковкою на молотах: 82,8

$$S_{заг} = \left( \frac{15600}{1000} \cdot 527 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 0,98 \cdot 1,22 \cdot 0,95 \right) - (527 - 435) \cdot \frac{900}{1000}$$

$$= 13923 \text{ грн}$$

Так як вартість заготовки, отриманої ковкою на молотах, більше вартості заготовки, отриманої прокатом, то в то за спосіб отримання заготовки для даної деталі приймаємо прокат.

Економічний ефект розраховують за формулою:

$$E_{\phi} = (S_{2заг} - S_{1заг})N, \text{ грн} \quad (2.5)$$

де  $N$  – річний обсяг випуску, шт

$$E_{\phi} = (13923 - 12302,5) \cdot 2000 = 3242810 \text{ грн}$$

Для фінішного метода отримання заготовки, у відповідності зі стандартом ДСТУ-70 «Прокат з вуглецевих і легованих сталей, що отримують прокаткою» задаємо припуски на поверхні і визначаємо габарити заготовки.

Припуски та граничні відхилення для поковок вибираємо у відповідності з рисунком 2 і таблицею 2.1:

Таблиця 2.1 – Припуски та граничні відхилення для проката

Розмір деталі	Чистота поверхні	Основний припуск	Додатковий припуск	Загальний припуск	Розрахунковий розмір заготовки	Прийманий розмір заготовки	Фактичний припуск
d182	12,5	2,5	0,5	3	188	188	6,0
L3570	6,3	3,8	0,5	2	3578,6	3579	9,0

Зміщення рознімання штампа по поверхні – 0,3 мм.

Зігнутість і відхилення від площинності і прямолінійності – 0,5 мм.

Вигляд заготовки зображений на рисунку 2.1.

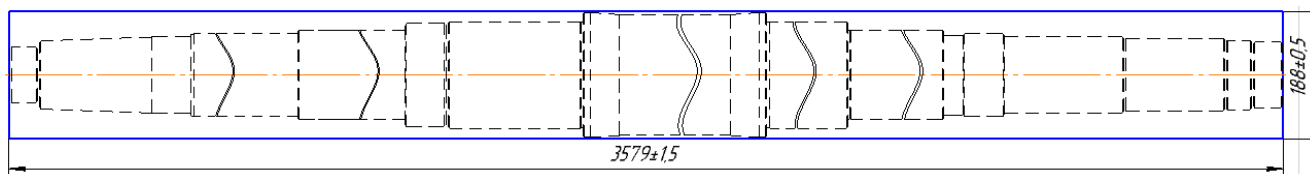


Рисунок 2.1 – Вигляд заготовки, що отримується прокатом

Технічні вимоги до заготовки:

- Спосіб отримання: прокат;
- НВ 50...65;
- Група складності заготовки: II;
- Припуски на розміри за ДСТУ 7829-70

Так як виготовлення заготовки на ГKM є досить складним, а габарити деталі, потребують особливих умов, це збільшує ціну на неї, тому для спрощення обираємо заготовку – прокат, хоча даний тип заготовки має кількість металу, що буде знято в ході обробки близько половини, цей метод буде більш ефективним.

## 2.2 Розрахунок припусків на механічну обробку

Для прикладу розрахуємо припуски на операцію 060 для зовнішньої циліндричної поверхні  $\varnothing 182h14$  на 4-х переходах:

- а) Чорнове точіння;
- б) Напівчистове точіння;
- в) Чистове точіння;
- г) Шліфування.

Так як ведеться обробка зовнішньої поверхні обертання, то припуск знаходиться за наступною формулою:

$$2Z_{min} = 2(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (2.6)$$

де  $Rz_{i-1}$  – величина мікронерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході), мкм;

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

$\rho_{i-1}$  – похибка просторового відхилення форми і взаємного розміщення поверхонь, отримана на операції (переході), мкм;

$\varepsilon_i$  – похибка установовки на даній операції (переході), мкм.

Показники, які перераховані вище, є табличними величинами, окрім  $\rho_{i-1}$ , яка розраховується за наступною формулою:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{зм}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2} \quad (2.7)$$

де  $\rho_{\text{зм}}$  – похибка заготовки пов'язана із зміщенням осі;

$$\rho_{\text{зм}} = \delta,$$

де  $\delta$  – допуск на поверхню,  $\delta=1,6$  мм.

$\rho_{\text{кор}}$  – похибка короблення заготовки;

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} \cdot D \quad (2.8)$$

де  $\Delta_{\text{к}}$  – питома кривизна заготовки,  $\Delta_{\text{к}} = 0,1$  [5, с.186]

$D$  – найбільший діаметр заготовки,  $D=182$  мм.

$$\rho_{\text{кор}} = 0,1 \cdot 182 = 18,2 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{1,6^2 + 18,2^2} = 18,2 \text{ мкм}$$

$$\rho = \rho_{\text{заг}} \cdot k_y$$

де  $k_y$  – коефіцієнт уточнення форми:

багатопрхідне та чорнове точіння заготовок з прокату,  $k_y= 0,06$

напівчистове точіння заготовок з прокату,  $k_y= 0,05$ ;

чистове точіння заготовок з прокат,  $k_y= 0,04$ .

круглошліфування  $k_y= 0,02$  .

Знайдемо для кожного з переходів:

$$\rho_{\text{чор.точ.}} = 18,2 \cdot 0,06 = 2,02 \text{ мкм.}$$



$$\rho_{\text{напівчист.точ.}} = 18,2 \cdot 0,05 = 1,68 \text{ мкм.}$$

$$\rho_{\text{чист.точ.}} = 18,2 \cdot 0,04 = 1,34 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{шліфуван.}} = 18,2 \cdot 0,02 = 0,67 \text{ мкм}$$

Вхідні дані для розрахунку припусків на ЕОМ приведені в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку припусків на розмір  $\text{Ø}182\text{h}6_{(-0,067)} \text{ мм}$

Назва переходу	Квалітет точності	Допуск, мкм	Елементи припуску, мкм			
			$Rz_{i-1}$	$h_{i-1}$	$\rho_{i-1}$	$\varepsilon_i$
Обробка тиском	IT 17	$1600_{(-1,1)}^{(+0,5)}$	250	300	33,6	-
Чорнове точіння	IT 12	$202_{(-0,202)}$	50	50	2,02	600
Напівчистове точіння	IT 10	$168_{(-0,168)}$	25	25	1,68	0
Чистове точіння	IT 9	$134_{(-0,134)}$	10	15	1,34	0
Шліфування	IT 6	$67_{(-0,067)}$	5	5	0,67	0

Дані для розрахунку припусків на ЕОМ для зовнішньої циліндричної поверхні  $\text{Ø}235\text{h}6_{(-0,029)} \text{ мм}$ , показані в додатку Б пояснювальної записки.

### 2.3 Призначення та обґрунтування схем базування та закріплення

Похибка базування може виникати в результаті неспівпадання вимірювальної та технологічної баз. Тому, при виборі баз необхідно:

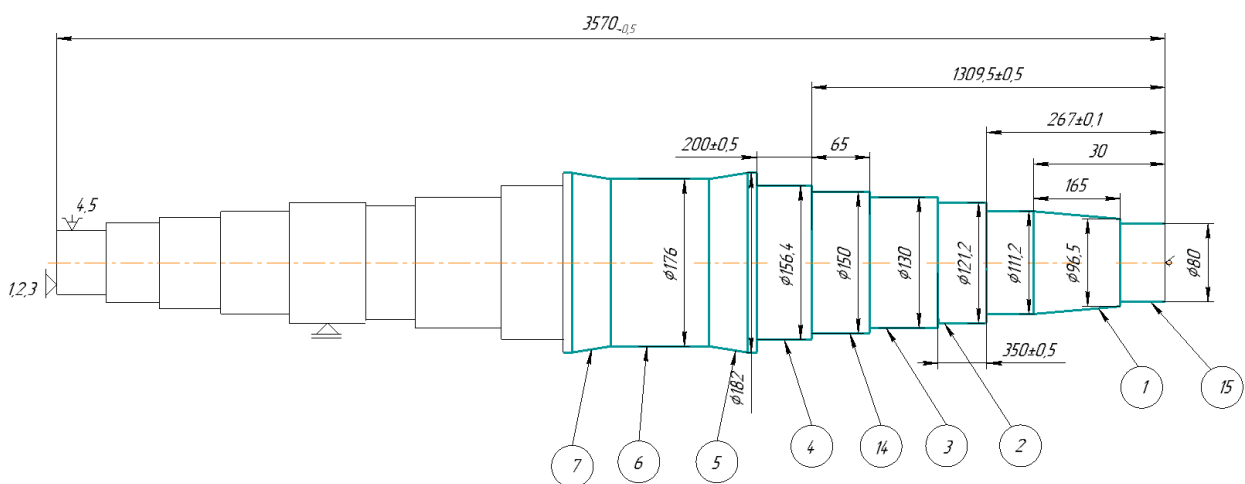
- технологічною базою треба обирати поверхню, яка одночасно є вимірювальною;
- бажано дотримуватись принципу постійності баз;
- якщо за конструктивними чи технологічними особливостям або умовами обробки не вдається витримати принцип постійності баз, бажано обрати за базову поверхню ту, що є обробленою поверхнею, яка по можливості є найточнішою та забезпечує жорсткість встановлення заготовки.

Обираємо операцію 050 – Токарна з ЧПК(напівчистова). На цій операції обробка точінням виконується на поверхнях зі сторони розташування задньої бабки. Обробка проводиться за два установи. Розглянемо докладніше схеми базування та закріплення деталі під час виконання токарної операції.

а) в трикулачковому самоцентруючому патроні з упором в торець (рисунок 6.1);

б) в центрах з упором в торець (рисунок 6.2)

При першій схемі базування виконується в трикулачковому самоцентруючому патроні з упором в торець (рисунок 6.1), оброблюються циліндричні та торцеві поверхні 1-17. Для даної обробки застосовуємо верстат з ЧПК. Завдання зводиться до прив'язки нуля деталі (осі торця деталі) з віссю нуля верстата. На даній схемі базування заготовка в стані фіксації позбавляється п'яти ступенів вільності (встановлювальна та подвійна опорна бази). Лише один зв'язок залишається вільним – це зв'язок обертання навколо осі деталі. Також центр, що знаходиться в трьохкулачковому патроні значно збільшує жорсткість установки валу при обробці. При даній схемі базування технологічна та вимірювальна бази виконують потребу сумісності баз, звідси виходить, що похибка базування на лінійні розміри зводиться до нуля,  $E_{\delta}=0$ .



а)

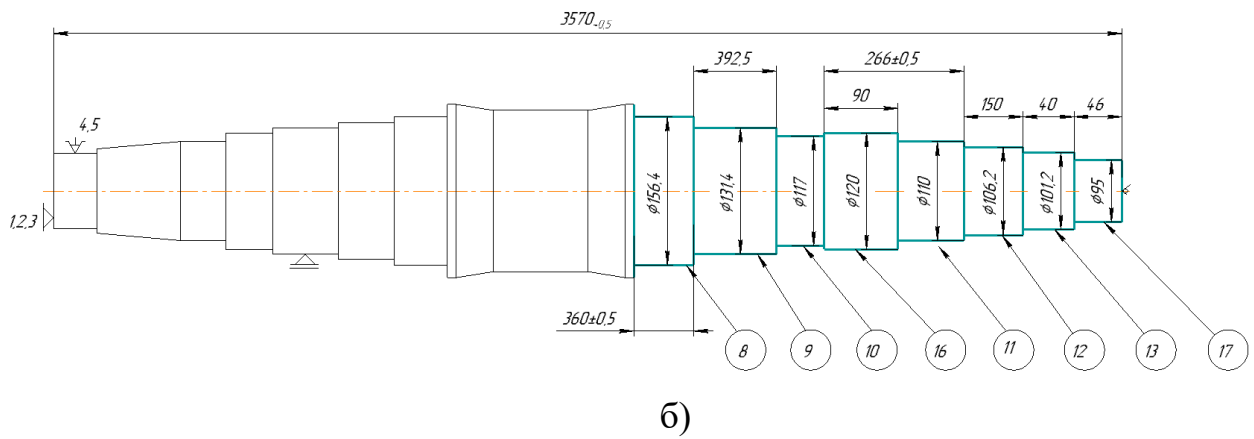


Рисунок 2.2 – Базування деталі в трьохкулачковому патроні з рухомим центром а) установ А, б) установ Б

Інша схема – базування в центрах з упором в торець (рисунок 2.3)

Особливістю валів є наявність на їх торцях центрових отворів (гнізд), які є технологічними базами. Ці отвори не використовуються при роботі вала в вузлі, але необхідні в процесі виготовлення і контролю. Вал, встановлений в центрах, позбавлений п'яти ступенів свободи, залишається можливість повороту навколо осі (рис. 6.2).

У радіальному напрямку таке базування є чітким, а в осьовому - немає. Лівий торець вала може займати різне положення уздовж осі в залежності від глибини зацентровки. Щоб виключити ймовірність виникнення похибки базування при подальшій обробці, за базову точку 5 можна прийняти лівий торець, а передній центр або зробити підпружиненим (плаваючим) уздовж осі, або взагалі відмовитися від базування по передньому центровому отвору. Таким чином, в бази для обробки валів поряд з центровими отворами слід включити один з торців.

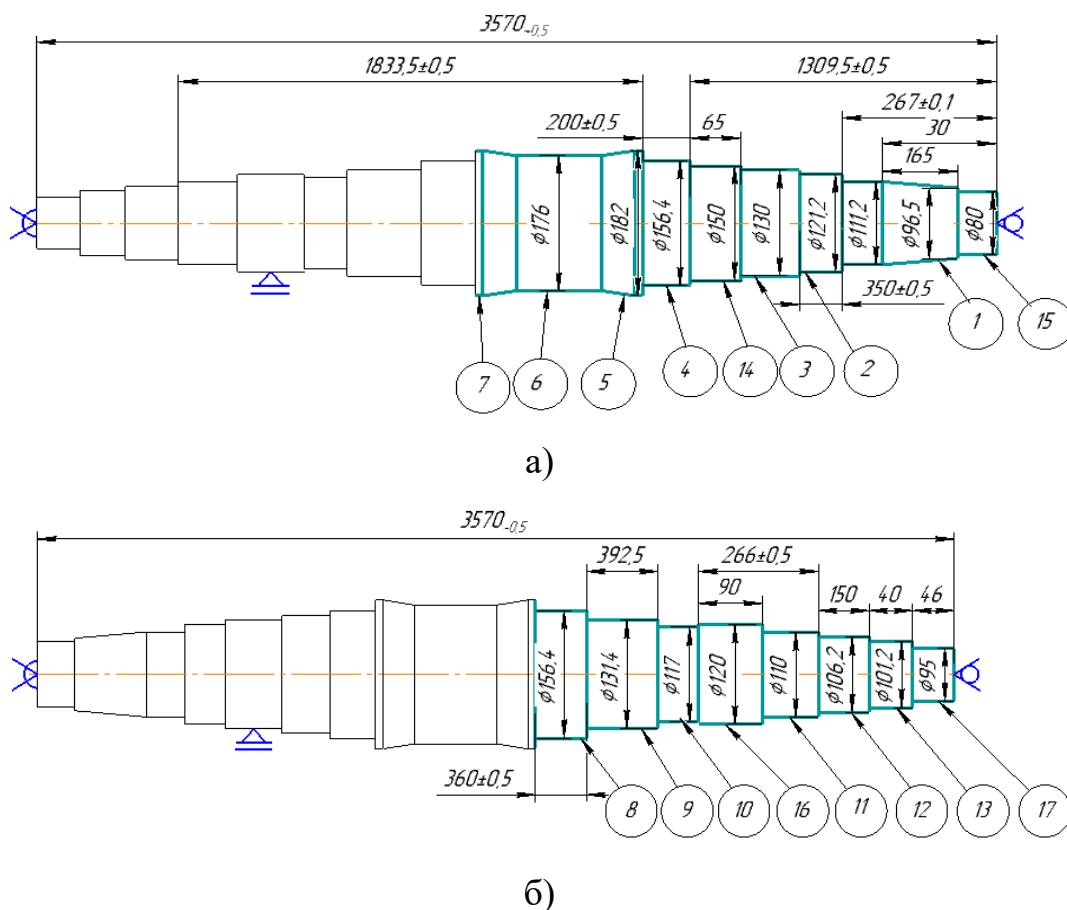


Рисунок 2.3 – Базування деталі в центрах а) установ А, б) установ Б  
 Таким чином більш простою для виконання буде перша схема базування.

Розглянемо операцію 065 – Токарна з ЧПК (фрезерування шпонкових пазів). На даній операції проводиться фрезерування шпонкових пазів, що вказані на кресленні по всій довжині вала. Обробку можна вести двома методами, в першому за декілька установів, а в другому за один.

а) базування вала в призмах з упором

б) базування вала в трьохкулачковому патроні з рухомим центром.

В першому випадку вал базується в призмах, притискаючи його до упору та затискається прижимним механізмом. Так як стіл не може охопити всю довжину вала, то до спеціального оснащення застосовують регулюючу ніжку з призмою, щоб запобігти провисання валу зі стола, його похибку симетричності.

Паралельності циліндричних поверхонь та похибки форми регулюють шляхом піджимання чи розтискання прижимного механізму та регулювання висоти ніжки.

Базовою поверхнею є торець зовнішньої циліндричної поверхні, на якій буде зроблено шпонковий паз, який прижаний в упор для торців.

Похибку базування будемо визначати на діаметральні розміри, а саме на осьові розташування отворів щодо осі заготовки:  $\varnothing 80 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 110 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 120 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 155 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 130 \pm 0,3$ ;  $\varnothing 105 \pm 0,3$  мм, див рис. 6.3. Похибка базування на розташування шпонкових пазів щодо осі заготовки буде дорівнювати допуску на діаметральні розміри оброблюваних поверхонь, отже  $E_{\sigma} = 0,087$  мм = 87 мкм. Для того щоб виконання конструкторських вимог задовільняло стандартні вимоги, необхідно, щоб похибка базування була не більше допуску на овиконавчий розмір (допуск на виконуваний розміри 0,6 мм або 600 мкм), отже  $E_{\sigma} < T$ ,  $87 < 600$  мкм, умова виконується.

Даний метод задовольняє наші потреби за технологічними і конструкторськими умовами, але є малоефективним порівнюючи його з сучасними методами обробки даної операції. Дана методика потребує високої кваліфікації робітника, враховуючи великі габарити деталі та її поверхні. Також велику кількість часу займає час на установку деталі, виходячи з її габаритів і кількості установ. Велика кількість установ може призвести до безліч похибок, таких як: похибка паралельності, симетричності, форми. Тому даний метод рекомендується в випадку коли немає альтернатив виконання операції, та вільних допусків.

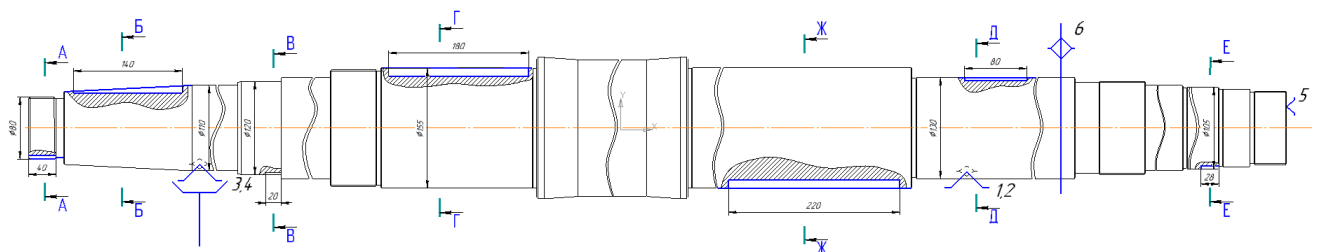


Рисунок 2.4 – Базування деталі в трьохкулачковому патроні з рухомим центром

Розглянемо другий метод обробки шпонкових пазів. В даному випадку вал базується трьохкулачковому патроні з упором та рухомим центром. Обробка ведеться за один установ, за рахунок повороту патрона на потрібний кут, для обробки та доступністю переміщення інструмента на всю довжину деталі, рисунок 6.4.

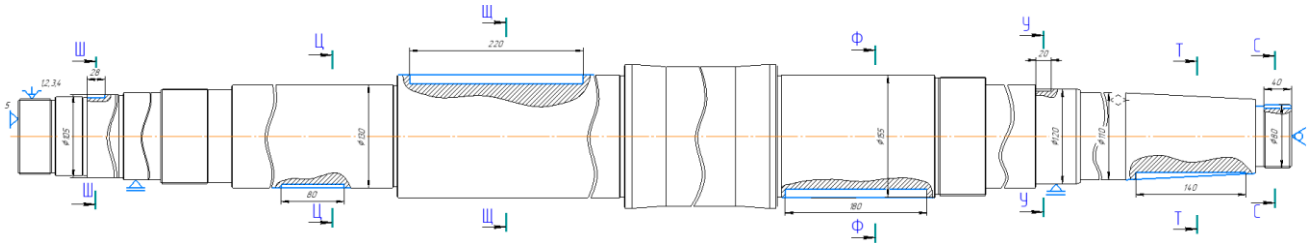


Рисунок 2.5 – Альтернативна схема базування по операції 115

Базовою поверхнею є крайній лівий торець  $\varnothing 95 \pm 0,3$  зовнішньої циліндричної поверхні, який прижаний в упором. Похибка базування на розташування шпонкових пазів щодо осі заготовки буде аналогічною з першим варіантом, отже  $E_b = 0,087 \text{ мм} = 87 \text{ мкм}$ .

Дане базування повністю задовільняє конструкторські та технологічні умови, для виконання операції. Також за рахунок того, що обробка ведеться за один установ, це значно зменшує час на обробку, це значить, що даний спосіб є більш економічним, похибки що можуть виникати при установі теж зменшуються, так як їх кількість зменшена до одного, а верстатне пристосування зводить до мінімуму похибку установу (за умов, що пристосування в відрегульованому стані). В додаток до цього, можна зазначити те, що даний метод потребує менших потреб кваліфікації для робітника, а отже зменшує фінансову вартість на обробку.

Отже для виконання даної операції, обираємо базування другого варіанту, див рис.6.4.

Розглянемо операцію 080 – Круглошліфувальна (чистова). На даній операції проводиться шліфування діаметральних розмірів, що вказані на кресленні по всій довжині вала. Обробку можна вести двома методами, з люнетам та без них. Даний тип закріплення заготовки був описаний раніше до операції 050, але тут є одне

виключення. Так як дана операція виконується на верстаті 3М194, що є застарілою моделлю, то на ній не передбачені люнети. Даний чинник не є критичним, але за умов сучасного виробництва, виготовлення продукції має бути максимально якісною. Беручи до уваги той факт, що даний вал є досить габаритним та великим за масою, може виникати певний коефіцієнт прогину деталі  $k_{пр}$ , що може створювати додаткове радіальне биття і створити конусність при шліфувальній операції. Використання рухомих люнетів може значно зменшити цю похибку. Тому для подальшого виконання операції, буде рекомендовано використання люнетів. Схема закріплення деталі показано на рис.

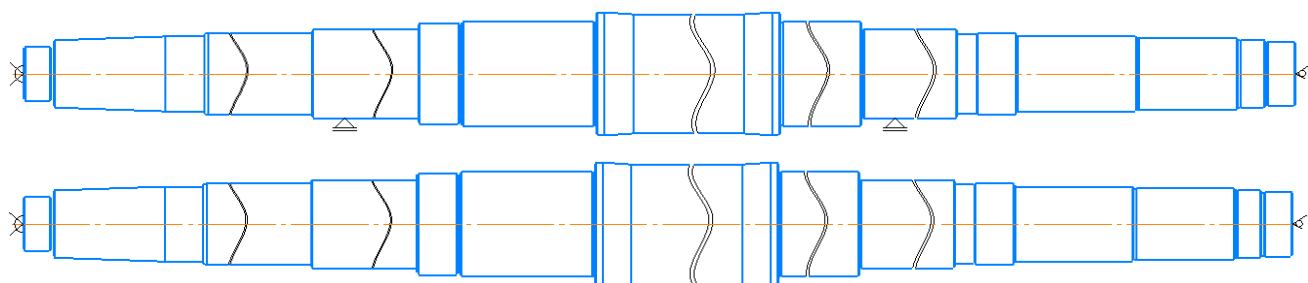


Рис.2.6 – Базування деталі в центрах з люнетами та без них

## 2.4 Складання технологічного процесу

При проектуванні технологічного процесу, потрібно брати до уваги всі ключові фактори для якісного і економічно-ефективного виготовлення деталі.

Необхідно правильно враховувати всі етапи виготовлення деталі від чорнових, до чистових операцій в правильній послідовності, щоб не порушити технологію виготовлення деталі. Також потрібно враховувати економічні фактори, тобто потрібно використовувати всі ресурси з максимальною економічною ефективністю, не змінюючи якості та точності виготовлення деталі.

В базовому технологічному процесі деякі етапи технологічного процесу мають характер дій для страховки виготовлення деталі, тому це дозволить прибрати ці етапи при використанні нового обладнання.

Таблиця 2.3 – Запропонований технологічний процес

№ операції	Назва операції	Обладнання
005	Відрізна	
010	Токарна (торцефрезерувально-центрувальна) ИОТ №2	1М63БФ101
015	Контроль ИОТ №35	
020	Токарно-гвинтонарізна (під стабілізуючий відпуск) ИОТ №2	PT2516Ф1
025	Контроль ИОТ №35	
030	Термічна обробка	
035	Токарна (торцепідрізна-центрувальна) ИОТ №2	1М63БФ10
040	Контроль ИОТ №35	
045	Маркування ИОТ №3	
050	Токарна з ЧПК (напівчистова)	DOOSAN PUMA 700XL
055	Токарна з ЧПК (чистова)	DOOSAN PUMA 700XL
060	Токарна з ЧПК (нарізання різьби)	DOOSAN PUMA 700XL
065	Фрезерна з ЧПК (фрезерування пазів)	DOOSAN PUMA 700XL
070	Контроль ИОТ №35	
075	Круглошліфувальна (чистова)	3М194
080	Круглошліфувальна (перевірка радіального биття)	3М194
085	Контроль ИОТ №35	
090	Збірка ИОТ №3, ИОТ №24, ИОТ №31, ИОТ №76	

## 2.5 Обґрунтування та вибір моделей металорізальних верстатів

Для більш ефективної обробки деталі, вибір верстатів бажано обирати згідно нових та актуальних для даного виду виконання операцій обробки, каталогів-довідників металорізальних верстатів, дотримуючись стандартних вимог [1]: потрібно проаналізувати та обрати технологічний варіант для обробки поверхонь, що виконуються у даній операцію; достатню потужність двигунів верстат; габарити робочої зони верстата; тип виробництва; кількість інструментів, що дозволяє вмістити верстат.



Для операції 060 – Токарна з ЧПК обираємо багатоцільовий верстат з ЧПК DOOSAN PUMA 700XL. Даний тип верстату обираємо по декільком факторам, його габарити, потужність двигуна та жорсткість дозволяють оброблювати такий тип деталей. Також верстат має широку номенклатуру вибору інструменту, так як він являється багатоцільовим, він виконує токарну, свердлильну та фрезерну обробку, в майбутньому це дозволить виконати на цьому верстаті фрезерну операцію, таким чином, завдяки багатофункціональності верстата, ми скорочуємо шлях обробки деталі, що значно зменшує час на підготовку до наступної операції. Також система ЧПК FANUC дозволяє точно і без особливих складнощів виконати обробку деталі.

Таблиця 2.4 – Основні характеристики верстата DOOSAN PUMA 700XL

Найбільший діаметр виробу над станиною, мм	900
Найбільший хід супортів, мм	
поздовжній	950
поперечний	210
Кількість керованих/одночасно керованих координат	2/2
Дискретність завдання переміщення, мм	
в поздовжній осі	0,01
в поперечній осі	0,005
Межі частот обертання шпинделя, об/хв	1500
Межі швидкостей робочих подач, мм/хв:	
поздовжніх	2800
поперечних	550
Кількість позицій інструментальної головки	6,8,1
	2
Потужність електродвигуна головного руху, кВт	21
Габаритні розміри верстата, мм	7210 x2260x265 0
Маса, кг	1200 0

## 2.6 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

Для забезпечення необхідного результату для обробки деталі необхідно обрати необхідні для даної операції верстатні пристрої, металорізальні та верстатні інструменти. При правильному виборі вище сказаного оснащення, можна досягти максимальної ефективності при обробці, також збільшити стійкість ріжучого інструмента, та економічно вигідно використовувати його.

Для операції 060 – Токарна з ЧПК, застосовуємо наступні вимірювальні, ріжучі інструменти та верстатні пристрої:

Верстатні пристрої: патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром D=200 мм (Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71), люнет, та обертову задню бабку.

Ріжучий інструмент: різець PCLNR2525-M12 T15K6.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89.

Для операції 115 – Токарна з ЧПК, застосовуємо наступні вимірювальні, ріжучі інструменти та верстатні пристрої:

Верстатні пристрої: патрон 3-ьох кулачковий токарний діаметром D=200 мм (Патрон 7108-0021 ГОСТ 2571-71), люнет, та обертову задню бабку.

Ріжучий інструмент: різець PCLNR2525-M12 T15K6.

Вимірювальний інструмент: штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1 ГОСТ 166-89.

## 2.7 Розрахунки режимів різання

Вирахуємо розрахунок режимів різання для виконання операції 050 – Токарна з ЧПК. Рекомендації для напівчистої надані в таблиці 11, с. 271 [6]: для матеріалу, що оброблюється – сталь 45, матеріалу ріжучої частини інструменту T5K10.

Розраховуємо глибину різання за формулою:

$$t = \frac{d_1 - d_2}{2 \cdot i} = \frac{188 - 182}{2 \cdot 2} = 1,5 \text{ мм} \quad (2.9)$$

Подачу та глибину різання визначаємо за табличними даними [3, с.39], [4, с.41], [6, с.46], [7, с.47]. Вибір подачі залежить від характеру поверхні, зовнішня чи внутрішня обробка, матеріалу та глибин різання.

Визначаємо подачу за [6, табл. 1, с. 268]:

$$S = S_T \cdot K_S = 0,14 \cdot 1 = 0,14 \text{ мм/об.} \quad (2.10)$$

Визначаємо швидкість різання за наступною формулою:

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

(6.6)

де  $T = 40$  хв;  $C_v = 340$ ;  $m = 0,2$ ;  $y = 0,45$ ;  $x = 0,15$  [6, табл. 1, с. 269];

$K_v$  – загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання враховуючий фактичне зусилля різання. Розраховується за формулою:

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

Де  $K_{nv}$  – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки,  $K_{nv}=1$  [6, табл. 5, с. 263];

$K_{uv}$  – коефіцієнт, враховуючий матеріал інструмента,  $K_{uv}=1,4$  [6, табл.6, с. 263]

$K_{mv}$  – коефіцієнт, враховуючий вплив матеріалу заготовки.

Розраховується за формулою:

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

де  $n_v = 1$ ;

$K_r = 1$  [6, табл. 2, с. 262].

$$K_{mv} = 1 \cdot \left( \frac{750}{950} \right) = 0,8,$$

За формулою 2.12:

$$K_v = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,4 = 1,12$$

За формулою 2.11:

$$V = \frac{340}{58,4^{0,2} \cdot 1,5^{0,15} \cdot 0,3^{0,45}} \cdot 1,12 = 273 \text{ м/хв.}$$

Швидкість знаходимо за табличними даними [11] с.80, [11] с.81. Швидкість різання залежить від матеріалу деталі та інструменту, стану поверхні, глибин різання та подачі.

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000V}{\pi D} \text{ (об/хв)} \quad (2.13)$$

де  $D$  – діаметр заготовки, мм;

$V$  – швидкість різання, м/хв.

$$n = \frac{1000 \times 187}{\pi \times 110} = 540 \text{ (об/хв);}$$

Розрахунок хвилинної подачі на пів-чистову стадію:

Хвилинна подача вираховується за формулою:

$$S_{\text{хв}} = S_0 \times n \quad (2.14)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,14 \cdot 540 = 75,6;$$

Режими різання для інших переходів визначаємо за нормативами табличним методом та зводимо в таблицю 2.4 [6, табл. 22, с.273];

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків режимів обробки на операції 050

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i	Час переходу T <sub>0</sub> , хв	
1	1,7	0,14	540	187	1	2,94	аналітичний
2	1,7	0,14	500	187	1	5	табличний
3	2	0,13	460	187	1	10,5	табличний
4	2	0,13	380	187	1	4,04	табличний
5	1,5	0,18	240	138	1	0,6	табличний
6	2	0,13	340	187	1	15,8	табличний
7	1,5	0,18	240	138	1	0,6	табличний
8	2	0,13	380	187	1	7,28	табличний
9	2	0,14	460	187	1	6,56	табличний
10	1,7	0,14	510	187	1	0,42	табличний

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i	Час переходу T <sub>0</sub> , хв	
11	1,7	0,14	540	187	1	2,32	табличний
12	1,7	0,14	570	187	1	1,87	табличний
13	1,7	0,14	600	187	1	0,47	табличний
14	1,7	0,14	740	187	1	0,43	табличний
15	2	0,13	400	187	1	1,25	табличний
16	2	0,13	500	187	1	0,92	табличний
17	1,7	0,14	630	187	1	0,51	табличний

### Операція 065

Обладнання – верстат DOOSAN PUMA 700XL

Інструмент: шпоночна фреза Ø8 T15K10, z=4.

Деталь базується та закріплюється в патрон токарний самоцентруючий 3-кулачковий. Дана схема базування забезпечує опорну та подвійну направляючу бази. Фрезерувати пази: 10N9 мм, 25N9 мм, 5N9 мм, 32N9 мм, 16N9 мм, 8N9 мм.

Фрезерувати пази по розмірам в скобах, попередньо під фрезерування в засверлити канал для фрези. Фрезерувати паз 25N9 (січна Б-Б) кінцево з урахуванням припуску 0,8(-0,2)мм під шліфовку.

Розрахуємо кількість швидкість різання:

$$v_c = \frac{n \times D_c \times \pi}{1000}$$

де  $v_c$  – швидкість різання, м/хв;

$D_c$  – діаметр фрези, мм;

$n$  – кількість обертів, об/хв.

Кількість обертів обираємо за інструментальним каталогом з таблиць і отримуємо для фрези Ø8 кількість обертів  $n=3500$  об/хв.

$$v_c = \frac{3500 \times 8 \times \pi}{1000} = 87,92 \text{ м/хв.}$$

Розрахуємо подачу фрезерування:

$$f = f_z \times z \times n$$

де  $f$  – подача, мм/хв;

$f_z$  – подача на зуб, мм/зуб;

$z$  – кількість зубів фрези.

$$f = 0,12 \times 4 \times 3500 = 1680 \approx 1700 \text{ мм/хв.}$$

Таблиця 2.5 – Результати розрахунків режимів обробки на операції 065

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						Вид режиму
	t, мм	S, м/хв	n, об/хв	V, м/хв	i	Час переходу T <sub>0</sub> , хв	
1	0,2	17	3500	87,92	45	7,41	аналітичний
2	0,2	19	4000	100,48	23	0,89	табличний
4	0,2	19	4000	100,48	20	0,58	табличний
8	0,2	12	6000	75,36	15	0,5	табличний
9	0,2	19	3000	150,72	55	10,42	табличний
12	0,2	19	3000	150,72	55	12,73	табличний
13	0,2	19	3000	150,72	20	0,84	табличний

### Операція 075

Обладнання – верстат 3М194

Інструмент: шліфувальний круг 24A25C1K

Деталь базується та закріплюється в центрах. Дана схема базування забезпечує опорну та подвійну направляючу бази. Шліфувати поверхні Ø110h6, Ø120h6, Ø155h6, Ø130h6, Ø105h6. Режими різання обираємо за табличними даними Додаток

Таблиця 2.6 – Результати розрахунків режимів обробки на операції 075

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки						Вид режиму
	t, мм	S, м/хв	n, об/хв	V, м/хв	i	переходу T <sub>0</sub> , хв	
Ø110h6	0,2	2000	160	35	3	5,23	аналітичний
Ø120h6	0,2	2000	160	35	3	6,66	табличний
Ø155h6	0,2	2000	160	35	3	4,84	табличний
Ø130h6	0,2	2000	160	35	3	7,15	табличний
Ø105h6	0,2	2000	160	35	3	3,36	табличний

## 6.5 Технічне нормування операцій

Операція 050 – Токарна з ЧПК

Визначаємо машинний час за формулою:

Розрахунок головного часу обробки деталі вираховується за формулою:

$$T_o = \frac{l_{px}}{S_{xv}} \times i \text{ (хв)}, \quad (2.15)$$

де  $l_{px}$  - довжина поверхні

$S_{xv}$  – хвилинна подача

$i$  – кількість проходів

$$T_o = \frac{223}{75,6} \cdot 1 = 2,94$$

Сумарна кількість хвилин головного на обробку для на пів-чистої стадії:

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3 + \dots + T_{15} + T_{16} + T_{17} = 2,94 + 5 + 10,5 + 4,04 + 0,6 + 15,8 + 0,6 + 7,28 + 6,56 + 0,42 + 2,32 + 1,87 + 0,47 = 58,4 \text{ (хв)}.$$

При виготовленні деталей дрібносерійному виробництві технічне нормування операції головним чином полягає у визначенні штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п.з}}{n} + T_o + T_d + T_{обсл} + T_{відп}, \quad (2.16)$$

Де  $T_{п.з}$  – підготовчо-заклучний час, хв;

$T_o$  – основний (технологічний) час, хв;

$T_d$  – допоміжний час, хв;

$T_{обсл}$  – час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{відп}$  – час, необхідний на особисті потреби робітника, хв;

$n$  – кількість деталей у партії.

Підготовчо-заклучний час визначається за формулою:

$$T_{п.з} = T_{п.з.1} + T_{п.з.2} \quad (2.17)$$

Де  $T_{п.з.1}$  – час на налагодження верстата і установку пристроїв,

$T_{п.з.1} = 20 \text{ хв}$  [9, дод. 6.3, с. 21]

$T_{п.з.2}$  – час на отримання і здачу інструмента,  $T_{п.з.3} = 5,3$  хв.

Тоді:

$$T_{п.з.} = 20 + 5,3 = 25,3 \text{ хв.}$$

Основний час  $T_o = 58,4$  хв. див. п. 7.5.

Допоміжний час  $T_\delta$  визначаємо за формулою:

$$T_\delta = T_{yc} + T_k + T_{вим} \quad (2.18)$$

де  $T_{yc}$  – час на установку та зняття деталі,  $T_{yc} = 5,2$  хв, [5, 197];

$T_k$  – час на прийоми керування,  $T_k = 2,2$  хв [5, 202];

$T_{вим}$  – час на вимірювання деталі,  $T_{вим} = 3,5$  хв [5, 209]

Тоді:

$$T_\delta = 5,2 + 2,2 + 3,5 = 10,14 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час:

$$T_{on} = T_o + T_\delta = 58,4 + 10,14 = 68,54 \text{ хв.}$$

Визначаємо  $T_{обсл}$  за формулою:

$$T_{обсл.} = T_{on} \cdot 3,5\% = 68,54 \cdot 0,035 = 2,39 \text{ хв.}$$

Визначаємо  $T_{відп}$  за формулою:

$$T_{відп} = T_{on} \cdot 5\% = 68,54 \cdot 0,05 = 3,42 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = T_{on} + T_{обсл.} + T_{відп} \quad (2.19)$$

Тоді,

$$T_{шт} = 68,54 + 2,39 + 3,42 = 74,35 \text{ хв.}$$

За формулою 18.21 штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = \frac{25,3}{2000} + 58,4 + 10,14 + 2,39 + 3,42 = 73,36 \text{ хв.}$$

Операція 065 – Фрезерна з ЧПК

Розрахунок головного часу обробки деталі вираховується за формулою:

$$T_o = \frac{l_{px}}{S_{xв}} \times i \text{ (хв)} \quad (2.18)$$



де  $l_{\text{рх}}$  - довжина поверхні

$S_{\text{хв}}$  - хвилинна подача

$i$  - кількість проходів

$$T_o = \frac{240}{1700} \cdot 45 = 7,41 \text{ хв.}$$

При дрібносерійному виробництві технічне нормування операції полягає у визначенні штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{\text{ш-к}} = \frac{T_{\text{п.з}}}{n} + T_o + T_d + T_{\text{обсл}} + T_{\text{відп}}, \quad (2.19)$$

де  $T_{\text{п.з}}$  - підготовчо-заключний час, хв;

$T_o$  - основний (технологічний) час, хв;

$T_d$  - допоміжний час, хв;

$T_{\text{обсл}}$  - час обслуговування робочого місця, хв;

$T_{\text{відп}}$  - час, необхідний на особисті потреби робітника, хв;

$n$  - кількість деталей у партії.

Підготовчий-заключний час визначається за формулою:

$$T_{\text{п.з}} = T_{\text{п.з.1}} + T_{\text{п.з.2}} \quad (2.20)$$

де  $T_{\text{п.з.1}}$  - час на налагодження верстата і установку пристроїв,

$T_{\text{п.з.1}} = 20$  хв [9, дод. 6.3, с. 21]

$T_{\text{п.з.2}}$  - час на отримання і здачу інструмента,  $T_{\text{п.з.3}} = 5,3$  хв.

Тоді:

$$T_{\text{п.з.}} = 20 + 5,3 = 25,3 \text{ хв.}$$

Основний час  $T_o = 58,4$  хв. див. п. 7.5.

Допоміжний час  $T_d$  визначаємо за формулою:

$$T_d = T_{\text{ус}} + T_k + T_{\text{вим}} \quad (2.21)$$

де  $T_{\text{ус}}$  - час на установку та зняття деталі,  $T_{\text{ус}} = 5,2$  хв, [5, 197];

$T_k$  - час на прийоми керування,  $T_k = 2,2$  хв [5, 202];

$T_{\text{вим}}$  - час на вимірювання деталі,  $T_{\text{вим}} = 3,5$  хв [5, 209]

Тоді:

$$T_d = 5,2 + 2,2 + 3,5 = 10,14 \text{ хв.}$$

Визначаємо оперативний час:

$$T_{on} = T_o + T_d = 33,37 + 10,14 = 43,51 \text{ хв.}$$

Визначаємо  $T_{обсл}$  за формулою:

$$T_{обсл.} = T_{on} \cdot 3,5\% = 43,51 \cdot 0,035 = 1,52 \text{ хв.}$$

Визначаємо  $T_{відп}$  за формулою:

$$T_{відп} = T_{on} \cdot 5\% = 43,51 \cdot 0,05 = 2,17 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час:

$$T_{шт} = T_{on} + T_{в.} \quad (2.22)$$

Тоді,

$$T_{шт} = 43,51 + 1,52 + 2,17 = 47,2 \text{ хв.}$$

За формулою 18.21 штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = \frac{25,3}{2000} + 33,37 + 10,14 + 1,52 + 2,17 = 47,21 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків зводимо в таблицю 6.5.

Таблиця 2.7 – Норми часу на обробку

№ операції	$T_o$	$T_{п.з.}$	$T_d$	$T_{вим.}$	$T_{оп.}$	$T_{обсл.}$	$T_{шт.}$	$T_{ш-к}$
030	58,4	25,3	10,14	3,5	68,54	1,52	74,35	73,36
055	33,37	25,3	10,14	3,5	43,51	1,52	47,21	47,21

## 2.8 Проектування верстатного пристрою

До пристроїв для верстатів з ЧПУ пред'являється ряд специфічних вимог, обумовлених особливістю цих верстатів, не дотримання яких значно знижує ефективність використання верстатів з ЧПУ.

Пристосування повинні мати підвищену розмірну точність. Похибки базування і закріплення, що виникають при установці заготовок в пристрої, повинні бути зведені до мінімуму. Для можливості використання повної потужності верстата на чорнових проходах і при обробці важкооброблюваних

матеріалів (титанові сплави, нержавіючі, жароміцні сталі та інші) пристрої повинні мати підвищену жорсткість конструкції.

Відносно переміщення заготовки та інструменту на верстатах з ЧПУ здійснюється в системі заданих координат. Отже, заготовка повинна мати повне базування в пристрої, а пристрій мати повне базування щодо нульової точки верстата. Верстати з ЧПУ забезпечують можливість обробки заготовки з одного боку за один установ. Для цієї мети пристрій повинний забезпечити можливість підходу інструмента до всіх оброблюваних поверхонь.

Пристосування розрізняють залежно від типу виробництва. У масовому і багатосерійному виробництвах в основному застосовують спеціальні пристосування призначені для виконання певних операцій для заданих заготівель на конкретному верстаті. В умовах серійного виробництва застосовують агрегатні пристосування, що складаються з базової частини і змінних насадок. У дрібносерійному виробництві широко поширені універсальні і універсально-збірні пристосування.

Метою проектування є досягнення максимальної точності деталі, з мінімальною втратою часу та коштів, також дане проектування має спростити процес обробки деталі.

#### 2.8.1 Аналіз вихідний даних

Обробка деталі “Вал” виконується на токарній операції з ЧПК, на багатоцільовому верстаті DOOSAN 700-XL PUMA. Система ЧПК Fanuc. На цій операції, за два установка точаться поверхні d155, d130, d105, d100 та l355, l387.5, l145, l35. Дана деталь виготовляється за програмою випуску на рік N=250 шт., враховуючи масу деталі  $m=435$  кг – відповідає середньосерійному типу виробництва. Матеріал деталі Сталь 45ХГМА.

Обладнання – багатоцільовий верстат DOOSAN 700-XL PUMA, система ЧПК Fanuc. Ця модель станка має програмовану інструментальну револьверну головку. Станок призначений для обробки зовнішніх поверхонь на токарних і фрезерних операціях, для тіл обертання ступінчастого і криволінійного профілю,

а також для нарізання різьби. Верстат дозволяє вести обробку за один або декілька проходів в замкнутому напівавтоматичному циклі одночасно за трьома координатами.

Верстат устатковано програмним забезпеченням ЧПУ FANUC (типу CNC), кількість керуючих осей - 2 + 1шпінд (2D), тип – замкнений (імпульсний ДОС). Виготовляється два види шпіндельної бабки (на вибір замовника): а) з ручним перемиканням передач (КС); б) з частотним регулюванням (варіатором). Револьверна головка оснащена муфтою для швидкого та плавного індексування інструмента, що зменшує час обробки для деталей, де мають застосовуватися безліч інструментів. Робочий простір закривається захисним кожухами. Верстат має зручний доступ до пульта ЧПУ, пульт можна перемістити. Верстат зроблено з довжиною обробки 750 і 5000мм.

В базовій комплектації, що надає виробник, верстат устатковано автоматичною системою змазок направляючих і ШВП, освітленням для зон обробки, електромагнітним гальмом, 12-позиційною револьверною головкою, 3-х кулачковим патроном, набором ключів та інструмента.

Таблиця 2.8 – Технічна характеристика верстата мод. DOOSAN 700-XL PUMA

Характеристика	Величини
Максимальний діаметр встановлюваного виробу, мм	360
Ширина направляючих, мм	300
Максимальний обробляючий розмір, мм	750
Діаметр заготовки над супортом, мм	180
Поперечні переміщення, мм	205
Поздовжні переміщення, мм	620
Конус шпинделя	A2-6/D6
Характеристика	Величини
Діаметр патрона, мм	200
Конус отвору шпинделя	M6
Діаметр отвору шпинделя, мм	52

Діапазон швидкості шпинделя, об/хв	20-2800
Частотно-регулюючий привід, об/хв	75-950
Ступені швидкості шпинделя	2 діапазона
Потужність частотно-регульованого е/д, кВт	21
Сервомотора, кВт	21
Швидкі переміщення осі X/Z, м/хв	4/5
Точність позиціонування револьверної головки, мм	0,008
Час зміни інструменту – верт. 4х позиції. револьверна головка, з	2,1
Час зміни інструменту – горизонт. 6х позиції. револьверна головка, з	2,1
Конус пінолі, мм	M4
Висунення пінолі задньої бабки, мм	130
Діаметр пінолі, мм	60
Маса, кг	12000
Габаритні розміри, мм	7120x2260x2650

#### Ріжучий інструмент

Різець токарний з механічним кріпленням, під тиском важелем через отвір твердосплавної непереточуваної ромбічної пластини з ріжучою кромкою 12,7 мм і кутом в плані 95°, задній кут пластини 0°, правий перетин Н×В=20×20 мм, довжиною 125 мм. Різець PCLNR 2020-K12 T15K6.

Різець спеціальний канавковий, для точіння канавки з напайною частинкою з твердого сплаву T15K6.

Різець токарний різьбовий типу 1, перетином Н×В=25×16 мм, для метричної різьби з кроком S=2 мм, з пластинкою з твердого сплаву марки T15K6. Різець 2660-0005 з ГОСТ 18885-73\*.

#### Вимірювальний інструмент

Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-89\*

Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,1-2 ГОСТ 166-89\*

2.8.2 Визначення кількісних і якісних результатів виконання операції

Виконаємо аналіз точності оброблюваних на операції поверхонь, а саме циліндричної поверхні, що регламентується розмірами  $\varnothing 130$ ,  $\varnothing 105$ ,  $\varnothing 110$  та на три лінійних розміри  $l_1=3570_{-0,5}$  мм,  $l_2=1823,5 \pm 0,5$  мм та  $l_3=266$ .

Таблиця 2.9 – Матриця відповідностей

№ точки	Міра свободи	База
1,2,3,4	I,II,V, IV	ДНБ
5	III	ОБ

Таблиця 2.10 – Матриця зв'язків

База	X	Y	Z	Міри волі
ДНБ	0	1	1	↺
	0	1	1	↻
ОБ	0	0	0	↺
	1	0	0	↻

### 2.8.3 Точність розмірів

Для прикладу обираємо найближче найменше стандартне значення допуску на 3 діаметральних розміри на  $d130h6=-0,025$  мкм,

$d110$  на даний розмір надаємо квалітет  $h14$  і його найменше стандартне значення точності дорівнює  $-0,87$  мкм,  $d105h7=-0,022$  мкм і на три лінійних розміри  $l_1=3570_{-0,5}$  мм,  $l_2=1823,5 \pm 0,5$  мм та  $l_3=266 \pm 0,5$  мм. Відхилення на кут фаски відповідають  $\pm IT16/2$ , тож обмежуються граничними відхиленнями  $45^\circ \pm 1^\circ$ .

Визначаємо параметри точності для поверхонь: зовнішній циліндр  $d130h7$ ,  $d110$  та  $d105h7$  характеризується відхиленням від круглості і циліндричністю та нормується за ГОСТ24643-1\*. Оскільки розглянуті поверхні на кресленні не містить допуск форми, то визначимо допуски циліндричності та круглості, виходячи з рівняння геометричної точності А (нормальна точність) та з розрахунку 30% від допуску на діаметральний розмір:

$$T_{d130h6}=0,3 \times T_{d130h6}=0,3 \times 25=7,5 \text{ мкм.}$$

#### 2.8.4 Точність форми

Беремо найближче стандартне значення допуску циліндричності та круглості де  $T_{d130h6}=8$  мкм, що відповідає 6 ступеню точності. Похибка форми торця обмежена діаметральним розміром  $d155h6$ , характеризується відхиленням від площинності. Оскільки на кресленні допуск форми не заданий, то для рівня геометричної точності А, не зазначений допуск площинності беремо орієнтовно у межах 30% на розмір 46 мм.

$$T=0,3 \times T_{46}=0,3 \times 430=129 \text{ мкм.} \quad (2.23)$$

Згідно таблиці допусків форми, беремо найближче стандартне значення допуску площинності  $T=129$  мкм, що відповідає ступеню точності 0,25 мм -14 ступінь точності.

#### 2.8.5 Точність розташування

Кресленням деталі регламентується радіальним биттям (сумарний допуск розташування та форми) зовнішньої циліндричної поверхні. Торцеве биття розміром  $d95$  не вказане на кресленні, тому визначаємо з розрахунку 30% від допуску на розмір 46 мм.

$$T=0,3 \times T_{46}=0,3 \times 430=129 \text{ мкм.} \quad (2.24)$$

Згідно таблиць розташування допусків поверхонь, беремо найближче стандартне значення торцевого биття  $T=129$  мкм – 13 ступінь точності.

#### 2.8.6 Ступінь шорсткості

Шорсткість оброблюваних поверхонь вказано на кресленні та має значення 0,8 мкм на поверхні  $d130h6$  і  $d105h6$  та 3,2 мкм на  $d110$ , за критерієм  $Ra$  (середнє фрефмитичне відхилення форми), що відповідає сьомому і п'ятому класу точності.

#### 2.8.7 Визначення умов, в яких буде виготовлятися та експлуатуватися проектований пристрій

Річна програма випуску задана в 2000 деталей при попередніх розрахунках. Така програма з урахуванням трудомісткості повністю задовільняє

дрібносерійному типу виробництва. Можна зробити висновок, що пристрій використовується з достатньо великою інтенсивністю. З цього виходить, що за період виготовлення деталі “Вал” (1 рік) пристрій повинен здійснити 2000 робочих циклів.

Заготовка буде оброблюватися на верстаті із ЧПК моделі 2P135Ф2.

Основні параметри верстата:

- частота обертання шпинделя – 2000 об/хв;
- подача – 1,6 мм/об;
- максимальна осьова сила різання:  $P = 9000 \text{ Н}$ ;
- потужність електродвигуна – 2,8 кВт;
- ККД верстата  $\eta = 0,8$ .

#### 2.8.8 Складання переліку функцій, які реалізуються

- 0 Переміщення і попередня орієнтація заготовки;
- 1 Базування заготовки у верстаті;
- 2 Закріплення заготовки у верстатному пристрої;
- 3 Закріплення пристрою на верстаті;
- 4 Підведення і відведення енергоносія;
- 5 Утворення вихідної сили для закріплення;
- 6 Керування енергоносієм;
- 7 Об'єднання функціональних вузлів;
- 8 Створення безпечних умов праці для робочого персоналу.

#### 2.8.9 Розробка та обґрунтування схеми базування

При виборі баз необхідно керуватися наступними правилами (принципами): При обробці деталі велику роль грає чистота та точність поверхонь тому, поверхні повинні бути рівні й чисті, без зварених швів, прибутків, літників і мати достатні розміри; "постійності" та «сумісності» баз.



### 2.8.10 Аналіз точності поверхонь, що претендують на роль базових

Деталь базується і закріплюється в патроні з самоцентруючими кулачками з рухомим центром. В цілому позбавлена п'яти ступенів свободи, установча база позбавляє трьох ступенів свободи по осі  $Z$  – повздовжнього переміщення і по осях  $x$ ,  $y$  – обертання; подвійно опорна база позбавляє свободи переміщення вздовж осей  $x$ ,  $y$ , також розмір  $l=3570$  мм технологічна база, закріплена за правим торцем та вимірвальна база, закріплена за лівим торцем.

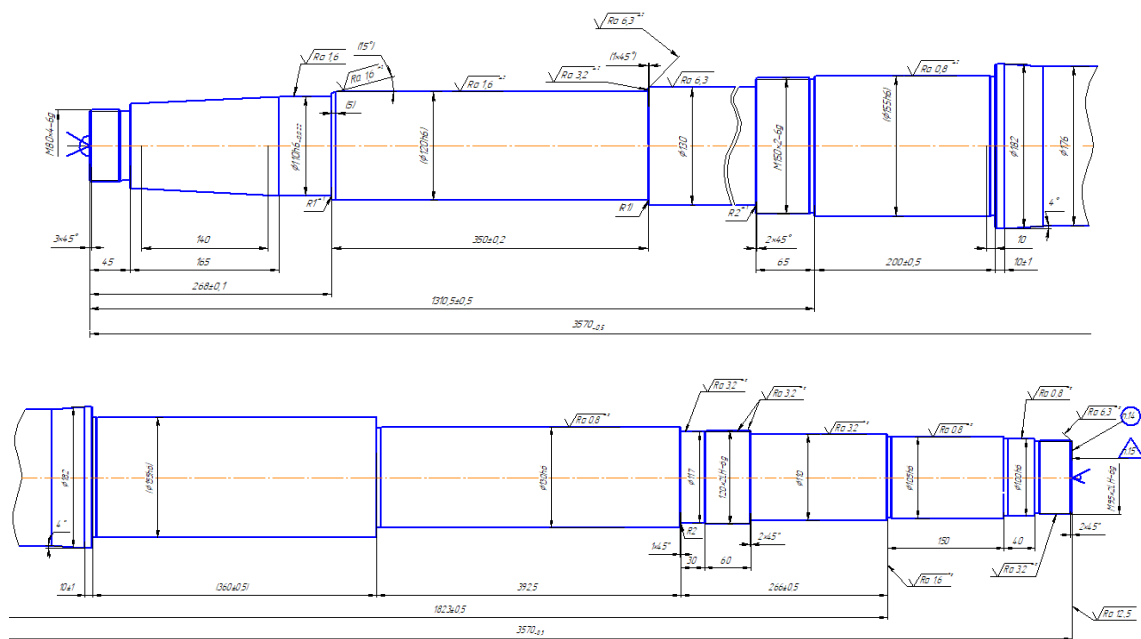


Рисунок 2.7 – Ескіз деталі

Згідно правила вибору чистових баз обираємо як базові поверхні заготовки центрові отвори. Таким чином ми маємо змогу задовольнити принципи сумісності та постійності баз.

Згідно рисунку 6.1 схеми базування заготовки маємо такі бази:

- на лівому центровому отворі – подвійна опорна база яка позбавляє заготовку 2-х степенів вільності (поступальне переміщення вздовж осей  $Y$  та  $Z$ ).
- на правому центровому отворі – подвійна опорна база яка позбавляє заготовку 2-х степенів вільності (обертання навколо осей  $Y$  та  $Z$ ).
- на лівому центровому отворі – опорна база яка позбавляє заготовку 1-го ступеня вільності (постійне переміщення вздовж осей  $X$ ).

Виконаємо аналіз схеми базування заготовки з точки зору забезпечення точності, операції розмірів:  $\varnothing 130h7$ ,  $\varnothing 105h7$ ,  $\varnothing 110$ ,  $13570 \pm 0.5$ .

Діаметральні розміри  $\varnothing 130h7$ ,  $\varnothing 105h7$ ,  $\varnothing 110$  забезпечуються автоматично у зв'язку з тим що, заготовка базується в центрах, технологічна та вимірювальна бази співпадають тож похибка базування  $E_6=0$ .

Для лінійного розміру  $3570 \pm 0.5$  мм, технологічна та вимірювальна бази не співпадають, тож  $E_6 \neq 0$ .

$$E_{63570} = T_{3570} = 0.5 \text{ мм} = T_{3570} = 0.5 \text{ мм, що є не прийнятним}$$

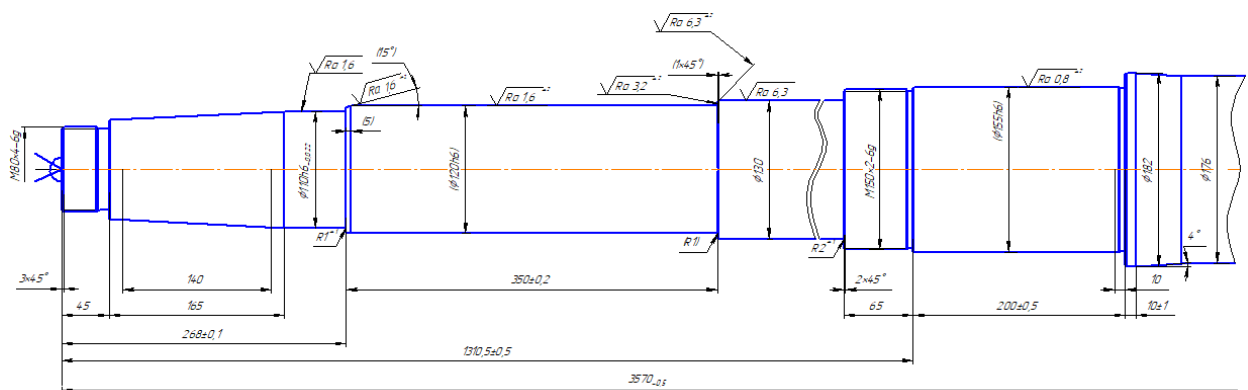
Для нівелювання похибки базування заготовки у даному випадку передбачаємо осьове налагодження положення інструменту по правому торцю заготовки.

### 2.8.11 Аналіз схеми закріплення заготовки.

Аналіз структурі полів збурюючих сил та структури полів зрівноважувальних сил

Для передачі обертання заготовці передбачається використання комбінованого трикулачкового самоцентрувального токарного патрону.

При цьому кулачки стискаючи зовнішню циліндричну поверхню  $\varnothing 80$  мм з урахуванням цього розглянемо схему закріплення заготовки, див. рис. 7.2.



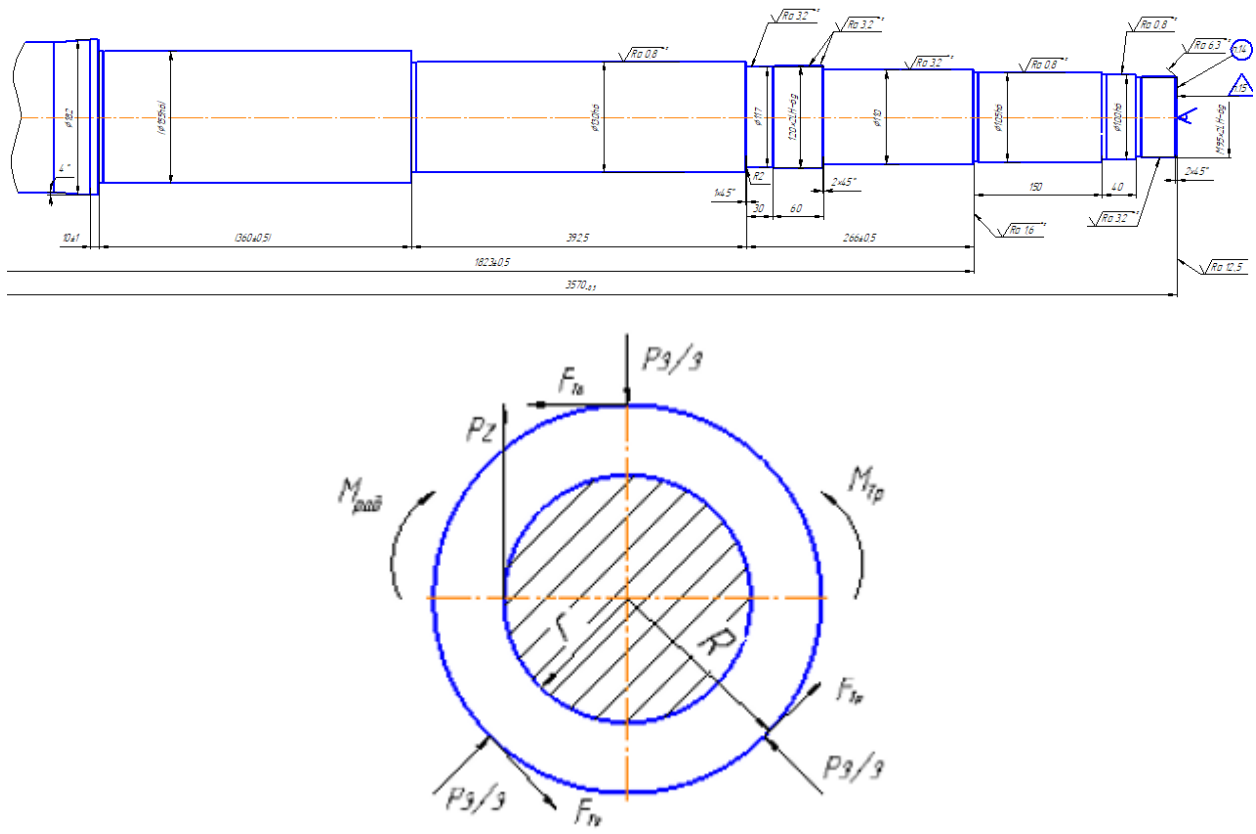


Рисунок 2.8 – схема закріплення заготовки

Відповідно запропонованої схеми закріплення заготовки силу закріплення можна розрахувати за формулою:

$$P_3 = 2MK / (D_3 \cdot f) \quad (2.25)$$

де  $K$  - коефіцієнт запасу;

$M_{кр}$  - крутний момент, діючий на заготовку при фрезеруванні, Н·м;

$D$  - діаметр заготовки, м;

$f_1, f_2$  - коефіцієнти тертя відповідно в місцях контакту заготовки з опорами і затискними елементами, по [11] с.85, таблиця 10 при контакті обробленої заготовки з опорами і затискними елементами пристосування  $f_1 = f_2 = 0,20$ .

$n=3$  – кріплення

Коефіцієнт запасу  $K$  вводять в формули при обчисленні сили  $P_3$  для забезпечення надійного закріплення заготовки, по [11] с.85:

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6, \quad (2.26)$$

- де
- $K_0$  - коефіцієнт гарантованого зазору,  $K_0 = 1,5$ ;
  - $K_1$  - коефіцієнт, враховуючий збільшення сил різання через випадкові нерівності на оброблюваних поверхнях, при чистовій обробці,  $K_1 = 1,0$ ;
  - $K_2$  - коефіцієнт, що характеризує збільшення сил різання внаслідок затуплення ріжучого інструменту, за [11] с. 84, таблиця 9,  $K_2 = 1,6$ ;
  - $K_3$  - коефіцієнт, враховуючий збільшення сил різання при переривчастому точінні і торцевому фрезеруванні,  $K_3 = 1,2$ ;
  - $K_4$  - коефіцієнт, що характеризує сталість сили закріплення, при використанні пневмоциліндрів подвійної дії,  $K_4 = 1,3$ ;
  - $K_5$  - коефіцієнт, що характеризує ергономіку ручних затискних механізмів,  $K_5 = 1,0$ ;
  - $K_6$  - коефіцієнт враховують тільки при наявності моментів, які прагнуть повернути заготовку,  $K_6 = 1,5$ .
- 

Тоді  $K = 1,5 * 1,0 * 1,6 * 1,2 * 1,0 * 1,5 = 4,32$

$$P_{zyx} = 10 C_p t^x s^y v^n K_p \quad (2.27)$$

- де  $C_p$  - коефіцієнт, по [11] с.291, таблиця 41;  $C_p = 300$
- $\alpha, \gamma, n, z$ - показники ступеня, по [11] с.275, таблиця 41  $x = 1$ ;  $y = 0,75$ ;  $n = -0,15$ ;
- $t$  - глибина різання,  $t = 0,9$  мм;
- $S$  - подача,  $S = 0,08$  мм;
- $V$  - швидкість різання  $V = 370$  мм/хв
- $n$  - частота обертання шпинделя,  $n = 800$  об/хв;
- $K_p$ - поправочний коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу, визначається за формулою.

Згрупувавши вибрані і розраховані значення у формулу, визначаємо головну складову сили різання:

$$P_z = 10 * 300 * 0,9^1 * 0,08^{0,75} * 125,6^{-0,15} * 4,32 = 2841,2 \text{ Н}$$

Щоб визначити момент різання застосуємо формулу:

$$M_{рез} = P_z \cdot r \quad (2.28)$$

де  $P_z$  - сила різання;

$r$  - менший радіус заготовки.

Підставивши вибрані і розраховані значення у формулу, визначаємо момент різання:

$$M_{рез} = 2814,2 * 85 = 239207 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Підставивши розраховане значення моменту різання в формулу, визначаємо силу закріплення:

$$P_3 = 2 * 239207 * 4,3 / (130 * 0,2) = 79122,3 \text{ Н}$$

Обґрунтування вибору механізованого приводу та сила затиску

При даному способі кріплення обираємо пневмокамеру двох сторонньої дії, тому що виконується переміщення кулачків патрону при затисканні та розтисканні оброблюючої деталі. Передавальні відношення сил  $i_c$  залежать від кута  $\alpha$  клина та схеми механізму. Клино-плунжерні силові механізми дозволяють забезпечити значні зусилля при відносно не великих зусиллях силових приводів що дозволяє зменшити габарити верстатних оснащення. Силу на приводі розраховуємо за формулою:

$$Q = P_3 / i_c$$

Знаходимо значення  $i_c$ , оскільки  $\alpha = 15^\circ$  і схему механізму обираємо з одностороннім плунжером без ролика див. на кресленні, то  $i_c = 15^\circ = 1.9$

Підставивши вихідні дані ми отримуємо таке рівняння:

$$Q = 79122,3 / 1.9 = 41643 \text{ Н}$$

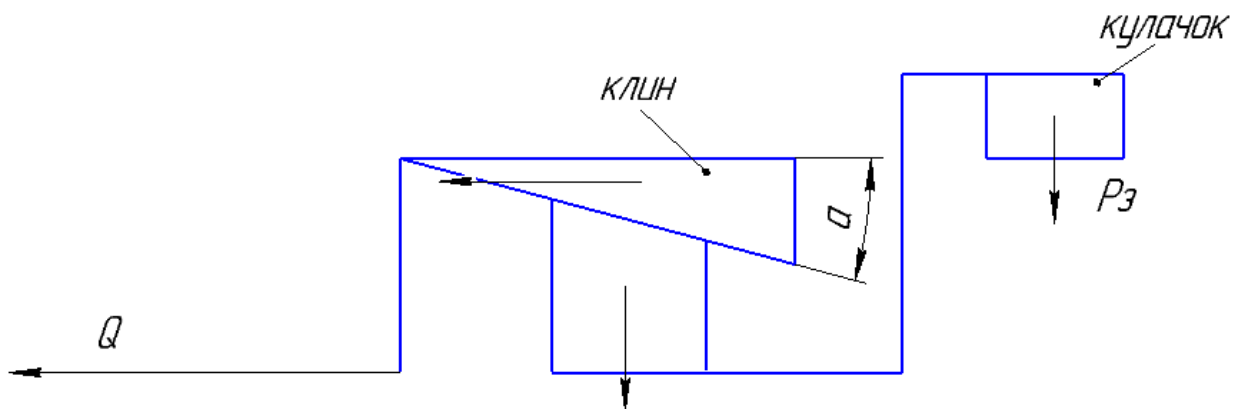


Рисунок 7.3 – схема сил затиску

Дана сила затиску заготовки перевищує силу затиску заготовки, від тієї яка потрібна для затиску, отже пристосування задовільняє фіксоване положення деталі при обробці.

Дійсна сила на штоці для циліндру двосторонньої дії при подачі повітря в штокову порожнину розраховується за формулою [3, ст.64]:

$$P_d = \frac{\pi}{4} \cdot D_{II}^2 \cdot p \cdot \eta \quad (2.29)$$

де  $D$  – діаметр пневмоциліндру, мм

$p$  - розрахунковий тиск,  $p=0,4$  МПа

$\eta$  - коефіцієнт корисної дії,  $\eta=0,9$

Діаметр пневмоциліндру, який забезпечує необхідну силу для затиску заготовки, розраховується за формулою [3, ст.52]:

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot P_3}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (2.30)$$

$$D_{II} = \sqrt{\frac{4 \cdot 79122}{\pi \cdot 0,4 \cdot 0,9}} = 530 \text{ мм.}$$

Розрахунок точності пристрою ґрунтується на твердженні про те, що здебільшого похибка розташування оброблюваної деталі, залежить від точності та якості верстатного пристрою та буде задовільняти всі свої технічні характеристики як при закріпленні деталі, так і при її обробці. Також при цьому сумарна кількість ймовірних похибок, що виникають при обробці заготовки, не має бути не більше зазначеного допуску, що вказано на розмір креслення і виконується при виконанні даної операції. З теоретичної сторони питання, розрахунки допусків на виготовлення складових пристрою уособлюють собою перетворення даних про точність обробки поверхонь заготовки на вказаній операції в точності вимоги до пристрою.

Розрахункову похибку для верстатного оснащення знаходимо за формулою [3, ст.120] (7.9). Більшість складових елементів, що входять у дану формулу, являють собою сумарну кількість полів розсіювання випадкових величин, тому їх

підсумовуємо у загальному випадку за математичним правилом геометричного додавання.

$$\Sigma_{\text{пр}} = T \cdot K \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + \varepsilon_n^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2} \quad (2.31)$$

Розглянемо детальніше складові елементи, що входять до формули.

$T = 40$  мкм – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, що одержують на вказаній операції, а саме допуск на радіальне биття);

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

$K_{T1} = 0,80$  – коефіцієнт, що враховує певне зменшення граничного значення похибки базування;

$\varepsilon_6 = 48$  мкм – похибка базування,

$\varepsilon_3 = 10$  мкм – похибка закріплення (табл. 3.3) [4];

$\varepsilon_y = 20$  мкм – похибка установки пристрою на верстаті [4, с. 21];

$\varepsilon_{\Pi} = 0$  – похибка перекосу інструмента (відсутні постійні або змінні напрямні втулки);

$\varepsilon_{\text{зн}} = 0$  – похибка зношування (див. п 3.2, при рівномірному зношуванні робочої поверхні оправки) [4]

$K_{T2} = 0,6$  – коефіцієнт що враховує можливість появи похибки обробки (див. п 3.2) [2]

$\omega = 8$  мкм – значення допуску для 7 квалітету середньої економічної точності нарізання різі для розміру 8 мм (див. табл. 3.7) [3]

$\varepsilon_{\text{поз}} = 25$  мкм – похибка позиціювання (відповідно до паспорта верстата).

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати:

$$\Sigma_{\text{пр}} = 0,04 \cdot 1,2 \sqrt{(0,8 \cdot 0,048)^2 + 0,01^2 + 0,02^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 0,08)^2 + 5^2} = 0,02$$

З урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності [3, с. 106]  $T = 200$  мкм.

Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що допуск перпендикулярності осі заготовки до столу верстата не більше 0,02 мм.

Верстатний пристрій в зібраному вигляді повинен задовольняти технічні вимоги креслення загального виду й забезпечувати практичну та ефективну обробку заготовки по заданим розмірам, що дозволяє зменшити похибки при обробці.

Всі деталі й вузли пристрою піддати візуальному контролю, а виявлені

Експлуатація пристрою:

- 1) Установити на передню бабку верстата й підключити до пневмомережі.
- 2) Підготувати базові поверхні до установлення заготовки.
- 3) Установити заготовку в патрон.
- 4) Натисканням педалі зафіксувати деталь
- 5) Після обробки зробити розтиск деталі повторнім нажаттям педалі
- 6) Пристрій зберігати на дерев'яній підставці

## **2.9 Проектування контрольно-вимірювального пристрою**

Згідно завдання необхідно спроектувати калібр скобу для контролю поверхні  $\emptyset 155h6$ .

Точність деталей з допуском від IT6 до IT9 найбільш часто перевіряють граничними калібрами. Комплект робочих граничних калібрів для контролю розмірів гладких циліндричних деталей складається з прохідного калібру ПР та непрохідного калібру НЕ.

За призначенням калібри поділяють на дві основні групи: робочі калібри ПР та НЕ і контрольні калібри (К-ПР, К-НЕ, К-І).

Робочі калібри призначені для контролю виробів в процесі їхнього виготовлення. Цим калібром користуються робочі і контролери ОТК заводу-виробника, причому в останньому випадку застосовують частково зношенні калібри ПР і нові – НЕ. Контрольні калібри К-ПР, К-НЕ застосовуються для установки регулюючих калібрів-скоб. Контрольний калібр К-І є непрохідним і служить для вилучення із експлуатації внаслідок зносу прохідних робочих скоб.



Визначаємо граничні розміри калібр-скоби для вала діаметром  $d=155$  мм з полем допуску  $h6$  (граничні відхилення:  $es=0$  мм,  $ei=-0,022$  мм).

Граничні розміри валу визначаємо по формулі:

$$d_{\max}=d+es$$

$$d_{\max}=155+0=155 \text{ мм,}$$

$$d_{\min}=d+ei$$

$$d_{\min}=155+0,022=154,978 \text{ мм.}$$

По 20 с.40 таблиця 2.3 для квалітету  $\beta_1$  інтервалу розмірів 120/180 мм, знаходимо дані для розрахунку калібр-скоб  $H_1=6$  мкм,  $Z_1=5$  мкм,  $Y_1=4$  мкм. Схема розташування полів допусків див. рисунок 1.

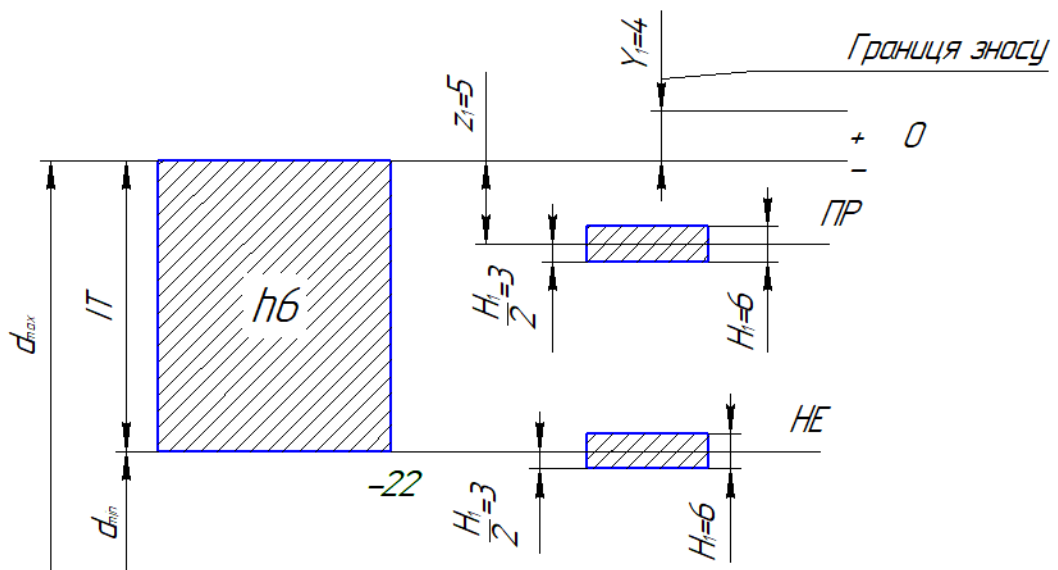


Рисунок 2.7 – Схема розташування полів допусків

Граничні розміри калібр-скоб визначаємо за формулою:

$$ПР_{\max}=d_{\max}+Z_1+H_1/2$$

$$ПР_{\max}=155-0,005+0,006/2=154,998 \text{ мм,}$$

$$ПР_{\min}=d_{\min}+Z_1+H_1/2$$

$$ПР_{\min}=155-0,005-0,006/2=154,992 \text{ мм,}$$

Виконавчий розмір  $154,992^{+0,006}$  мм,

$$НЕ_{\max}=d_{\max}+H_1/2$$

$$НЕ_{\max}=154,978+0,006/2=154,981 \text{ мм,}$$

$$НЕ_{\min}=d_{\min}+H_1/2$$

$$НЕ_{\min}=154,978-0,006/2=154,975 \text{ мм,}$$

Виконавчий розмір  $154,975^{+0,006}$  мм,

Розмір зношеного ПР калібр-скоби визначаємо за формулою:

$$ПР_{ЗН} = d_{\max} + Y_1$$

$$ПР_{ЗН} = 155 + 0,004 = 155,004 \text{ мм.}$$

## 2.10 Висновок

При дослідженні базового технологічного процесу було проаналізовано всі процеси обробки деталі, та внесені певні корективи, що дозволять в подальшому прискорити виготовлення деталі, без змін її технологічних властивостей. Таким чином ми підвищимо економічну ефективність. Вдосконалення технологічного процесу було виконано шляхом заміни універсальних верстатів на нові з системами ЧПК, що значно звузило дистанцію переміщень деталі по цеху, за рахунок виконання багатьох операцій на валовому оброблюваному центрі.

## РОЗДІЛ 3

### НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ РОЗДІЛ

#### 3.1 Проектування верстатного оснасткового пристрою

##### 3.1.1 Принцип роботи і спосіб використання люнети

Люнети використовуються з ціллю надання деталі додаткової точки опори при обробці валів де  $L/D > 12$ . Як правило використовують універсальні нерухомі чи рухомі люнети з рухомими кулачками і спеціальними для обробки певних деталей.

Нерухомі люнети встановлюються на направляючих станині верстата, надаючи точки опори і жорсткості для деталі від прогибу, при дії на неї сили дії інструменту під час обробки.

В нашому випадку буде модернізовано пристрій нерухомого люнети, беручи за основу існуючі люнети. Корпус 1 (див. рис.) встановлюється на напрямних станини за допомогою фіксуючого болта 10 та планки 8. Верхня відкидна частина-обойми 4 з'єднується з корпусом 1 за допомогою накидного болта 9.

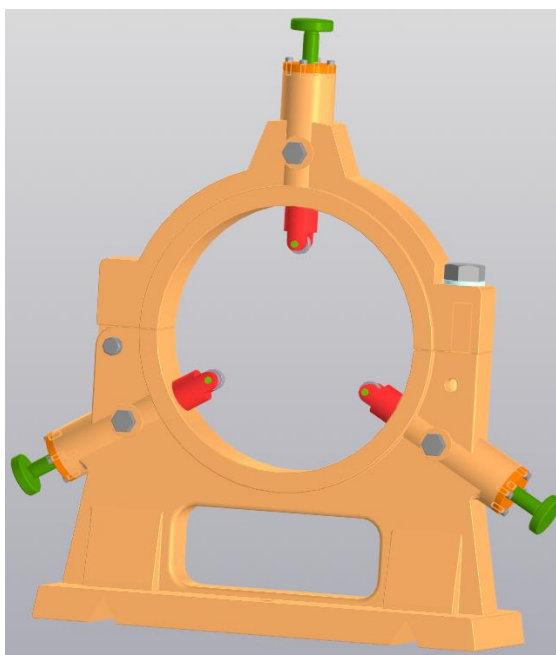


Рисунок 3.1 – Нерухомий люнет до верстату 3М194

Кулачки в основі кришки змінюються на шарикопідшипники 14, що дозволить підвищити швидкість обробки деталі і значно підвищить якість та точність розмірів деталі на верстаті ЗМ194.

Схема використання проектованого пристрою складається з наступних послідовних вимог. Шарикопідшипники корпусу 1 люнета налагоджують на діаметр чи по контурному валику, що має буду встановленим в центрах. Потім закриваємо обойму 4 люнета і накидуємо болтом 9 за допомогою гайки 12 прижимають кришку до основи. Після цього гвинтом 2 у кришці люнета регулюємо положення шарикопідшипника в вилку 7 втулки 5, таким чином, щоб деталь прижималася до шарикопідшипника основи з певним зусиллям.

### 3.1.2 Розрахунок верстатного пристрою

Проведемо розрахунок болтових з'єднань і прижимних зусиль спроектованого нерухомого люнета на стійкість і зусилля зажиму.

#### 1) Напруження з'єднання (попередня затяжка)

При затяжці гайки 13 в болті 10 виникають великі сили натягу і скручування (рис.). Спрощенно болт в напруженому з'єднанні розраховуються тільки на силу розтягнення, скручування буду враховані збільшенням сили розтягнення  $P$  на 25-30%.

Напруження виникає після дії робочого навантаження. Умова міцності болту вираховують за формулою:

$$\frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot [\delta_p] = P$$

Звідси отримуємо наступну формулу:

$$d_1^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot P}{\pi \cdot [\delta_p]}}$$

де  $P = 25000$  Н - постійне навантаження, що допускається;

$d_1$  – внутрішній діаметр різьблення;

$[\delta_p] = 175 \text{ МПа}$  - допустима напруга при розтягуванні. Рис.2.1.3.

Напружене болтове з'єднання

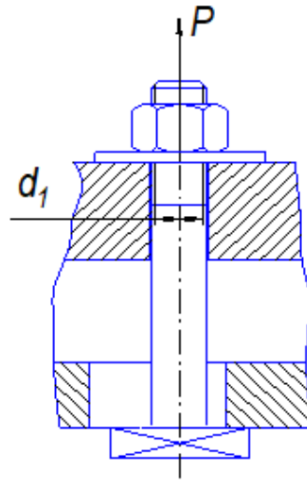


Рис.2.9 – Креслення закріплення

Підставляючи необхідні величини формулу (2.9), визначимо мінімальне значення внутрішнього діаметра болта 10 для кріплення люнета до основи верстата:

$$d_1^2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 25000}{\pi \cdot 175}} = 13,5 \text{ мм}$$

Приймається різьблення із зовнішнім діаметром  $d=M16$ .

2) Затискаючі вузли (зусилля затиску).

а) Розрахуємо зусилля затиску, що передається гайкою 13 при ручному додатку зусилля за допомогою гайкового ключа M16 (рис.2.1.4) за такою формулою:

$$Q = \frac{P \cdot L}{R_{cp} \cdot \text{tg}(\alpha + q) + 0.33 \cdot \mu \cdot \frac{D_n^3 - D_g^3}{D_n^2 - D_g^2}}$$

де  $P = 100 \text{ Н}$  - величина прикладеного зусилля;

$L = 190 \text{ мм}$  - довжина ключа (плечо докладання зусилля);

$R_{cp} = 7,35 \text{ мм}$  - середній розмір різьблення M16;

$\alpha=2030'$ -кут підйому різьблення;

$q=6034'$ -кут тертя в різьбовому з'єднанні для метричного різьблення;

$m=0.1$  - коефіцієнт тертя на торці гайки;

$D_n$  і  $D_v$  - зовнішній та внутрішній діаметри опорного торця гайки.

Звідси знаходимо за формулою (2.10) зусилля затиску, що передається гайкою 13:

$$Q = \frac{100 \cdot 200}{R_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + q) + 0.33 \cdot \mu \cdot \frac{27,71^3 - 24^3}{27,71^2 - 24^2}} = 7720 \text{ Н}$$

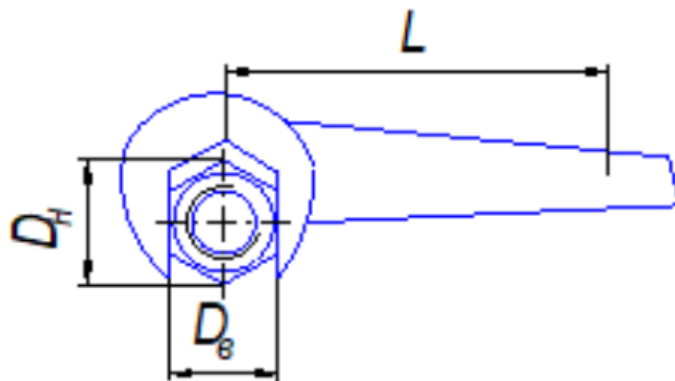


Рис.2.10 - Розрахунок зусиль затиску на гайці

б) Розрахуємо зусилля затиску, що передається гвинтом 3 з плоским опорним кінцем при ручному додатку зусилля за допомогою гайкового ключа М12 (рис.2.1.5) за такою формулою:

$$Q = \frac{P \cdot L}{R_{cp} \cdot \operatorname{tg}(\alpha + q) + 0.6 \cdot \mu \cdot r}, \quad (2.11)$$

де  $P=45$  Н - величина прикладеного зусилля;

$L=140$  мм - довжина ключа (плечо докладання зусилля);

$R_{cp}=5,43$  мм - середній розмір різьблення М16;

$\alpha=2030'$ -кут підйому різьблення;

$q=6034'$ -кут тертя в різьбовому з'єднанні для метричного різьблення;

$$Q = \frac{45 \cdot 140}{5,43 \cdot \operatorname{tg}(0,158) + 0,6 \cdot 0,1 \cdot 4,4} = 5580 \text{ Н}$$

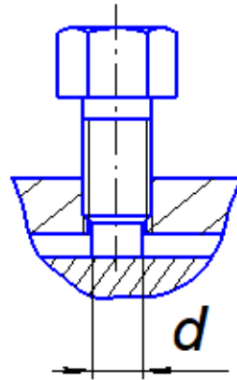


Рис.2.11 - Розрахунок зусиль затиску гвинта

### 3.2. Модальний аналіз частот власних коливань вимірювального пристрою

#### 3.2.1 Модальний аналіз

Методологія визначення динамічних характеристик конструкцій за результатами резонансних випробувань їх складових частин полягає в проведенні випробувань моделі деталі, побудові математичних моделей деталі за результатами випробувань, побудові повної математичної моделі всієї конструкції на підставі синтезування моделей деталі, визначенні динамічних характеристик всієї конструкції по повній математичній моделі. Невідомими параметрами математичних моделей є матриці інерції, жорсткості і демпфірування.

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

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

Модальний аналіз - це дослідження динамічних властивостей лінійних структур на базі структурного тестування або чисельного моделювання методом кінцевих елементів. У число динамічних властивостей входять резонансні частоти (власні частоти) і структурна форма (власний тип коливань). Динамічні властивості залежать від розподілу маси, жорсткості і демпфірування на структурі і визначають поведінку структурних коливань при впливі експлуатаційних навантажень. Кожна деформація лінійної структурної системи може бути виражена як лінійна комбінація структурних форм, які утворюють ортонормовану векторну базу.

Модальне тестування об'єднує збір даних з подальшим аналізом. У промисловій сфері цей процес часто називають "модальне тестування і аналіз" або "експериментальний модальний аналіз" (ЕМА).

Результати модального тестування і аналізу використовуються в різних додатках для чисельного моделювання і тестування, включаючи розрахунки чутливості до вібрації, аналіз основних причин викликаних вібрацією проблем і виявлення пошкоджень, а також щоб додати гнучкість в аналіз системи багатьох тіл і прискорення розрахунків довговічності і віброакустичних властивостей. Модальні розрахунки дуже надійні і дозволяють ефективно обчислювати зміни структури у відповідь на дії різного роду.

Результати модального аналізу: власні частоти і форми, узагальнені маси і декременти власних тонів коливань є вихідними даними привирішенні широкого кола завдань динаміки механічних систем. Справжня робота присвячена розробці



методології визначення характеристик власних тонів коливань конструкцій, що представляють собою сукупність окремих складових частин (підконструкцій), за результатами динамічних випробувань складових частин.

Доцільність вирішення проблеми визначення динамічних характеристик великогабаритних конструкцій за результатами випробувань їх складових підконструкцій пояснюється двома причинами. Перша причина полягає в тому, що такі конструкції на час випробувань повинні встановлюватися на опори. При цьому зазвичай не вдається реалізувати умови закріплення об'єкта випробувань, відповідні експлуатаційним, що може привести до великих погрешностей в оцінках характеристик власних тонів коливань. Другою причиною можуть бути великі габарити і складність конструкції в зібраному вигляді. Експериментальний модальний аналіз такої конструкції пов'язаний з серйозними труднощами.[22]

Модальний аналіз, виконаний на базі структурного тестування або моделювання методом кінцевих елементів, допоможе зрозуміти як буде поводити себе виріб в умовах вібрацій, навантажень та інших показників. Також аналіз дозволяє додати гнучкості в моделі аналізу деталей

### **3.2.2 МОДАЛЬНИЙ АНАЛІЗ КВП**

Так як відділ технічного контролю знаходиться неподалік цехів де відбувається виробництво деталей та наявні коливання обладнання від роботи необхідно провести аналіз частоти власних коливань контрольно вимірювального пристрою, щоб запобігти виникненню резонансу в процесі вимірювання тому, що це може вплинути на точність вимірювання. Для цього необхідно щоб вимірювальний пристрій міг витримувати більші частоти коливань ніж ті що можуть виникнути від верстатів при обробці. За допомогою вбудованого модуля в програмному комплексі ANSYS визначимо частоти власних коливань контрольно вимірювального пристрою і потім порівняємо з частотами, що можуть виникати при роботі цеху. За допомогою цих результатів буде можливість за необхідності удосконалити пристрій щоб запобігти резонансу і підвищити точність вимірювань.

Для визначення частот власних коливань з проєктованого пристосування умовно розділимо його на дві частини та приберемо деталь.

Це робиться для отримання більш точних результатів, та більш яскравого відображення можливих деформацій. На рис. 3.1 – 3.6 наведено форми власних коливань досліджуваного верстатного пристрою.

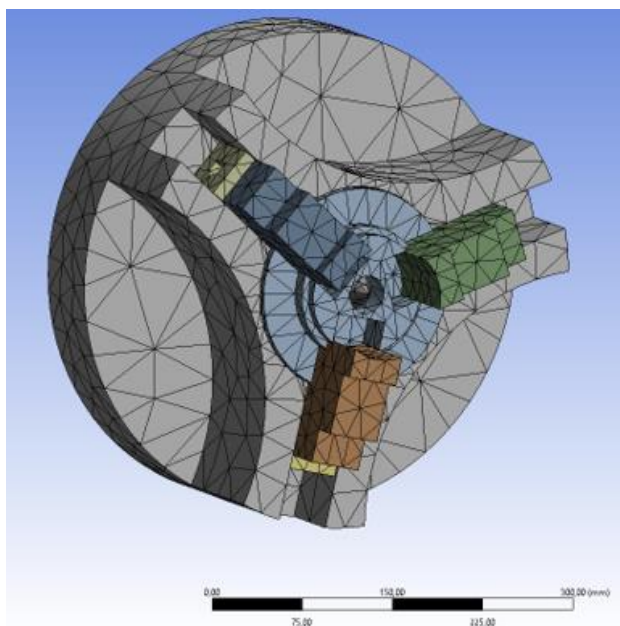


Рисунок 3.1 – Ілюстрація модельної сітки патрону

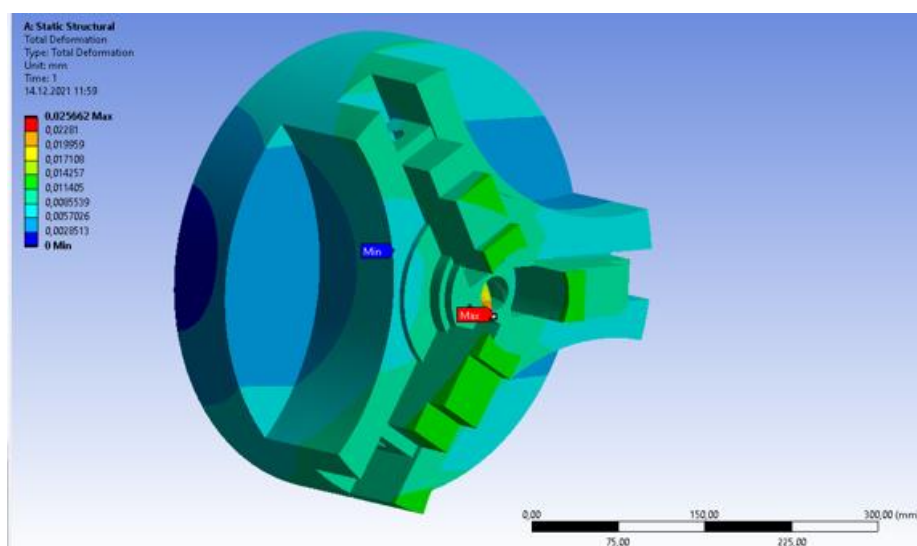


Рисунок 3.2 - Ілюстрація критичної частоти для стійки

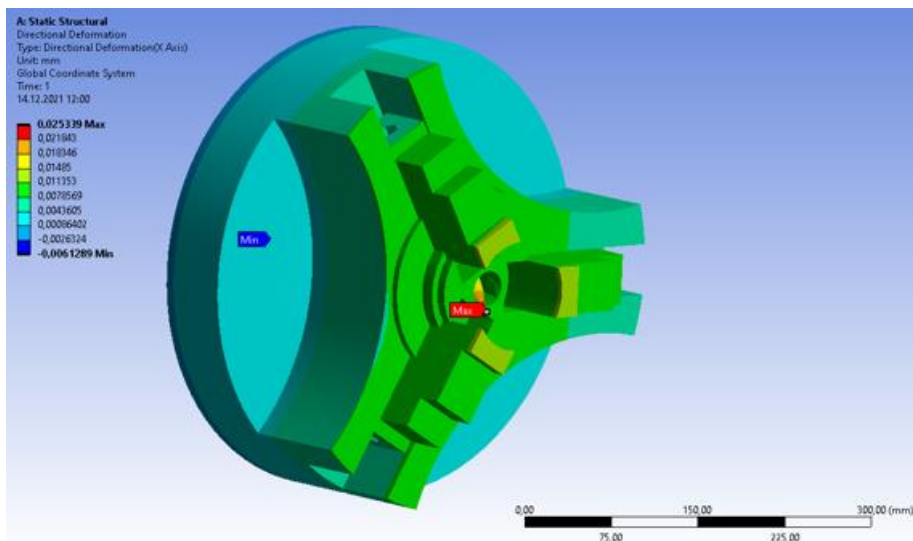


Рисунок 3.3 - Ілюстрація деформації по осі x

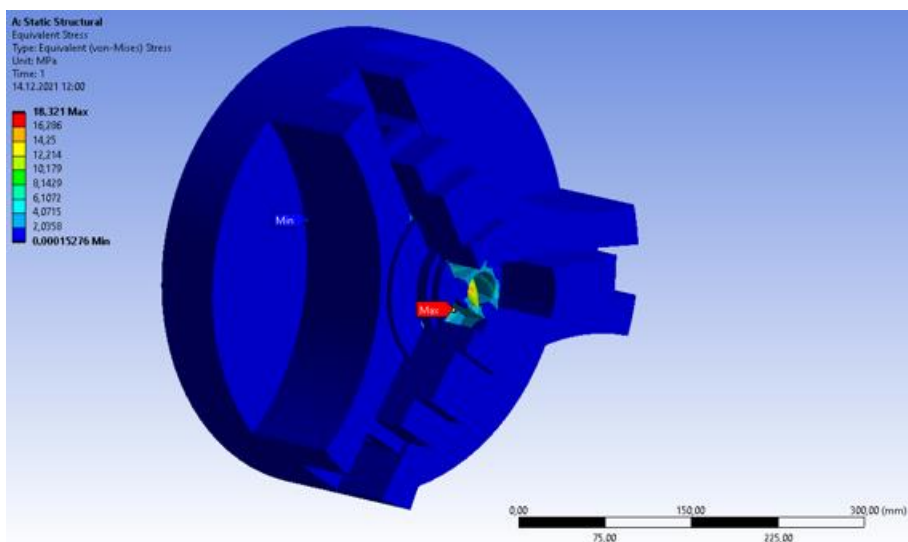


Рисунок 3.4 - Ілюстрація еквівалентного навантаження

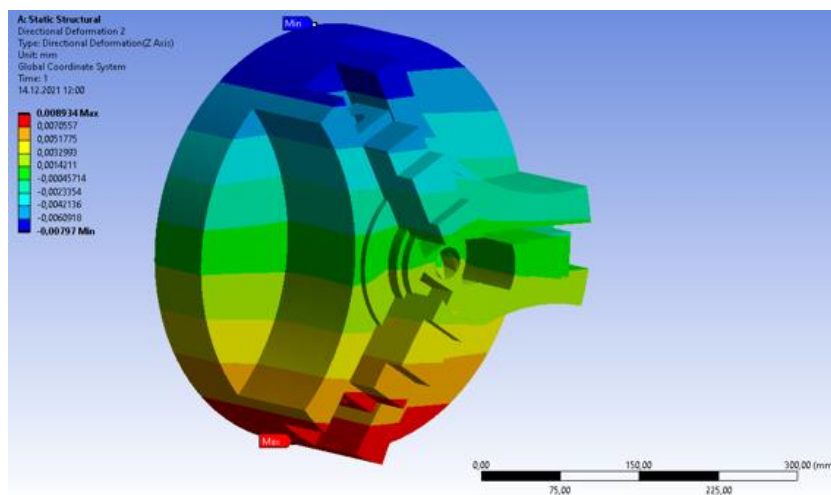


Рисунок 3.5 - Ілюстрація деформації по осі z

Дивлячись на отримані результати та величини коливань прямих відбуваються деформації можна зробити висновок, що пристрій буде нормально функціонувати і коливання обладнання цеху ніяк не вплинуть на виріб.

Результати модального аналізу дозволяють зробити висновок, що розрахунки виконано вірно і модель є адекватною. Оптимізації конструкція не потребує.

### **3.3 Висновок**

Визначено частоти власних коливань контрольно вимірювального пристрою, та встановлено, що частоти коливань які виникають в цеху під час роботи не вплинуть на точність вимірювання.

## ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи, було досліджено технологічний процес обробки для однієї з операцій виготовлення деталі “Вал Н12.178.34.01”.

При вивченні базового технологічного процесу було покращено способи обробки деталі, удосконаливши дещо технологічний процес, та технологічне оснащення. Спосіб отримання заготовки запропоновано залишити за базовим технологічним процесом, так як він є найбільш економічно і технологічно вигідним. Було обрано нове сучасне обладнання та інструмент для обробки деталі, вище вказані моделі верстатів дозволяють ефективніше і більш точно виконувати обробку деталі. Обґрунтовані схеми базування для токарної і фрезерної операції. Так як запропонований верстат здатен вести як токарну так і фрезерну обробку, то це дозволило виконувати фрезерну з ЧПК операцію на одному верстаті, що і токарну, а отже базування є ідентичним токарному. Всі режими різання, верстатне оснащення, вимірювальний та ріжучий інструмент, задовільняють умовам якості отримання деталі.

Крім того, в роботі запропоновано верстатний пристрій для операції, який дозволяє підвищити продуктивність праці.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАННЯ

1. **Панов, А. А.** Обработка металлов резанием: справочник / А. А. Панов, В. В. Аникин, Н. Г. Бойм и др.; под ред. А. А. Панова. – М. : Машиностроение, 1988. – 736 с.
2. **Егоров, М. Е.** Технология машиностроения : учебник [Текст] / М. Е. Егоров, В. И. Дементьев, В. Л. Дмитриев ; Под ред. М.Е. Егорова. — 2-е изд., доп. — М. : Высшая школа, 1976. — 534 с.
3. **Корсаков, В. С.** Основы конструирования приспособлений: учебник для вузов / В. С. Корсаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1983. – 277 с.
4. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.1 [Текст] / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 656 с.
5. **Косилова, А. Г.** Справочник технолога-машиностроителя: в 2-х т. Т.2 [Текст] / А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. — 4-е изд., перераб. и доп. — М.: Машиностроение, 1986. — 496 с.
6. **Руденко, П. А.** Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебник для вузов / П. А. Руденко. – Киев: Вища школа, 1985. – 255 с.
7. ДСТУ ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – К.: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2003. – 55 с.
8. **Горбачевич, А. Ф.** Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учеб. пос. [Текст] / А. Ф. Горбачевич, В. А. Шкред. — 4-е изд., перераб. и доп. — Минск : Высшая школа, 1983. — 256 с.
9. Методические указания к практическим работам «Автоматизированное проектирование карты операционных эскизов в интегрированной системе

«Компас» по курсу «САПР технологических процессов» / сост. Е. П. Квасов, А. Н. Онищенко. – Сумы : СумГУ, 1997. – 25 с.

10. Методические указания к практической работе «Автоматизированное проектирование карты наладки в интегрированной системе «Компас» по курсу «САПР технологических процессов» / сост. Е. П. Квасов, А. Н. Онищенко. – Сумы : СумГУ, 1999. – 21 с.

11. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 1. Токарные, карусельные, токарно-револьверные, алмазно-расточные, сверлильные, долбежные и фрезерные станки. – М. : Машиностроение, 1974. – 416 с.

12. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. – Ч. 3. Протяжные, шлифовальные и доводочные станки. – 3-е изд. – М. : НИИ труда, 1978. – 360 с.

13. Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Технологія машинобудування» / укладач О. У. Захаркін. – Суми : Вид-во СумДУ, 2009. – 41 с.

14. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування : у 2 ч. – Ч. 1. Загальні відомості / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 55 с.

15. Методичні вказівки до оформлення документації при виконанні розрахунково-графічних і курсових робіт, курсових і дипломних проектів з технології машинобудування: у 2 ч. – Ч. 2. Приклади оформлення технологічної документації / укладачі: В. Г. Євтухов, В. О. Іванов. – Суми : Сумський державний університет, 2011. – 59 с.

16. ГОСТ 3.1702-79 ЕСТД. Правила записи операций и переходов. Обработка резанием. – М.: Издательство стандартов, 1982. – 32 с.

**ДОДАТОК А**  
**КРЕСЛЕННЯ ДЕТАЛІ**



**ДОДАТОК Б**  
**РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ ВЕЛИЧИНИ ПРИПУСКУ НА ЕОМ**

Визначення типу і форми організації підприємства.

Назва програми - Тір II beta 4

Розрахунковий центр інженерного факультету СумДУ

05.03.2021

*Користувач:*

Ф.И.О.: **Остапенко Є.О.**

Група: **ТМ.м-01**

*Вихідні дані:*

Річна програма випуску виробу: **2000 шт.**

Режим роботи підприємства: **2 зміни.**

Дійсний річний фонд часу роботи: **4015 год.**

Число робочих днів в рік: **254 діб.**

Періодичність запуску деталей в виробництво: **5 діб.**

*РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКІВ:*

№ оп.	Назва операції	T <sub>шк</sub> , мин	m <sub>p</sub> , шт	P, шт	η <sub>з.ф.</sub>	O, шт
005	[Відрізна]	11,7	1	1	0,01	35
010	[Токарна торцєпідрізна-центрувальна]	10,9	1	1	0,01	67
015	[Токарно-гвинторізна]	73,37	1	1	0,05	23
030	[Токарно з ЧПК]	60,23	1	1	0,03	35
035	[Токарно з ЧПК]	58,31	1	1	0,02	41
045	[Круглошліфувальна]	38,22	1	1	0,02	41
050	[Токарно з ЧПК]	12,59	1	1	0,05	29
055	[Токарно з ЧПК]	47,49	1	1	0,03	33
060	[Круглошлифовальна]	29,76	1	1	0,01	48
	<b>Сума</b>	<b>342,6</b>		<b>9</b>		<b>352</b>

Коефіцієнт закріплення операції: **54,35**

Тип виробництва **Дрібносерійне**

Форма організації виробництва: **Групова**

Розмір промислової партії: **24 шт.**

