

**Міністерство освіти і науки України**

**Луцький національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

**Факультет транспорту та механічної інженерії**

(повне найменування факультету)

**Кафедра прикладної механіки та мехатроніки**

(повна найменування кафедри)

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «МАГІСТР»**

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ТОКАРНОГО  
ВЕРСТАТА З ЧПК ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ГВИНТ  
ОПОРИ»**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти  
групи ІМм-21

**Князєв Ростислав Михайлович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

**Редько Ростислав Григорович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

**Четвержук Тарас Іванович**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Луцьк – 2023 року

# ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет транспорту та механічної інженерії  
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки  
Ступінь вищої освіти: магістр  
Галузь знань: 13 Механічна інженерія  
Спеціальність: 131 Прикладна механіка  
Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Р.Редько

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Князев Ростислав Михайлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження та модернізація токарного верстата з ЧПК для обробки деталі «Гвинт опори»  
Керівник роботи: Редько Ростислав Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» січня 2023 р. № 42/01-02
2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 1.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: Робоче креслення деталі «Гвинт опори», базовий технологічний процес виготовлення деталі, річна програма випуску деталей 20000 шт., відгуки підприємств про роботу обладнання, результати аналізу конструктивних і функціональних особливостей багатоцільового верстата
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):  
Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз завдання та визначення напрямку розробки. 2. Оптимізація схем формоутворення на проєктованому верстаті. 3. Оптимізація компоувальної схеми проєктованого верстата. 4. Вибір і обґрунтування вихідних даних на розробку проєкту верстатного обладнання. 5. Проєктування конструкції верстатного обладнання. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Гвинт опори (деталь і заготовка) – 2 ф.А1; 2. Технологічна наладка на операцію 010 - 1 ф.А1. 3. Аналіз формоутворюючих рухів - 1 ф.А1; 4. Загальний вигляд верстата – 1 ф. А1; 5. Кінематична схема верстата – 1ф.А1; 6. Привід головного руху – 1ф.А1; 7. Шиндельний вузол з патроном – 1 ф. А1; 8. Привід поперечних переміщень супорта – 1 ф. А1; 9. Привід обертання осьового інструменту - 1 ф.А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання

02.09.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Обґрунтування теми, огляд літератури із досліджуваної проблеми</i>	<i>15.09.23</i>	
2.	<i>Оптимізація схем формоутворення на проєктованому верстаті</i>	<i>01.10.23</i>	
3.	<i>Оптимізація компоувальної схеми проєктованого верстату</i>	<i>15.10.23</i>	
4.	<i>Вибір і обґрунтування вихідних даних на розробку проєкту верстатного обладнання</i>	<i>25.10.23</i>	
5.	<i>Проектування конструкції верстатного обладнання</i>	<i>01.11.23</i>	
6.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>20.11.23</i>	
7.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>25.11.23</i>	
8.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>01.12.23</i>	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Князєв Р.М.

(прізвище та ініціали)

Редько Р.Г.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Князєв Р.М. Дослідження та модернізація токарного верстата з ЧПК для обробки деталі «Гвинт опори». Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2023.

Кваліфікаційна робота магістра складається із вступу, 5 розділів, висновків і пропозицій, списку використаних джерел і додатків.

В кваліфікаційній роботі розроблено конструкції токарного верстату з ЧПК для обробки деталі «Гвинт опори». Здійснено обґрунтування та вибір компоновки токарного верстату з ЧПК. Аналізуючи деталь-представник, матеріал, з якого вона виготовлена, і технічні умови на виготовлення, проведено розгляд можливих варіантів формоутворення, на основі яких здійснено побудову структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.

Для приводу головного руху вибрано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором 1PH7 131 NF фірми SIEMENS, технічні характеристики якого:  $P_{ном}=11$  кВт;  $M_{кр.ном.}=70$  Н\*м;  $n_{ном}=500$  хв-1;  $n_{тах}=6700$  хв-1. Проведено розрахунок шпиндельного вузла верстату, вибрано його опори, визначено жорсткість шпиндельного вузла.

Розроблено оптимальний технологічний процес обробки деталі «гвинт опори». Здійснено техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного процесу, визначено собівартість виготовлення деталі за базовим та проектним варіантами. Собівартість виготовлення деталі «Гвинт опори» за проектним варіантом є на 35% нижча від базового.

Ключові слова: шпиндельний вузол, верстат з ЧПК, токарний верстат, заготовка, деталь, режими різання, формоутворюючі рухи.

## ABSTRACT

Knyazev R.M. Research and modernization of a CNC lathe for processing the "Support screw" part. Manuscript.

Master's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2023.

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, conclusions and proposals, a list of used sources and appendices.

In the qualification work, the design of a CNC lathe for processing the "Support screw" part was developed. The justification and selection of the layout of the lathe with CNC was carried out. Analyzing the representative part, the material from which it is made, and the technical conditions for production, consideration of possible options for forming was carried out, on the basis of which the structural-kinematic and kinematic scheme of the machine was constructed.

An asynchronous electric motor with a short-circuited rotor 1PH7 131 NF manufactured by SIEMENS was chosen to drive the main movement, the technical characteristics of which are:  $P_{\text{HOM}}=11$  kW;  $M_{\text{nom}} = 70$  N\*m;  $n_{\text{nom}}=500$  min<sup>-1</sup>;  $n_{\text{max}}=6700$  min<sup>-1</sup>. The calculation of the spindle assembly of the machine tool was carried out, its supports were selected, and the stiffness of the spindle assembly was determined.

The optimal technological process of processing the "support screw" part has been developed. The technical and economic substantiation of the rational technological process was carried out, the cost of manufacturing the part according to the basic and design options was determined. The cost of manufacturing the "Support screw" part according to the project version is 35% lower than the basic one.

Key words: spindle unit, CNC machine tool, lathe, workpiece, part, cutting modes, forming movements.

## ЗМІСТ

	Ст.
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ.....	10
1.1. Призначення деталі і технічна характеристика об'єкту виробництва.....	10
1.2. Сучасні досягнення в галузі технології, обладнання та оснащення при виготовленні подібних деталей.....	12
1.3. Огляд і аналіз токарних верстатів з ЧПК.....	13
2. ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ.....	17
2.1. Аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі-представника.....	17
2.2. Вибір комплексу рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті.....	20
2.3. Вибір і обґрунтування структурної кінематичної схеми верстата.....	22
3. ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА.....	26
3.1. Визначення модулів верстата.....	26
3.2. Обґрунтування модулів верстата.....	26
3.3. Побудова загальної матриці компоновки верстата.....	26
3.4. Аналіз типів базових компоновок.....	27
4. ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОЕКТУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	30
4.1. Обґрунтування та визначення типу організаційної форми виробництва з використанням проектного верстата.....	30
4.2. Вибір та обґрунтування заготовки деталі-представника.....	35

4.3.	Вибір технологічних баз.....	38
	Структурний аналіз та синтез варіантів технологічного	
4.4.	маршруту механічної обробки деталі представника та вибір	
	оптимального.....	40
4.5.	Призначення припусків та міжопераційних розмірів	
	проектування заготовки.....	43
4.6.	Вибір ріжучого та вимірювального інструменту.....	50
4.7.	Розрахунок режимів різання по операціях, переходах.....	53
4.8.	Технічне нормування технологічного процесу.....	61
	ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО	
5.	ОБЛАДНАННЯ.....	67
5.1.	Розрахунок приводу головного руху.....	67
5.2.	Розрахунок шпинделя на жорсткість.....	87
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ.....	92
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
	ДОДАТКИ.....	97

## ВСТУП

*Актуальність роботи.* Галузь машинобудування в усіх країнах визначає масштаби і розвиток науково-технічного прогресу. Наступні успіхи в НТП залежать від того, як повно будуть використані і в подальшому розвинуті можливості, які технологія машинобудування має.

У розвинутому суспільстві визначають такі основні напрямки розвитку конструкцій металообробного обладнання: підвищення продуктивності обладнання шляхом інтенсифікації режимів обробки і зменшення допоміжного часу; підвищення точності обробки методом розширення номенклатури прецизійних (точних) верстатів, а також створення їх нових конструкцій; розширення технологічних можливостей металообробного обладнання за рахунок забезпечення їх необхідною номенклатурою пристосувань; підвищення надійності та довговічності обладнання за рахунок удосконалення їх конструкцій та технологій виготовлення, а також значного використання сучасних комплектуючих пристроїв і матеріалів; проектування нових спеціалізованих верстатів, що відповідають високим вимогам виробництва.

Конструкції верстатів, що створюються, повинні бути перспективними, тобто відповідати вимогам сьогодення. При розробці нових верстатів треба закласти в проектування значний запас досконалості і новизни рішень щодо елементів порівняно із вже існуючими.

Створення нових конструкцій металообробного обладнання (МО) відбувається шляхом вдосконалення та модернізації існуючого комбінуванням та уніфікацією робочих органів. Згідно існуючих стандартів та нормативів, а також ТЗ на проектування проводиться створення нового обладнання, покращуються та модернізуються виконавчі механізми, органи керування та контролю.

Для зменшення часу проектування верстатів переважно використовують сучасні та передові технології їх проектування, що дозволяють значно

скоротити терміни проектування та створити більш конкурентоспроможне обладнання.

Саме тому тема «Дослідження та модернізація токарного верстата з ЧПК для обробки деталі «Гвинт опори» є актуальною.

*Мета і задачі дослідження.* Метою магістерської роботи є розробка конструкції основних виконавчих вузлів токарного верстату з ЧПК для обробки деталі «гвинт опори».

Для досягнення мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- здійснити аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі–представника;
- виконати вибір комплекту рухів із забезпечення механічної обробки деталі на верстаті, що проектується, та провести оптимізацію його схем формоутворення;
- виконати аналіз типових та базових компоновок верстатів і обґрунтувати умови відбору компоновок і вибір можливих варіантів;
- виконати технологічні розрахунки і здійснити обґрунтування вихідних даних на розроблення верстатного обладнання;
- виконати вибір і обґрунтування кінематичної та структурно–кінематичної схем верстата;
- виконати проектування конструкції металообробного обладнання;

*Об'єкт дослідження* – токарний верстат з ЧПК.

*Предмет дослідження* – шпindelний вузол токарного верстату з ЧПК.

## РОЗДІЛ 1

## АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ

## 1.1. Призначення деталі і технічна характеристика об'єкту виробництва

Деталь «Гвинт опори» входить до складу виробу «Опора» (рис. 1.1).

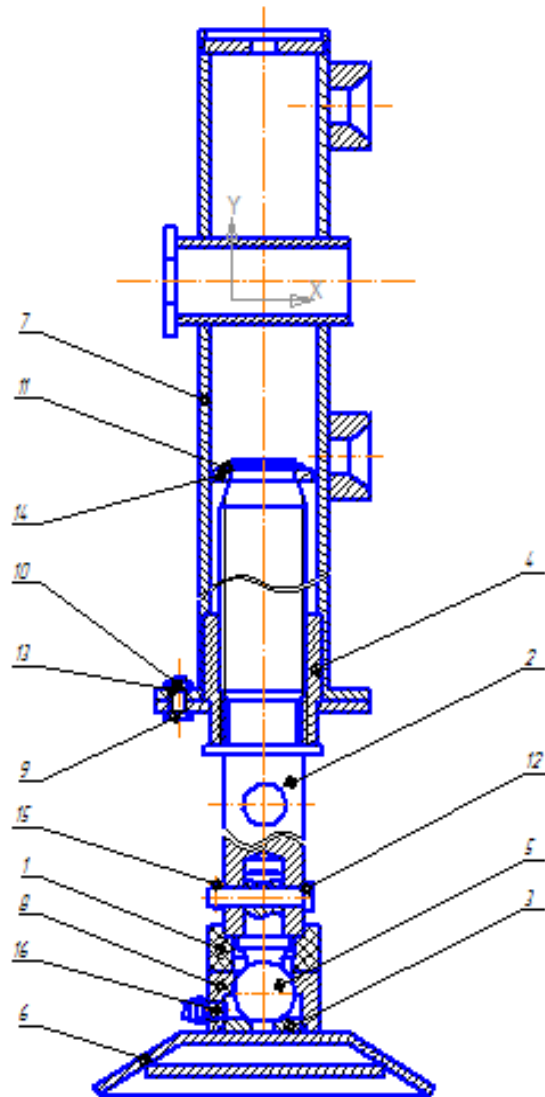


Рисунок 1.1 Виріб «Опора»

Виріб «Опора» є складовою підвіски, яка встановлюється в кількості чотирьох штук по кінцях лонжерона рами автомобільного причепа й відноситься до класу «домкратів». «Опора» складається з наступних основних деталей: амортизатор (поз.1), гвинт опори (поз. 2), втулка (поз. 3), гайка (поз. 4), опора кульова (поз. 5), тарілка опорна (поз.6), труба опори (поз. 7) і фланець (поз. 8).



Механічні властивості в нормалізованому стані й після відпуску наведені в таблицях 1.2 і 1.3 [1].

Таблиця 1.2. – Механічні властивості сталі в нормалізованому стані

Марка сталі	Нормалізація $^{\circ}\text{C} = (t = 30\text{мин.})$	$\sigma_{\tau}$	$\sigma_{\hat{A}}$	$\delta_5$	$\psi$	<i>HB</i>
		<i>МПа</i>		%		
35	870	315	530	20	45	$\leq 207$

Таблиця 1.3. – Механічні властивості сталі після гартування й відпуску

Марка сталі	Температура, $^{\circ}\text{C}$		$\sigma_{\tau}$	$\sigma_B$	$\delta_5$	<i>KCU</i>	<i>HB</i>
	гартування	відпуску	<i>МПа</i>		%	<i>МДж/м<sup>2</sup></i>	
35	850	600	380	600	19	0,31	187

1.2. Сучасні досягнення в галузі технології, обладнання та оснащення при виготовленні подібних деталей

З розвитком технології машинобудування актуалізуються задачі, які стоять перед усім машинобудівним комплексом. Дані задачі зводяться до удосконалення техпроцесів, засвоєння нових методів виробництва, подальшого розвитку і впровадження автоматизації виробничих процесів на основі досягнень науки і техніки, що забезпечить високу продуктивність роботи за належної якості і найменшої собівартості продукції [3].

У розвитку технології оброблення матеріалів різанням за останні роки відбулися значні зміни. Інтенсифікація ТП на основі застосування ріжучих інструментів з сучасних інструментальних матеріалів, застосування верстатів з ЧПК і роботизованих технологічних комплексів та підвищення геометричної точності – це неповний перелік напрямків розвитку технології механообробки в машинобудуванні.

Використання систем керування верстатом на основі ЕОМ стало переломним моментом в автоматизації крупносерійного виробництва, вони забезпечили високу продуктивність і точність обробки.

Першим напрямком є перехід від верстатів-напіавтоматів до верстатів-автоматів. Для забезпечення цілодобової роботи обладнання за двозмінного режиму роботи та його обслуговуванні, їх наділяють автоматичним магазином як для заготовок, так і для оброблених виробів. Для верстатів з обробки корпусних деталей ці магазини виконують як транспортер з кроковим переміщенням, у якому деталі закріплюють у пристроях-супутниках.

Другий напрямок – перехід до багатоінструментальної і багатопозиційної обробки. Для обробки складних деталей створюються верстати по принципу створення однопозиційних верстатів з багатогранною обробкою деталей одночасно кількома інструментами.

Третій напрямок розвитку автоматизації обладнання – створення уніфікованих конструкцій. Для збільшення продуктивності виробництво вимагає застосування комбінованого інструменту і верстатних пристроїв з силовим приводом.

### 1.3. Огляд і аналіз токарних верстатів з ЧПК

Токарні верстати зі ЧПК класифікують [3]:

- а) по розташуванню осі шпинделя - горизонтальні й вертикальні;
- б) по розташуванню напрямних - горизонтальні, вертикальні, похилі;
- в) по організації інструментальної системи - з одним або декількома супортами, з револьверною головкою, із супортом і револьверною головкою, із супортом і інструментальним магазином і ін.;
- г) по виду виконуваних робіт - центрові, патронні, патронно-центрові, карусельні.

Центрові верстати (1Б732Ф3, 1716Ф3, 1725Ф3) призначені для обробки деталей типу валів - обробки зовнішніх циліндричних, торцевих, конічних, фасонних поверхонь, нарізування зовнішніх різей.

Патронні верстати (1П717Ф3, 1П732МФ4, 1П752МФ3, 1П732РФ3, 1П416Ф3, 1723Ф3, 1734Ф3, 1П756ДФ3) призначені для обробки дисків, фланців, втулок, у яких поряд із зовнішніми й торцевими поверхнями обробляються внутрішні поверхні розточуванням, свердлінням, зенкеруванням, розвертуванням, нарізання внутрішніх різей різцем або мітчиком.

Патронно-центрові верстати (16Б16Ф3, 16К20Ф3, 16К30Ф3, 16К50Ф3, 1740РФ3) мають технологічні можливості центрових і патронних верстатів.

Карусельні верстати (1512Ф3, 1А512МФ3, 1А516МФ3, 1А525МФ3, 1А521ЛМФ3, 1Л532Ф2) призначені для обробки фланців, дисків, втулок, корпусів порівняно більших розмірів.

Токарні верстати з ЧПК в порівнянні зі звичайними верстатами мають більш широкі технологічні можливості [3]:

1. Потужний привід головного руху до 20-40 і більше кВт. Використовуються двигуни постійного струму, що дозволяють здійснити безступінчасте регулювання частоти обертання шпинделя, або трифазні двигуни змінного струму з більшим числом щаблів регулювання (18-20 і більше).

Верхні межі частоти обертання шпинделя досягають 2000 об/хв (16К20Ф3С5, 1П717Ф3, 1П416Ф3).

Межі регулювання частоти обертання шпинделів змінюються до 200 раз (1П752МФ3, 1А61Ф3С2, 1А512МФ3, 1А516МФ3).

2. Безступінчастий привід руху подачі з дуже широкими межами регулювання величини подачі.

У верстатів 1П717Ф3, 1П752Ф3, 1723Ф3 величина подачі змінюється від 1 до 1200 мм/хв, тобто в 1200 раз. В інших моделей ще більше. Наприклад, верстат 1740РФ3 має межі регулювання подач 0,1-10000 мм/хв. Це дає можливість для кожного конкретного випадку вибрати оптимальну за умовами обробки подачу.

3. Верстати мають дві координати з незалежним керуванням по кожній з них. Це дозволяє реалізувати дуже складні траєкторії переміщення робочих

органів, недосяжні для нечислових систем керування (наприклад, копіювальної).

4. Більшість верстатів має швидкість установочних переміщень супорта 4,8 м/хв, а верстатів 1П756ДФЗ - 10 м/хв. Це дозволяє максимально скоротити час холостих переміщень супорта.

5. Усі верстати мають високу точність виготовлення й підвищену твердість у порівнянні зі звичайними верстатами аналогічного призначення. Це дозволяє забезпечити високу точність обробки.

6. Верстати можуть мати розвинені інструментальні системами із числом інструментів до 12 (1740РФЗ, 1П732РФЗ, 1740РФЗ) і більше.

7. Багато верстатів мають механізми для автоматичного видалення стружки.

8. Системи ЧПК аналізують інформацію отриману від засобів діагностики. На верстаті можна компенсувати систематичні похибки обробки, неточність настроювання різальних інструментів, нежорсткість системи ВПД, температурні деформації, розмірне зношування інструмента. Вибір величини корекції здійснюється наладчиком при розмірному настроюванні інструмента за результатами пробних проходів.

9. Верстати з ЧПК мають розвинену систему індикації. Оперативні й діагностичні сигнальні лампи інформують про включення верстата, готовність окремих вузлів до роботи, про несправність механізмів. Табло цифрової індикації повідомляє номер кадру, значення біжучої координати і т. ін. Обсяг індикації в сучасних верстатах різний - від індикації окремих слів до змісту декількох кадрів.

10. Режими роботи верстатів з ЧПК: автоматичний, напівавтоматичний, режим попереднього набору, ручний.

Операції токарної обробки довгих валів в умовах серійного виробництва доцільно виконувати на верстатах з ЧПК. Ці верстати забезпечують ефективне зняття стружки на чорнових і чистових переходах, допускають практично необмежену концентрацію в одному установі різних видів робіт. На верстатах з

ЧПК забезпечується максимальна автоматизація процесу обробки при мінімальному обсязі ручних робіт.

Усі робочі та допоміжні рухи інструменту, призначення режимів різання, подача охолодної рідини, зміна різальних інструментів і т.ін. виконуються автоматично. Для скорочення часу зняття й установки заготовки верстати оснащують автоматичними патронами, механізують або автоматизують переміщення задньої бабки й пінолі. Для скорочення витрат часу на переналагодження й підналагодження на деяких верстатах можлива заміна інструмента без переривання автоматичного циклу. Суттєво скорочуються також простої верстату, пов'язані з вимірами деталей, за рахунок застосування вимірювальних щупів і введення корекцій у процес обробки.

Висока концентрація обробки на одному верстаті дозволяє довести до мінімуму число установів та переустановлення заготовок, пов'язаних з участю робітника. Заготовки, деформація яких при знятті більших припусків не виходить за межі, передбачені технічними вимогами до операції, необхідно обробляти як правило за один-два установка.

Заготовки, що надходять на верстати зі ЧПУ, повинні мати центрові отвори й хоча б один оброблений торець.

В якості базового приймаємо верстат 16K20T1.

## РОЗДІЛ 2

### ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ

#### 2.1. Аналіз конструктивно-технологічних властивостей деталі-представника

Під технологічністю конструкції розуміють властивість забезпечувати можливість виготовлення деталі методом високопродуктивної технології з мінімальним припуском, з мінімальною трудомісткістю, собівартістю виробництва без зниження експлуатаційних якостей машин.

Основними напрямками забезпечення технологічності конструкції деталей є: стандартизація й уніфікація вузлів і їх елементів; вибір матеріалу й заготовки: конструкція повинна забезпечувати застосування найбільш економічних видів заготовок; зменшення обсягу механічної обробки: використання точних заготовок; зменшення розмірів оброблюваних поверхонь за рахунок мінімальних припусків; спрощення механічної обробки за рахунок зручності виходу інструмента й заміни глибоких отворів наскрізними; застосування продуктивної технології в масовому й крупносерійному виробництві.

Деталь «Гвинт опори» згідно з відношенням  $l/d = 12.2$  – відноситься до класу валів [4]. Вона складається із двох деталей (гвинт опори й шайба), що зварюються в один вузол.

Гвинт опори складається з різевої частини хвостовика із трапецеїдальною різзю  $Tr40 \times 6-8z$  (зовнішній діаметр різі – 40 мм; крок – 6мм; ступінь точності – 8; основне відхилення – с), на кінці деталі – циліндр  $\varnothing 30_{-0.42}^{-0.14}$  мм з канавкою  $\varnothing 28_{-0.28}$  мм, шириною  $1,4_{+0.25}$  мм для установки шайби, що запобігає вигвинчуванню гвинта з гайки.

Параметри шорсткості різі  $Ra 2,5$  мкм. Поперечна канавка на виході різі має форму й розміри, що забезпечують вихід різенакатного інструмента.

Другий кінець виробу виготовляється з радіальним отвором  $\phi 20^{+0,52}$  мм для встановлення воротка, що вигвинчує гвинт із гайки опори; радіальним отвором  $\phi 9$  мм для встановлення пальця, що фіксує лапу кульової опори й центральним отвором  $\phi 18^{+0,24}$  мм, що використовується для встановлення лапи кульової опори. Отвори відповідають 5-му класу точності й мають шорсткість 12,5 мкм по параметру  $Ra$ .

Жорсткість валу допускає одержання високої точності обробки (жорсткість валу є достатньою, оскільки співвідношення  $l/d < 15$ ). Форма й розмір заготовки максимально наближені до розмірів і форми деталі. Форма вісі – пряма.

Допуск торцевого биття відповідає 10 ступеню точності й становить 50 мкм. Максимальне биття торця шайби й різевої поверхні гвинта становить 0,5 мм. Відхилення форми й розміщення поверхонь, відхилення від перпендикулярності радіальних отворів і торця шайби до осі вала перебувають у межах допуску на розміри.

Не технологічним є глухий отвір з лівої сторони торця гвинта й зварне з'єднання.

Стосовно механічної обробки деталь має недоліки відносно технологічності. Вал не має центрових отворів, що різко знижує його технологічність. Вісь отвору  $\phi 9$  мм розташована в іншій площині від отвору  $\phi 20$  мм, що не дає можливості обробляти їх за один установ. Обробка цих отворів може вестися тільки з переустановленням деталі на різних операціях. З цих міркувань деталь потребує доробки на технологічність.

У цілому на підставі виконаного аналізу деталь можна вважати технологічною, оскільки більшість вимог до технологічності конструкції деталі виконано, можливим є використання високопродуктивних режимів обробки. Деталь є досить простою по конструкції.

Конструкція деталі забезпечує вільний доступ різального інструменту до всіх оброблюваних поверхонь. Є можливість вести обробку прохідними

різцями на універсальних і спеціальних верстатах з високою продуктивністю з використанням стандартного інструмента, пристосувань і засобів вимірювання. На окремих відповідальних операціях потрібно використовувати спеціалізоване оснащення для забезпечення необхідної точності.

До кількісних характеристик параметру технологічності відносять [6]:

1) Рівень технологічності по коефіцієнту використання металу:

$$K_{em} = \frac{G_0}{G_3} \geq 0.75$$

де  $G_3$  – маса оброблюваної заготовки;  $G_0$  – маса готової деталі.

На цьому етапі проектування техпроцесу ще потрібно вибрати метод отримання заготовки, тому будемо приймати масу заготовки на 30% більшою, ніж масу деталі.

$$K_{em} = \frac{G_0}{G_3} = \frac{3.55}{4.62} = 0.77 \geq 0.75 \text{ - деталь технологічна.}$$

2) Рівень технологічності конструкції за точністю оброблення.

За значенням ступеня уніфікації розмірів по кресленню показник технологічності визначають за формулою [5]:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{сep}}$$

де  $A_{сep}$  – середньо арифметичне значення квалітетів на розміри на основі креслення;

$$A_{сep} = \frac{\sum n_i \cdot A_i}{\sum n_i} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 19 \cdot n_{19}}{\sum_1^{19} n_i} = 11.6$$

де  $n_i$  – число поверхонь з  $i$ -ю чистотою обробки.

$$K_T = 1 - \frac{1}{11.6} = 0.84 > 0.8$$

Оскільки виконується умова  $0.84 > 0.8$ , тому деталь є технологічною.

3) Рівень технологічності конструкції за шорсткістю обробки [5]:

$$K_T = \frac{1}{B_{cp}} \leq 0,32$$

де  $B_{cp}$  – середнє арифметичне шорсткості на розміри:

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 19 \cdot n_{19}}{\sum_{1}^{19} n_i} = 8,5$$

$$K_T = \frac{1}{9,3} = 0,11 < 0,32 - \text{деталь технологічна.}$$

Після аналізу конструкції деталі «Гвинт опори» на технологічність по 3-х показниках видно, що всі три коефіцієнти відповідають прийнятим за ГОСТ 14.102-73 обмеженням. В такому випадку зробимо висновок, що ця деталь технологічна за показниками якості та кількості.

2.2. Вибір комплексу рухів по забезпеченню виробничого циклу на верстаті

Проведемо аналіз необхідності формоутворюючих рухи, щоб здійснити обробку деталі «Гвинт опори».

Утворення поверхонь при відтворенні твірної лінії за методом копіювання ріжучої кромки забезпечується точінням фаски (рис. 2.1).

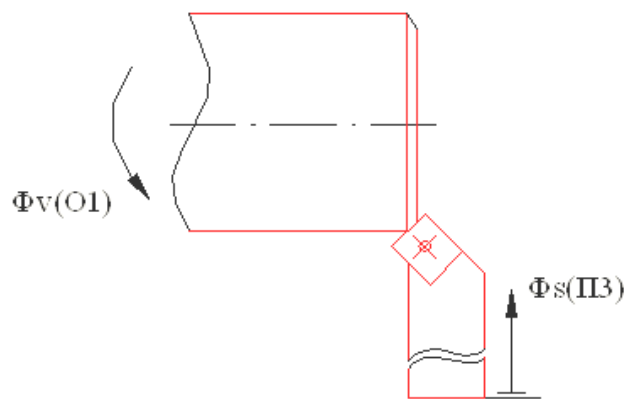


Рисунок 2.1 Точіння фаски

Виконання поверхонь за відтворення твірної лінії у виді сліду матеріальної точки забезпечується: при роботі торцевою фрезою твірна лінія

відтворюється вершиною різального інструменту – зуба фрези, при цьому вона має форму дуги кола, розміщеного в площині оброблюваної поверхні (рис. 2.2); точіння зовнішньої циліндричної поверхні різцем (рис. 2.3), підрізання торця різцем (рис. 2.4). Крім вершини А різця за матеріальну точку можна розглядати точки А свердла (рис. 2.5).

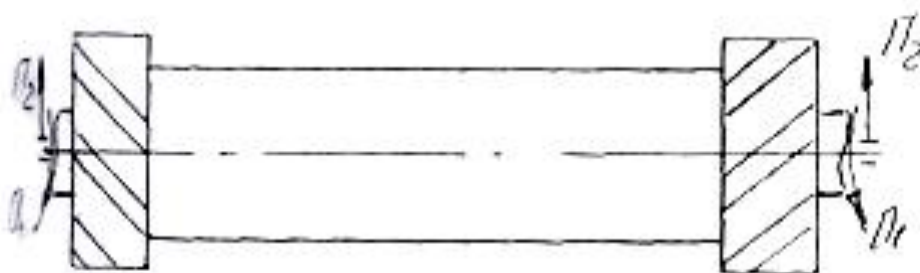


Рисунок 2.2 Схема обробки торцевими фрезами з нерухомою заготовкою

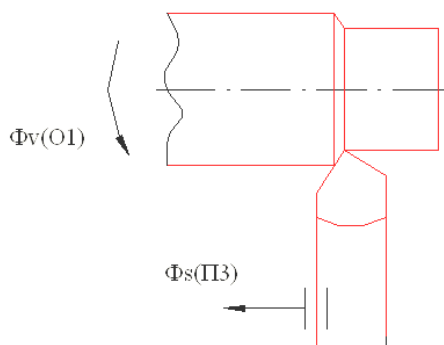


Рисунок 2.3 Зовнішнє точіння валу

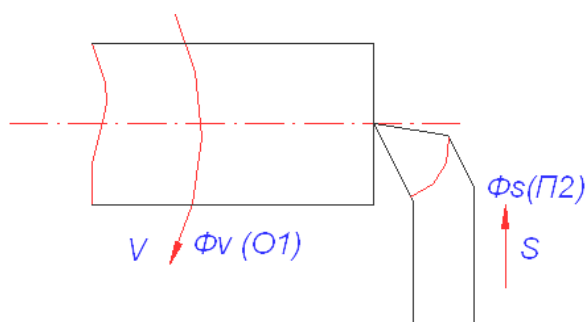


Рисунок 2.4 Підрізне точіння

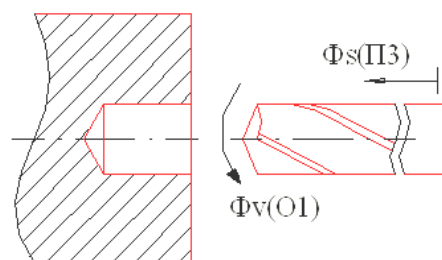


Рисунок 2.5 Схема формоутворення при свердлінні

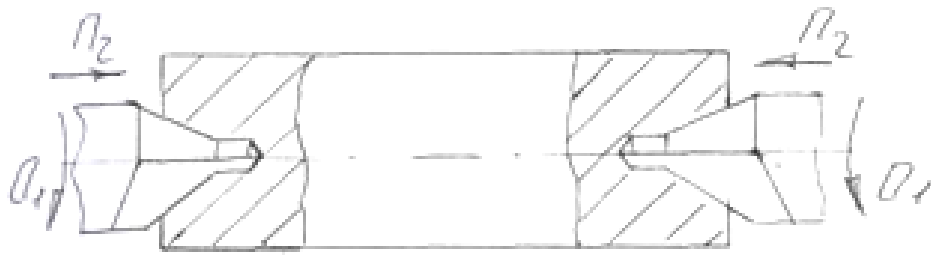


Рисунок 2.6 Схема обробки центрувальними свердлами з нерухомою заготовкою

Грунтуючись на цих схемах і необхідних рухах, що показані на них, можемо приступати до розробки кінематичної схеми верстата.

### 2.3. Вибір і обґрунтування структурної кінематичної схеми верстата

Маючи формоутворюючі рухи можна переходити до розроблення структурно-кінематичної схеми верстата [8].

Ланцюг приводу головного руху – складається із двигуна  $M_1$  та регульованої коробки швидкостей (рис. 2.7).

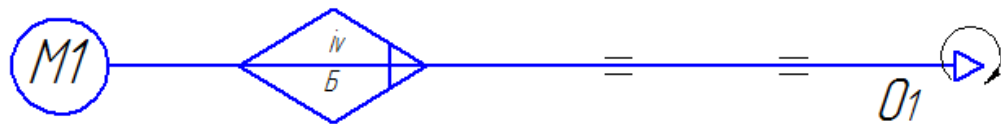


Рисунок 2.7 Ланцюг приводу головного руху

Ланцюг приводу повздовжнього переміщення супорту – складається із крокового двигуна  $M_2$  та передачі гвинт-гайка кочення (рис. 2.8).

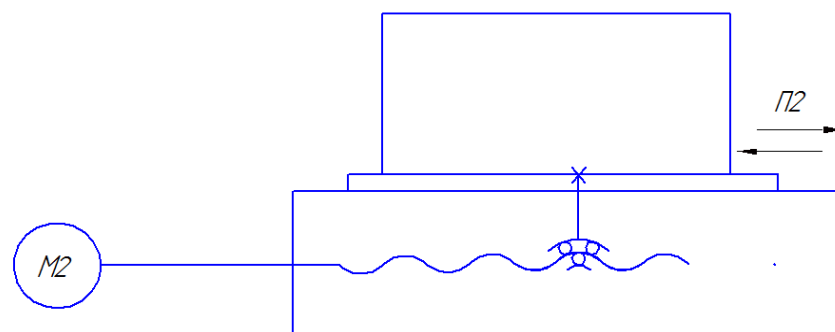


Рисунок 2.8 Ланцюг приводу повздовжнього переміщення супорту

Ланцюг приводу поперечного переміщення супорту – складається із крокового двигуна  $M_3$  та передачі гвинт-гайка кочення (рис. 2.9).

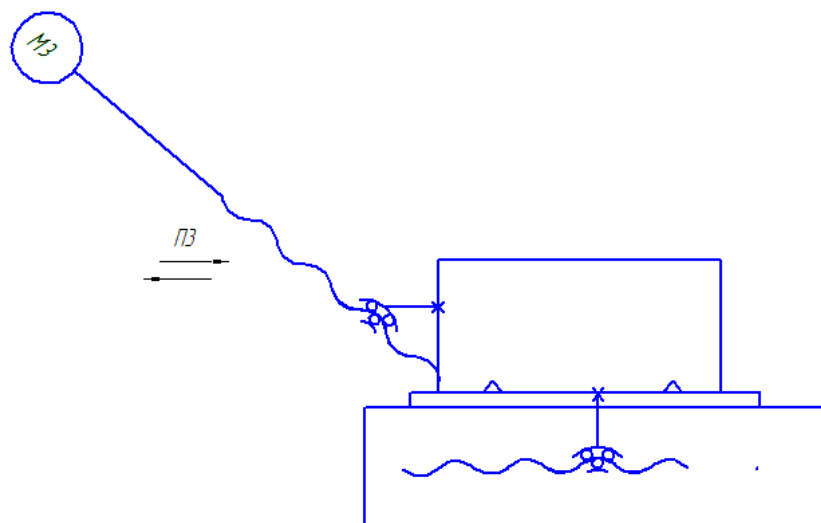


Рисунок 2.9 Ланцюг приводу поперечного переміщення супорта

Ланцюг приводу повороту револьверної головки, яка закріплена на супорті – складається із крокового двигуна  $M_5$  та блоку зубчастих коліс (рис. 2.10)

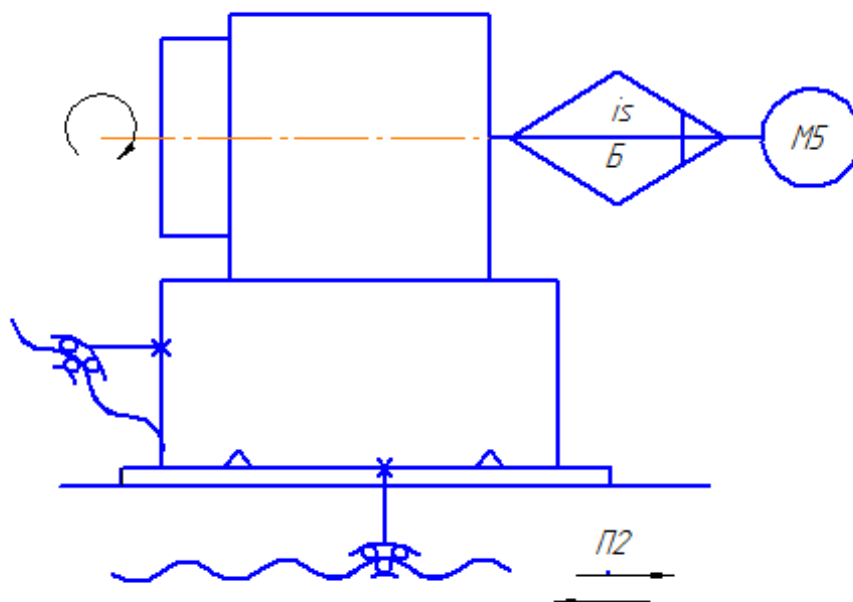


Рисунок 2.10 Ланцюг приводу повороту револьверної головки

Ланцюг приводу повороту обертового руху інструменту в револьверній головці, яка закріплена на супорті – складається із крокового двигуна  $M_4$  та блоку зубчастих коліс (рис. 2.11).

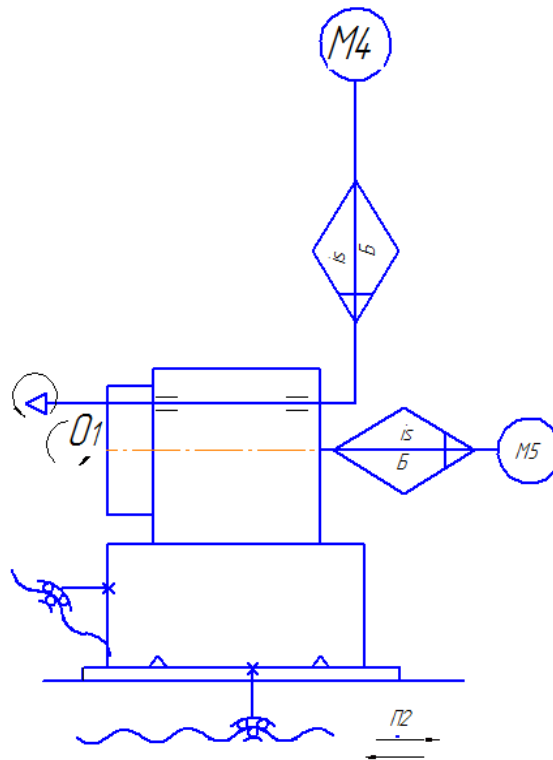


Рисунок 2.11 Ланцюг приводу обертового руху інструменту в револьверній головці

Ланцюг приводу пінолі задньої бабки – складається із крокового двигуна  $M_6$  та передачі гвинт-гайка кочення (рис. 2.12).

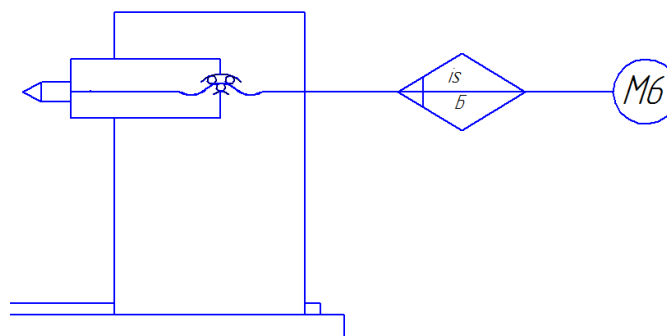


Рисунок 2.12 Ланцюг приводу пінолі задньої бабки верстата

Загальний вигляд структурно-кінематичної схеми верстата приведений на рис. 2.13.

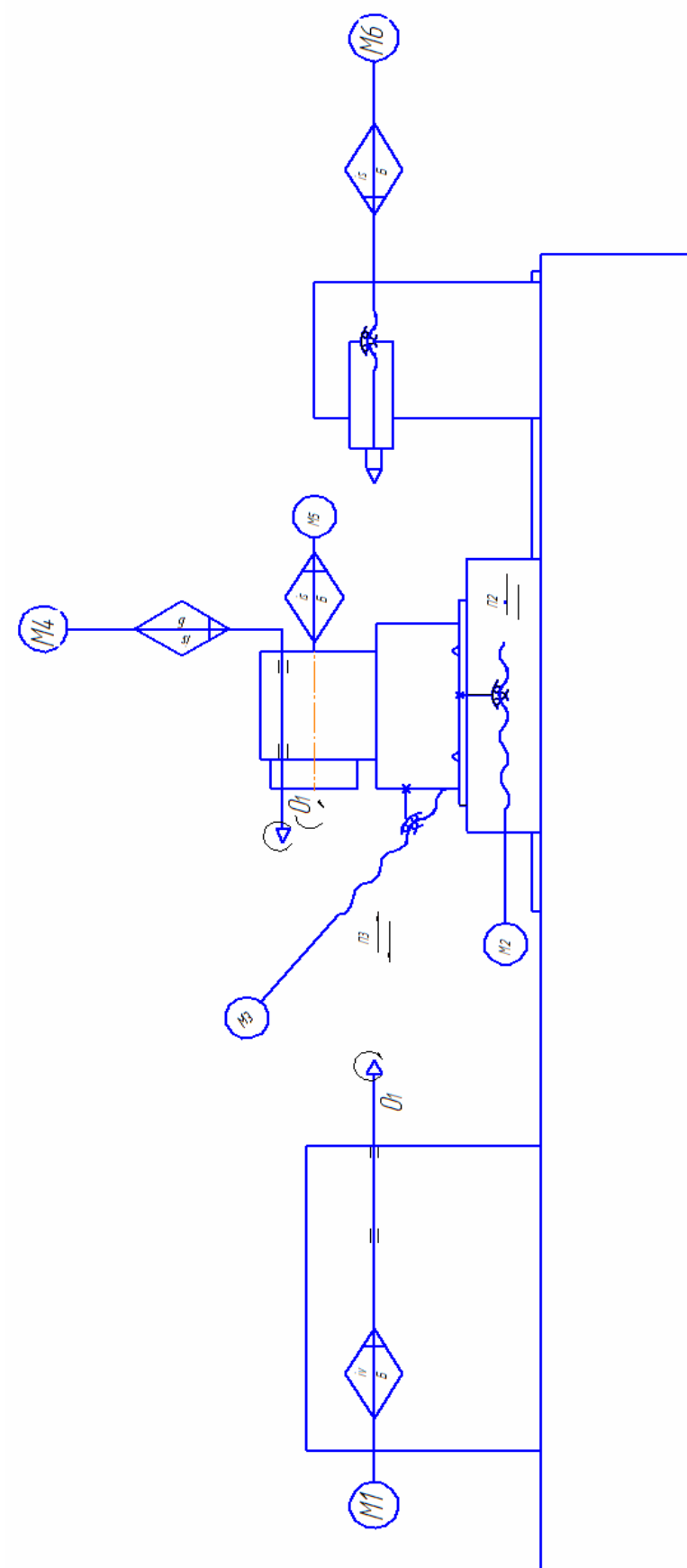


Рисунок 2.13 Структурно-кінематична схема проектного верстата

## РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО  
ВЕРСТАТА

## 3.1. Визначення модулів верстата

Технологічний модуль є найменшим складом блоків компоновки, необхідних для виготовлення деталі або виконання операції з формоутворення деталі, тобто включає стаціонарний блок і рухомі блоки, в число яких входять такі блоки, що виконують формоутворюючі рухи [8].

Склавши технологічні модулі по формоутворенню поверхонь складемо модульний комплект по забезпеченню формоутворюючих рухів. Саме визначення модульного комплекту спонукає нас до даної процедури. Модульний комплект - це найменший склад блоків для виконання даної операції, тобто комплект, що включає блоки формоутворення та допоміжних і установочних рухів.

## 3.2. Обґрунтування модулів верстата

Враховуючи те, що за базовий верстат прийнято токарно-гвинторізний верстат мод. 16К20, то:

$$T_M = \{O\hat{C}ZX\}$$

Тобто, це найбільший склад блоків компоновки необхідний для виконання формоутворюючих рухів. Для використання осьового інструменту в компоновку верстата можна ввести окремий вузол

$$M_K = \{O\hat{C}ZXW\}$$

## 3.3. Побудова загальної матриці компоновки верстата

Для даного модульного комплекту можна утворити  $N = 4! = 24$  варіанта можливих компоновок. Загальна матриця компоновки верстата представлена нижче:

$$A = \begin{vmatrix} XZBO & XZOB & XOZB & OXBZ \\ XBZO & XBOZ & XOBZ & OXBZ \\ ZXBO & ZXOB & ZOXB & OZXB \\ ZBXO & ZBOX & ZOBX & OZBX \\ BXZO & BXOZ & BOXZ & OBXZ \\ BZXO & BZOX & BOZX & OBZX \end{vmatrix}$$

### 3.4. Аналіз типів базових компонок

#### 3.4.1. Вибір верстатів-аналогів.

В якості аналога приймаємо токарногвинторізний верстат мод. 16K20T1, його технічні характеристики приведені нижче.

Найбільший діаметр обробки над станиною, мм.	400
Найбільший розмір оброблюваної заготовки над супортом, мм	200
Кількість інструментів	6
Кількість ступеней чисел обертів шпинделя	12
Границі чисел обертів шпинделя, хв	35-1600
Подача, мм/хв:	
поздовжня	3-200
поперечна	3-500
Швидкість швидких переміщень, мм/хв:	
поздовжніх	4800
поперечних	2400
Дискретність переміщень :	
поздовжніх	0,01
поперечних	0,005
Габарити верстату, мм	2335x852
Довжина	3360
Висота	1710
Ширина	1750

#### 3.4.2. Вибір оптимальної схеми компоновки.

##### 3.4.2.1. Формулювання умов відбору.

Для вибору оптимальної компоновки верстата, яка б задовольняла необхідні умови, що ставляться до проектного верстата, потрібно

накреслити певні умови, які б дозволили відкинути певні компоновки за певними ознаками і отримати в результаті одну або декілька найдоцільніших компоновок токарного верстата.

Такими умовами можуть бути [8]:

1. Всі рухи надаються інструменту. M1:  $\emptyset + \emptyset + \emptyset + O\bar{O}\bar{O}\bar{O}$
2. Поперечно-рухомий блок є кінцевим блоком компоновки з боку інструменту. M2:  $\emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}X + \bar{O}\bar{O}\bar{O}X + O\bar{O}\bar{O}X$
3. Блок, який має найбільше переміщення розміщений біля стаціонарного з боку інструмента. M3:  $\emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}Z + \bar{O}\bar{O}\bar{O}Z + OZ\bar{O}\bar{O}$

### 3.4.2.2. Математичний вибір можливих компоновок верстата.

Маючи комплекс вказаних умов відбору компоновок, знайдемо перетин множин компоновок, яких розряд стаціонарного блоку який є постійним.

Умови відбору компоновок:

$$\emptyset + \emptyset + \emptyset + O\bar{O}\bar{O}\bar{O}$$

$$\emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}X + \bar{O}\bar{O}\bar{O}X + O\bar{O}\bar{O}X$$

$$\emptyset + \bar{O}\bar{O}\bar{O}Z + \bar{O}\bar{O}\bar{O}Z + OZ\bar{O}\bar{O}$$

Результат:  $\emptyset + \emptyset + \emptyset + OZBX$

Компоновка до структурної формули  $OZBX$  представлена на рис. 3.1.

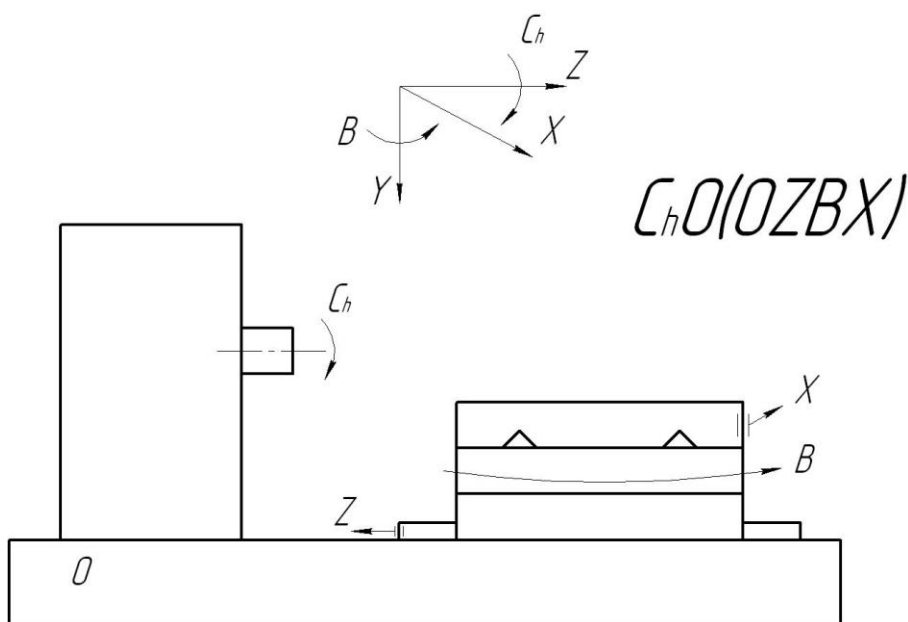


Рисунок 3.1 Компоновка до структурної формули  $OZBX$

При використанні осьового інструменту в компоновку верстата ведеться додатковий вузол піноль задньої бабки.

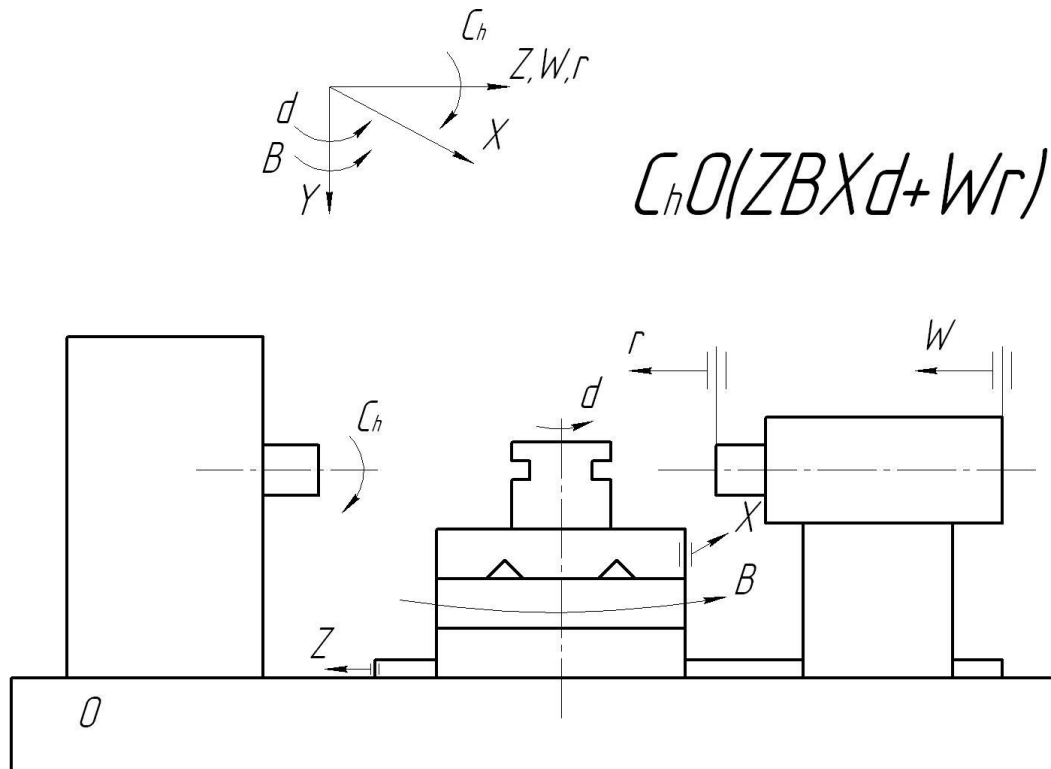


Рисунок 3.2 Математично відібрані компоновки

Інші варіанти компоновальних схем приведені на листі.

## РОЗДІЛ 4

ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ  
ПРОЕКТУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1. Обґрунтування та визначення типу організаційної форми виробництва з використанням проектного верстата

Вибір типу виробництва будемо проводити на основі методичних рекомендацій ДСТУ, по коефіцієнту закріплення операцій [5]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P},$$

де  $O$  – число операцій, що виконують робочі на своїх місцях,

$P$  – число робітничих місць на дільниці.

При визначенні типу виробництва рахуємо наближено штучно-калькуляційний час  $T_{ум-к}$  за формулою [5]:

$$T_{ум-к} = \varphi_k \cdot T_o,$$

де  $\varphi_k$  – коефіцієнт типу виробництва і типу верстата [10];

$T_o$  – основний час для виконання технологічної операції [10].

Штучний час визначимо з розрахунку основного часу по наближених формулах. Розрахунок зводимо у таблицю 4.1.

Число верстатів для кожної з операції визначаємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ум-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_n},$$

де  $N= 20000$  шт/рік - річна програма виготовлення;

$F_d = 4029$  год - реальний річний час роботи верстатів;

$\eta_n= 0,75$  - нормативний коефіцієнт завантаження верстатів.

$S_i$  – прийняте число обладнання.

Число операцій на одному робочому місці визначається за формулою:

$$O = \frac{\eta_n}{\eta_{з.ф.}},$$

де  $\eta_n = 0,8$  – нормативно визначений коефіцієнт завантаження верстатів;

$\eta_{з.ф.}$  – фактичний коефіцієнт завантаження верстатів.

1. Операція фрезерно-центрувальна.

$$T_{ш-к} = T_0 \cdot \varphi_k$$

де  $T_0 = 10^{-3}(5.9 \cdot 90 + 0.56 \cdot 5(10 + 2.5)) = 0.57$  хв – основний час;

$\varphi_k = 1.41$  [5].

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = 1.41 \cdot 0.57 = 0.8 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p1} = \frac{0.8 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.067$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр1} = 1$ ;

Фактичний коефіцієнт завантаження верстата:

$$\eta_{з1} = \frac{m_{p1}}{m_{пр1}} = \frac{0.067}{1} = 0.067$$

Число різних одностипних операцій:

$$O_1 = \frac{\eta_n}{\eta_{з1}} = \frac{0.8}{0.067} = 11.9$$

2. Операція токарна з ЧПК.

$\varphi_k = 1.19$  [5].

$T_0 = 10^{-3}(0.075 \cdot 42.5 \cdot (343 + 11) + 0.143 \cdot 37 \cdot (343 + 11) + 0.175 \cdot 36.3 \cdot (343 + 11)) + 0.0449 \cdot (58^2 - 40 \cdot 58 + 2 \cdot 40) + 0.131 \cdot (30^2 - 28.5 \cdot 30 + 2 \cdot 30 \cdot 8) = 5.4$  хв

$$T_{ш-к} = 1.19 \cdot 5.4 = 6.43 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p2} = \frac{6.43 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.53$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр2} = 1$ ;

$$\eta_{з2} = \frac{m_{p2}}{m_{пр2}} = \frac{0.53}{1} = 0.53$$

Число різних однотипних операцій:

$$O_2 = \frac{\eta_{н}}{\eta_{з2}} = \frac{0.8}{0.53} = 1.5$$

3. Операція токарна з ЧПК.

$$\varphi_{к} = 1.19 [5].$$

$$T_0 = 10^{-3} (0.075 \cdot 44.4 \cdot (109 + 11) + 0.56 \cdot 18 \cdot (18 + 9) + 0.0449 \cdot (58^2 - 40 \cdot 58 + 2 \cdot 40)) = 0.75 \text{ хв}$$

$$T_{ш-к} = 1.19 \cdot 0.75 = 0.9 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p3} = \frac{0.9 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.08$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр3} = 1$ ;

$$\eta_{з3} = \frac{m_{p3}}{m_{пр3}} = \frac{0.08}{1} = 0.08$$

Число різних однотипних операцій:

$$O_2 = \frac{\eta_{н}}{\eta_{з2}} = \frac{0.8}{0.08} = 10$$

4. Операція вертикально-свердлильна.

$$\varphi_{к} = 1.48 [5].$$

$$T_0 = 10^{-3} (0.56 \cdot 9 \cdot (40 + 3.35)) = 0.22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = 1.48 \cdot 0.22 = 0.33 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p4} = \frac{0.33 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.03$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр4} = 1$ ;

Фактичний коефіцієнт завантаження верстата:

$$\eta_{з4} = \frac{m_{p4}}{m_{пр4}} = \frac{0.03}{1} = 0.03$$

Число різних однотипних операцій:

$$O_4 = \frac{\eta_n}{\eta_{з4}} = \frac{0.8}{0.03} = 26$$

5. Операція вертикально-свердлильна.

$$\varphi_k = 1.48 [5].$$

$$T_0 = 10^{-3} (0.56 \cdot 20 \cdot (40 + 3.35)) = 0.55 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = 1.48 \cdot 0.55 = 0.82 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p5} = \frac{0.82 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.07$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр5} = 1$ ;

Фактичний коефіцієнт завантаження верстата:

$$\eta_{з5} = \frac{m_{p5}}{m_{пр5}} = \frac{0.07}{1} = 0.07$$

Число різних однотипних операцій:

$$O_4 = \frac{\eta_n}{\eta_{з4}} = \frac{0.8}{0.07} = 11.4$$

6. Операція різенакатна.

$$\varphi_k = 3 [5].$$

$$T_0 = 10^{-3} (5 \cdot 40^{0.9}) = 0.2 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{ш-к} = 3 \cdot 0.2 = 0.6 \text{ хв}$$

Розрахункова кількість устаткування на заданій операції:

$$m_{p6} = \frac{0.6 \cdot 20000}{60 \cdot 4015} = 0.05$$

Прийнята кількість устаткування на заданій операції  $m_{пр6} = 1$ ;

Фактичний коефіцієнт завантаження верстата:

$$\eta_{з6} = \frac{m_{p6}}{m_{пр6}} = \frac{0.05}{1} = 0.05$$

Число різних однотипних операцій:

$$O_4 = \frac{\eta_n}{\eta_{з4}} = \frac{0.8}{0.05} = 16$$

Сумарне число різних однотипних операцій:

$$\sum O_i = 11.94 + 1.5 + 10 + 26 + 11.4 + 16 = 76.84$$

Розрахуємо суму робочих місць, використовуваних для виробництва даної деталі з урахуванням пропозиції по застосуванню засобів автоматизації й механізації ділянки.

При обробці деталі введемо в роботу робото-технологічний комплекс. В склад комплексу введемо фрезерно-центрувальний верстат та два токарних верстати з ЧПК. Лінію обслуговує один оператор, у функції якого входить візуальне спостереження за обробкою й вибірковий контроль деталі.

Отже, сума робочих місць, використовуваних для виробництва:

$$\sum P_i = 1 + 1 + 1 + 1 = 4.$$

Дані розрахунків зведемо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1. - Розрахункові дані для визначення типу виробництва

Операції		$T_{ш-к}$	$m_p$	$m_{пр}$	$P$	$\eta_{заг}$	$O$
РТК	Фрезерно-центрувальна	0,8	0,067	1	1	0,067	11,94
	Токарна зі ЧПК	0,43	0,53	1		0,53	1,5
	Токарна зі ЧПК	0,9	0,08	1		0,08	10
Вертикально-свердлильна		0,33	0,03	1	1	0,03	26
Вертикально-свердлильна		0,82	0,07	1	1	0,07	11,4
Різенакатна		0,6	0,05	1	1	0,05	16
					$\sum P_i = 4$		$\sum O_i = 76,84$

Коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{зо} = \frac{\sum O_i}{\sum P_i} = \frac{76.4}{4} \approx 19.2$$

Відповідно до ГОСТ 3.1121-84 при  $10 < K_{зо} < 20$  - виробництво середньосерійне.

Кількість деталей у партії  $n$  визначається за формулою:

$$n = \frac{N \cdot a}{D_k} = \frac{20000 \cdot 5}{250} = 400 \text{ шт.}$$

де  $N = 20000$  шт – річна програма випуску деталей,  $a = 5$  днів – кількість днів, на яку повинен бути забезпечений запас деталей за умови безперервності процесу складання;  $D_k = 250$  днів – число робочих днів у році.

#### 4.2. Вибір та обґрунтування заготовки деталі-представника

Метод отримання заготовок визначається призначенням, конструкцією деталі, матеріалом, масштабом і серійністю випуску, технічними вимогами і економічністю виготовлення.

Вибір заготовки для даного валу – значить вибрати спосіб його одержання. Деталь «Гвинт опори» має циліндричне січення, тому відповідно прокат більш зручний для обробки з економічної й технологічної точки зору. Але при великій партії випуску деталей, а також при виготовленні валів складної конфігурації, заготовку доцільно одержувати методом пластичної деформації. Це дозволяє одержувати заготовки за формою й розмірам найбільш близькими до готової деталі, що значно покращує продуктивність механічної обробки, знижує металоємність виробу.

В якості вихідної заготовки для деталі «Гвинт опори» виберемо заготовку отриману методом об'ємного гарячого штампування, у відповідності до технічних вимог за ГОСТ 8479-70.

Штаповані заготовки мають порівняно високий ступінь точності, малі припуски на механічну обробку й поліпшену структуру. Шляхом комбінування об'ємного гарячого штампування з волочінням або пресуванням одержують заготовку з мінімальними припусками на механічну обробку [2].

Штапування проводимо на горизонтально-кувальній машині (ГКМ). Таке штампування широко використовується в серійному й масовому виробництві.

На ГKM штамнують заготовки з конструкційних вуглецевих сталей. Вихідні заготовки надходять на штампування у вигляді прокату з розмірами поперечного перерізу від 15 до 270 мм, переважно круглого профілю підвищеної точності.

Коефіцієнт використання матеріалу деталі «Гвинт опори» після вибору заготовки, отриманої методом об'ємного гарячого штампування складе [5]:

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{загот}}}$$

Для розрахунку маси готової деталі та заготовки побудуємо в програмі «Компас графік 3D» - їх тривимірні моделі та розрахуємо для них їх масоцентричні характеристики. Так на рис. 4.1. приведено твердотільну модель та розраховану масоцентричну характеристику деталі «Гвинт опори», а на рис. 4.2. – штамповки заготовки.

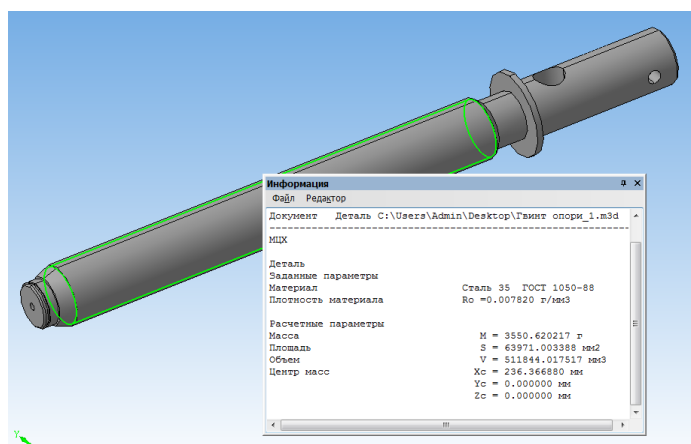


Рисунок 4.1 Модель та розрахунок деталі «Гвинт опори»

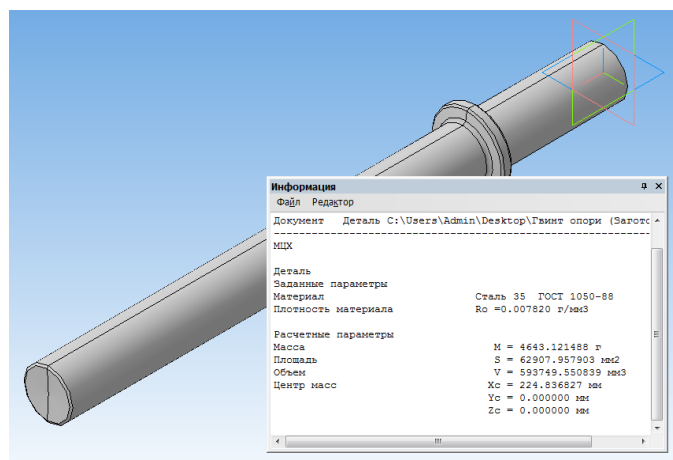


Рисунок 4.2 Модель та розрахунок штамповки заготовки «Гвинт опори»

$$K_{\text{вм}} = \frac{M_{\text{дет}}}{M_{\text{загот}}} = \frac{3.55}{4.65} = 0.76$$

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу для другого варіанту заготовки – прокат.

Визначаємо коефіцієнт використання матеріалу при прокаті за формулою:

$$K_{\text{вм2}} = \frac{m_{\text{дет}}}{M_{\text{заг2}}}$$

де:  $m_{\text{дет}}$  - маса деталі;  $M_{\text{заг2}}$  - маса заготовки з прокату.

Для розрахунку маси заготовки з прокату побудуємо в програмі «Компас графік 3D» - її тривимірну модель та проведемо розрахунок її масоцентричної характеристики (рис. 4.3).

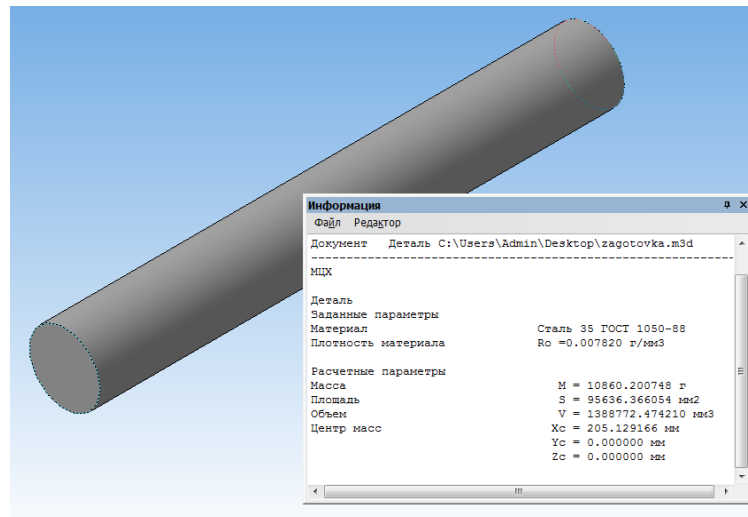


Рисунок 4.3 Модель та розрахунок прокату для заготовки «Гвинт опори»

Тоді коефіцієнт використання матеріалу при прокаті

$$K_{\text{вм2}} = \frac{3,55}{10,86} = 0,37$$

Виконаємо економічне обґрунтування з вибору заготовки (порівняння двох варіантів):

Собівартість заготовки, одержаної гарячим об'ємним штампуванням визначаємо за формулою [5]:

$$S_{\text{заг1}} = \left( \frac{C}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_{\Pi} \right) - (Q - q) \frac{S_{\text{відх}}}{1000}$$

де,  $C = 7848$  грн/тону – вартість однієї тони штампованих заготовок (Сталь 35);

$Q = 5$  кг – маса заготовки;

$S_{\text{відх}} = 1500$  грн/тону – вартість 1 тони відходів;

$q = 3.55$  кг – маса готової деталі;

$k_T, k_C, k_B, k_M, k_{\Pi}$  - коефіцієнти, що залежать від групи складності, класу точності, марки матеріалу, маси та об'єму виробництва заготовок.

$k_T = 0.9; k_C = 0.75; k_B = 0.8; k_M = 1; k_{\Pi} = 1$

Підставляємо дані у формулу (1.11).

$$S_{\text{заг1}} = \left( \frac{7847}{1000} \cdot 4,65 \cdot 0.9 \cdot 0.75 \cdot 0.8 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (4,65 - 3.55) \frac{1500}{1000} = 18,05$$

Собівартість заготовки з прокату обчислюємо за формулою:

$$S_{\text{заг2}} = \frac{Q \cdot C_{\text{пр}}}{1000} - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{відх}}}{1000}$$

де:  $C_{\text{пр}}$  - вартість 1 тони прокату сталі 35;

$C_{\text{пр}} = 7130$  грн/тону.

$$S_{\text{заг2}} = \frac{10.86 \cdot 7130}{1000} - (10.86 - 3.55) \cdot \frac{1500}{1000} = 66.45 \text{ грн}$$

Економічний ефект внаслідок співставлення способів отримання заготовок визначають за формулою [5, с.39]:

$$E_3 = (S_{\text{заг2}} - S_{\text{заг1}}) \cdot N$$

$$E_3 = (66,45 - 18,05) \cdot 20000 = 968000 \text{ грн.}$$

#### 4.3. Вибір технологічних баз

На початковій операції при обробці заготовки отриманої штампуванням в якості баз використовуємо необроблені поверхні [2]. При цьому заготовка кріпиться в призмах (рис. 4.4). На всіх решта операціях використовуються в якості баз чистові поверхні.

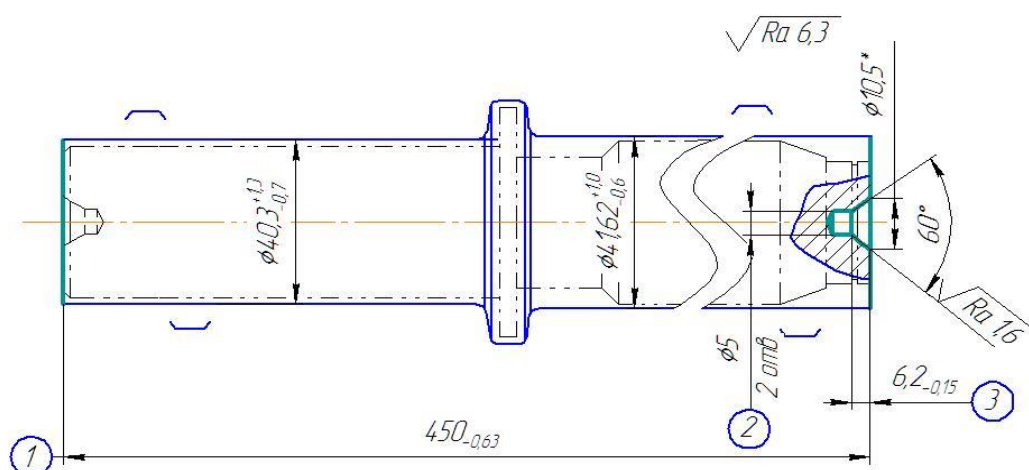


Рисунок 4.4 Закріплення заготовки в призмах на фрезерно-центрувальній операції

На токарних операціях використовується спосіб закріплення заготовки в патроні та в обертовому центрі (рис. 4.5).

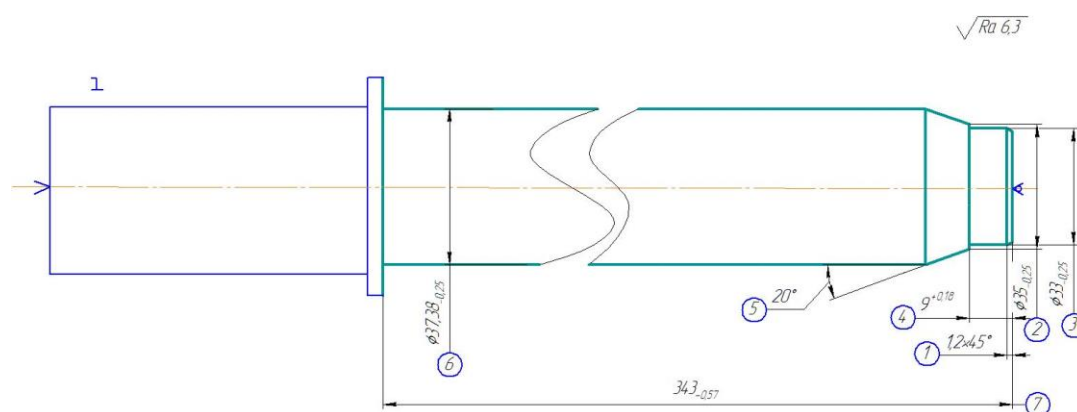


Рисунок 4.5 Закріплення заготовки в патроні та в обертовому центрі при виконанні токарних операцій

При виконанні свердильних операцій використовується схема закріплення заготовки в призмах з упором на одну із оброблених торцевих поверхонь рис. 4.6.

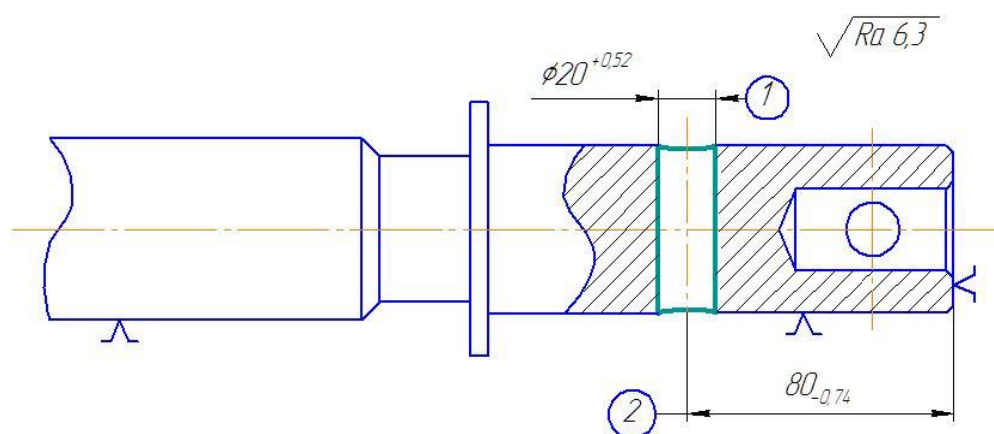


Рисунок 4.6 Закріплення заготовки в призмах при виконанні свердильних операцій

#### 4.4. Структурний аналіз та синтез варіантів технологічного маршруту механічної обробки деталі представника та вибір оптимального

##### 4.4.1. Аналіз базового технологічного процесу.

Базовий техпроцес наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. - Базовий маршрутний техпроцес виготовлення деталі

№	Назва операції	Верстат, обладнання
005	Заготівельна	Відрізний круглопильний автомат 8Г662
010	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135
015	Безцентрово-шліфувальна	Безцентрово-шліфувальний верстат 3М184.
020	Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 1К62.
025	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135.
030	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135.
035	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135.
040	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135.
045	Зачисна	Верстак
050	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний верстат 2А135.
055	Зачисна	Верстак
060	Різенкатна.	Токарно-гвинторізний верстат 1М63.
065	Зварювальна	
070	Токарна	Токарно-гвинторізний верстат 1К62.
075	Контрольна	Стіл контрольний

Заготовка деталі – прокат, з відрізанням на заготовки на круглопильному автоматі 8Г662. Це не найбільш оптимальним способом отримання заготовки. Краще використовувати штамповку.

В технології виробництва дотримуються принципу постійних баз, бо при зміні баз в ході техпроцесу точність обробки зменшується через похибки взаємного розміщення нових і використаних раніше технологічних баз. Але у базовому техпроцесі було використано кілька комплектувань технологічних баз.

Для обробки деталі часто використовують спеціальні і стандартні ріжучі інструменти (різці, свердла, ролик накатний і ін.); стандартний і спеціальний контрольний інструмент. Для різального інструменту використовують швидкоріжучі сталі і тверді сплави групи ТК.

За потужністю і точністю обладнання задовольняє вимогам, але щоб досягнути задану точність на верстатах з ручним управлінням потрібні

робітники високої кваліфікації. Контрольні засоби повністю відповідають даному типу виробництва і вимогам щодо точності.

4.4.2. Розробка маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі.

В основі розроблюваного маршрутного техпроцесу є базовий варіант. Згідно аналізу базового варіанту внесені такі пропозиції із вдосконалення процесу виготовлення деталі:

1) більшість операцій в базовому варіанті ТП є однотипними (точіння, свердління), тому враховуючи форму деталі і тип виробництва (серійне) можна використати токарний верстат з ЧПК;

2) порібно провести максимально можливу заміну різального інструменту на більш прогресивний, що відповідає вимогам високої продуктивності і економічності, крім того, використання стандартного інструменту дозволить спростити номенклатуру використовуваного інструменту.

Проектний варіант маршрутного ТП, наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. – Проектний маршрутний техпроцес виготовлення деталі

№	Назва операцій	Верстат та обладнання
000	Заготівельна - штамповка на ГKM	
005	Фрезерно-центрувальна	фрезерно-центрувальний напівавтомат мод. МРТ1-М
010	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК 16K20T1
015	Токарна з ЧПК	Токарний з ЧПК 16K20T1
020	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н135
025	Вертикально-свердлильна	Вертикально-свердлильний 2Н135
030	Різенакатна	Профіленакатний двохроликовий напівавтомат А9526
035	Зачисна	Електрохімічний напівавтомат 4406
040	Контрольна	Стіл контрольний
045	Мийна	Машина мийна МКД-01

#### 4.4.3. Зміст та послідовність виконання технологічних переходів.

Певна послідовність виконання технологічних переходів забезпечує досягнення заданої точності і зменшення допоміжного часу. Використання принципу концентрації операцій, обладнання з автоматичною заміною ріжучого інструмента дозволить досягнути вказаних вимог.

Ескіз оброблюваної деталі «Гвинт опори» приведено на (рис. 4.7).

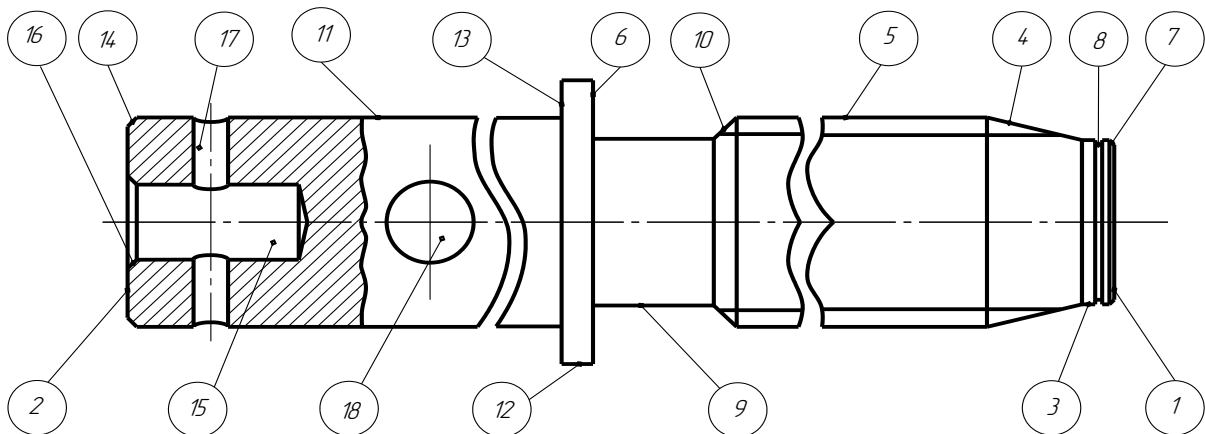


Рисунок 4.7 Ескіз оброблюваної деталі

*Операція 005. Фрезерно-центрувальна. Установ на чорнові бази. Зовнішня поверхня 5. На даній операції технологічні переходи будуть такими:*

- 1) Фрезерувати торці 1, 2 одночасно;
- 2) Центрувати торці 1, 2 одночасно;

*Операція 010. Токарна з ЧПК. Центрові отвори 1,2. На даній операції технологічні переходи будуть наступними:*

- 1) Точити поверхні 3,4 та 5 зі зняттям фаски 7 і підрізанням торця 6 начорно;
- 2) Точити канавку 8;
- 3) Точити поверхню 9, 10 начисто;
- 4) Точити поверхні 3, 4, 5, 6 начисто;
- 5) Точити поверхню 5 під накатування трапецеїдальної різі.

*Операція 015. Токарна з ЧПК.* Базова поверхня - 5. На даній операції технологічні переходи будуть наступними:

- 1) Точити поверхні 11, 12 з підрізанням торця 13 і зняттям фаски 14 начорно;
- 2) Свердлити отвір 15, зняти внутрішню фаску 16 в отворі (одночасно).

*Операція 020. Вертикально-свердлильна.* Установ на поверхні 5, 11 і торець 2. На даній операції здійснюють операції:

- 1) Свердлити отвір 17 напрохід.

*Операція 025. Вертикально-свердлильна.* Установ на поверхні 5, 11 і торець 2. На даній операції здійснюють операції:

- 1) Свердлити отвір 18 напрохід.

*Операція 030. Різенакатна.* Базова поверхня – зовнішня поверхня 11. На даній операції технологічні переходи будуть наступними:

- 1) Накатати трапецеїдальну різь Tr40×6-8с на поверхні 5.

*Операція 035. Зачисна.* Зачистити заусениці за допомогою електрохімічного напівавтомату.

*Операція 040. Мийна.*

*Операція 045. Контрольна.*

4.5. Призначення припусків та міжопераційних розмірів проектування заготовки

Під час проектування технологічних процесів мехобробки заготовок необхідно встановити оптимальні припуски, що забезпечать задану точність і якість поверхонь.

Проведемо розрахунки припусків розрахунково-аналітичним методом на обробку поверхні під накатку трапецеїдальної різі Tr40×6-8с. Орієнтовний діаметр заготовки під накатку різі розрахуємо по формулі [12]:

$$d_{заг} = \sqrt{0,5 \cdot (d^2 - d_1^2)} = \sqrt{0,5 \cdot (40^2 - 33^2)} = 36,67 \text{ мм},$$

де  $d = 40\text{мм}$  – зовнішній діаметр різьблення;  $d_1 = 33\text{мм}$  – внутрішній діаметр.

Заготовка – поковка масою 4,615 кг.

Технологічний маршрут обробки поверхні складається із трьох переходів: чорнового, чистового й тонкого точіння, які виконуються за одного установу оброблюваної деталі. Базами для заготовки служать поверхні центрових отворів з обох торців заготовки. Розмір після обробки під накатку різьблення -  $\varnothing 36,67h8$ , шорсткість поверхні  $Ra = 2,5$  мкм.

Допуск форми після тонкого точіння становить 20 мкм, що відповідає поставленому завданню (в нашому випадку допуск форми при нормальній відносній геометричній точності становить 60% від допуску на розмір – 23 мкм). Розрахунки припусків на обробку поверхні наведено в таблиці 3.3

### 1. Визначення параметрів якості обробки

Параметри якості поверхні  $Rza$  і  $Ta$  вибираємо по таблицях [12]. Сумарні просторові відхилення для заготовки даного типу визначиться по формулі:

$$\rho_{\text{заг}} = \sqrt{\rho_{\text{кор}}^2 + \rho_{\text{см}}^2 + \rho_{\text{ц}}^2}$$

де  $\rho_{\text{см}} = 800$  мкм – допустиме зміщення ділянок поверхні;

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_k \cdot l = 0.7 \cdot 450 \approx 0.315 \text{ мм} = 3150 \text{ мкм}$$

де  $\Delta_k = 0.7$  - величина короблення;  $l = 450$  мм – довжина заготовки.

Таблиця 4.4 - Припуски на механічну обробку

Технологічні переходи обробки поверхні $\varnothing 36,15c8$	Елементи припусків, мкм			Розрахунковий припуск $2z_{\text{min}}$ , мкм	Розрахунковий мінімальний розмір $d_{\text{pi}}$ , мм	Допуск на виготовлення $\delta_a$ , мкм	Граничні розміри по переходам, мм		Граничні припуски, мкм		
	$Rza$	$Ta$	$\rho_a$				$d_{\text{min}}$	$d_{\text{max}}$	$2z_{\text{min}}^{\text{np}}$	$2z_{\text{max}}^{\text{np}}$	
Заготовка	150	250	3490	-	41,019	2500	41,02	43,52	-	-	
Чорнове гостріння	50	50	209	2·3890	37,129	250	37,13	37,38	3890	6140	
Чистове гостріння	25	25	139	2·309	36,82	100	36,82	36,92	310	460	
Тонке гостріння	5	5	-	2·189	36,631	39	35,99	36,67	190	250	
Перевірка розрахунків:	$Td_z - Td_d = 2Z_{0 \text{ max}} - 2Z_{0 \text{ min}}$ $2500 - 39 = 6850 - 4390$ $2460 = 2460$							$2Z_{0 \text{ min}} = 4390$	$2Z_{0 \text{ max}} = 6850$		

Допуск на поверхні, яка використовувані в якості базових на фрезерно-центрувальній операції, визначимо за ГОСТ 7505-89.

$$\rho_u = \sqrt{\left(\frac{\delta_3}{2}\right)^2 + 0,25^2} = \sqrt{\left(\frac{2,7}{2}\right)^2 + 0,25^2} = 1274 \text{ мкм};$$

$$\delta_3 = 2,7 \text{ мм.}$$

$$\rho_{\zeta\ddot{a}\ddot{a}} = \sqrt{3150^2 + 800^2 + 1274^2} = 3490 \text{ мкм};$$

Визначимо залишкове просторове відхилення:

– після чорнового точіння:  $\rho_1 = 0,06 \cdot 3490 = 209 \text{ мкм};$

– після чистового точіння:  $\rho_2 = 0,04 \cdot 3490 = 139 \text{ мкм}$

2. Здійснимо розрахунок мінімальних припусків на обробку:

$$2z_{\min i} = 2(Rz_{i-1} + T_{i-1} + \rho_{i-1})$$

Мінімальний припуск:

– під чорнове точіння:  $2z_{\min 1} = 2 \cdot (150 + 250 + 3490) = 2 \cdot 3890 \text{ мкм};$

– під чистове точіння:  $2z_{\min 2} = 2 \cdot (50 + 50 + 209) = 2 \cdot 309 \text{ мкм};$

– під тонке точіння:  $2z_{\min 3} = 2 \cdot (25 + 25 + 139) = 2 \cdot 189 \text{ мкм};$

3. Визначимо розрахунковий мінімальний розмір  $d_{pi}$ , послідовно додаючи розрахунковий мінімальний припуск кожного переходу:

$$d_{p3} = 36,631 + 0,189 = 36,82 \text{ мм};$$

$$d_{p2} = 36,82 + 0,309 = 37,129 \text{ мм} = 37,13 \text{ мм};$$

$$d_{p1} = 37,129 + 3,89 = 41,019 \text{ мм} = 41,02 \text{ мм.}$$

4. Призначення допусків [12]:

– допуск на розмір заготовки по  $IT17 Td=2500 \text{ мкм.}$

– допуск на розмір після чорнового точіння по  $IT12 Td=250 \text{ мкм.}$

– допуск на розмір після чистового точіння по  $IT10 Td=100 \text{ мкм.}$

– допуск на розмір після тонкого точіння по  $IT8 Td=39 \text{ мкм.}$

5. Визначення розрахункових мінімальних припусків на обробку, шляхом різниці найменших граничних розмірів попереднього й виконуваного переходів [5]:

$$2z_{\min 3}^{np} = 36,82 - 36,63 = 0,19 \text{ мм} = 190 \text{ мкм};$$

$$2z_{\min 2}^{np} = 37,13 - 36,82 = 0,31 \text{ мм} = 310 \text{ мкм};$$

$$2z_{\min 1}^{np} = 41,02 - 37,13 = 3,89 \text{ мм} = 3890 \text{ мкм}$$

6. Визначимо значення граничних розмірів  $d_{max}$ , для кожного переходу:

$$d_{\max 4} = 36,63 + 0,039 = 36,669 \text{ мм} = 36,67 \text{ мм};$$

$$d_{\max 3} = 36,82 + 0,1 = 36,92 \text{ мм};$$

$$d_{\max 2} = 37,13 + 0,25 = 37,38 \text{ мм};$$

$$d_{\max 1} = 41,02 + 2,5 = 43,52 \text{ мм}.$$

7. Визначення розрахункових максимальних припусків на обробку, шляхом різниці найбільших граничних розмірів попереднього й виконуваного переходів [12]:

$$2z_{\max 3}^{np} = 36,92 - 36,67 = 0,25 \text{ мм} = 250 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 2}^{np} = 37,38 - 36,92 = 0,46 \text{ мм} = 460 \text{ мкм};$$

$$2z_{\max 1}^{np} = 43,52 - 37,38 = 6,14 \text{ мм} = 6140 \text{ мкм}$$

8. Визначення загальних припусків  $2Z_{0min}$  і  $2Z_{0max}$

$$2Z_{0max} = 6140 + 460 + 250 = 6850 \text{ мкм}.$$

$$2Z_{0min} = 3890 + 310 + 190 = 4390 \text{ мкм}.$$

9. Визначення загального номінального припуску з урахуванням несиметричного розташування поля допуску заготовки [12].

$$z_{оном} = z_{оmin} + H_z - H_d = 4390 + 600 - 39 = 4951 \text{ мкм} = 4,95 \text{ мм}.$$

де  $z_{оmin}$  – сумарний мінімальний припуск;  $H_z$  і  $H_d$  – нижні відхилення на розмір заготовки й деталі відповідно

Номінальний розмір заготовки:

$$d_{зном} = d_{оном} + z_{оном} = 36,67 + 4,95 = 41,62 \text{ мм}.$$

Перевірка правильності розрахунків

$$2z_{оmax} - 2z_{оmin} = T_{dзаг} - T_{dдет};$$

$$6850 - 4390 = 2500 - 39;$$

$$2460 \text{ мм} = 2460 \text{ мм}.$$

## 10. Побудова схеми графічного розташування припусків і допусків.

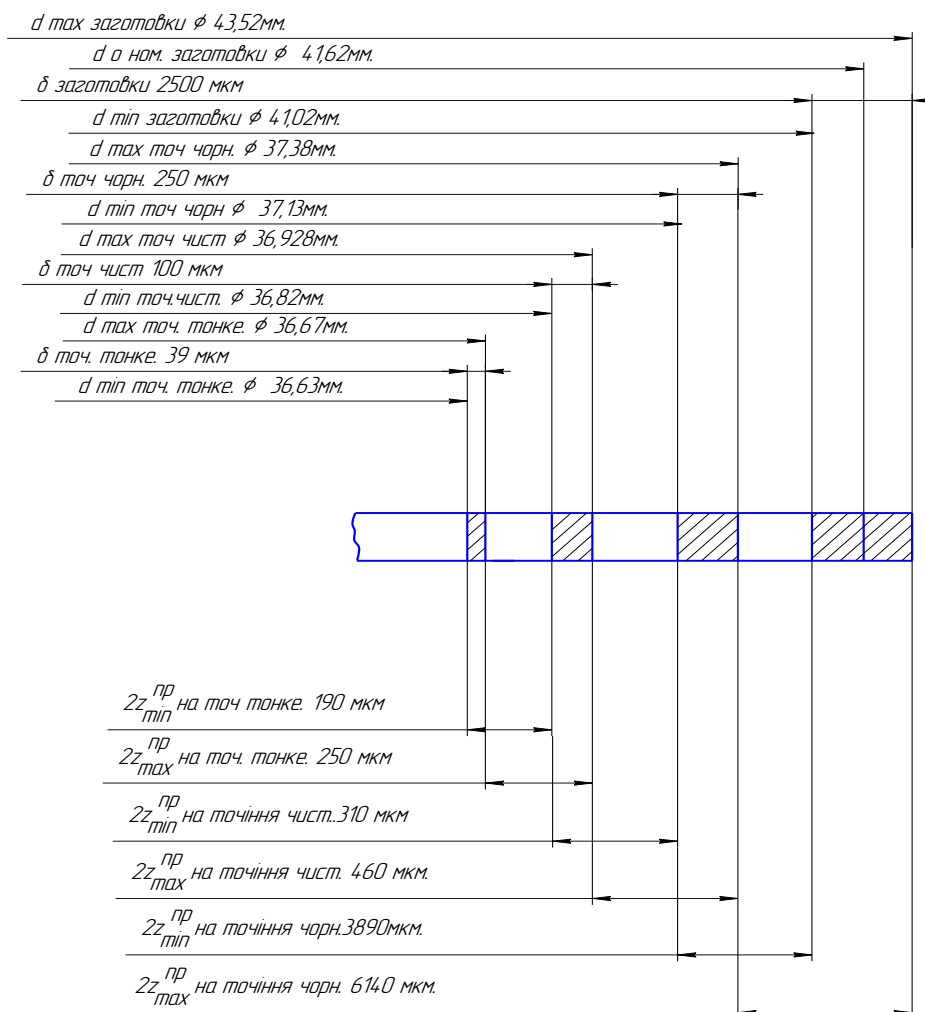


Рисунок 4.8 Схема графічного розміщення припусків та допусків на обробку поверхні  $\varnothing 36,67h8$  під наочування різі гвинта опори

Припуск на заготовку, отриманий розрахунково-аналітичним методом менше, ніж припуск, призначений за ГОСТ 7505–89. Однак застосування розрахунково-аналітичного методу вимагає трудомістких розрахунків, тому для призначення припусків і допусків на інші оброблювані поверхні деталі будемо користуватися методикою, наведеною в ГОСТ 7505–89 з наступним занесенням у таблицю 4.5.

Штампувальне обладнання – горизонтальна кувальна машина.

Кількість переходів – 2; нагрівання заготовок – індукційне.

1. Вихідні дані на деталь: Матеріал – сталь 35 (за ГОСТ 1050-89)  
 $0,32 - 0,40\% C$ ;  $0,17 - 0,37\% Si$ ;  $0,50 - 0,80\% Mn$ ;  $Cr \leq 0,25\%$

Маса деталі –  $M_0 = 3,5$  кг.

2. Вихідні дані для розрахунків, відповідно до ГОСТ 7505-89:

Маса поковки (розрахункова) –  $M_0 \cdot K_p = 3,55 \cdot 1,3 = 4,615 \text{ кг}$ ,

де  $K_p = 1,3$  – розрахунковий коефіцієнт; Клас точності –  $T4$ .

Група сталі –  $M2$  (середня масова частка вуглецю в сталі –  $0,36\%$ ).

Ступінь складності –  $3I$  (за ГОСТ 7505-89 визначається залежно від числа переходів).

Розміри фігури, що описує, – циліндр:

– діаметром  $D_0 \cdot K_p = 40 \cdot 1,05 = 42 \text{ мм}$ ;

– довжиною  $L_0 \cdot K_p = 450 \cdot 1,05 = 472,5 \text{ мм}$ ,

де  $K_p = 1,05$  – розрахунковий коефіцієнт.

Конфігурація об'єму штамп  $I_c$  – симетрично вигнутий.

Вихідний індекс – 11.

Припуски й припуски на поковку за ГОСТ 7505-89:

1,9 мм – на довжину 450 мм. с чистотою поверхні  $Ra = 12,5$ ;

1,2 мм – на довжину 4 мм. с чистотою поверхні  $Ra = 12,5$ ;

1,6 мм – на діаметр 40 мм. с чистотою поверхні  $Ra = 2,5$ ;

1,2 мм – на діаметр 37 мм. с чистотою поверхні  $Ra = 12,5$ ;

1,3 мм – на діаметр 56 мм. с чистотою поверхні  $Ra = 12,5$ .

Додаткові припуски, що враховують відхилення форми поковки:

- зсув по поверхні рознімання штамп –  $0,4 \text{ мм}$ .;

- зігнутість і відхилення від прямолінійності –  $0,8 \text{ мм}$ .;

– штампувальний ухил не більш  $50^\circ$ ;

- мінімальна величина радіусів закруглень –  $1,6 \text{ мм}$ .

Розміри поковок і їх допустимі відхилення.

Розміри поковки, мм:

довжина –  $450 + (1,9 + 0,8) \cdot 2 = 455,4 \text{ мм}$ ;

довжина –  $4 + (1,2 + 0,8) \cdot 2 = 8 \text{ мм}$ ;

діаметр –  $37 + (1,2 + 0,4) \cdot 2 = 40,2 \text{ мм}$ ;

діаметр –  $40 + (1,6 + 0,4) \cdot 2 = 44 \text{ мм}$ ;

діаметр –  $56+(1,3+0,4) \cdot 2=59,4$  мм.

відхилення розмірів, що допускаються за ГОСТ 7505-89:

довжина –  $455^{+2,1}_{-1,1}$  мм; довжина –  $8^{+1,1}_{-0,5}$  мм; діаметр  $40,2^{+1,3}_{-0,7}$  мм;

діаметр –  $44^{+1,3}_{-0,5}$  мм; діаметр  $59,4^{+1,3}_{-0,7}$  мм;

Припустимі відхилення радіального биття не більш 0,4 мм.

Припустимі внутрішні ухили не більш 20.

Припустимі відхилення по зігнутості й радіального биття не більш 0,8мм.

Ескіз заготовки гвинта опори показано на рис. 4.9.

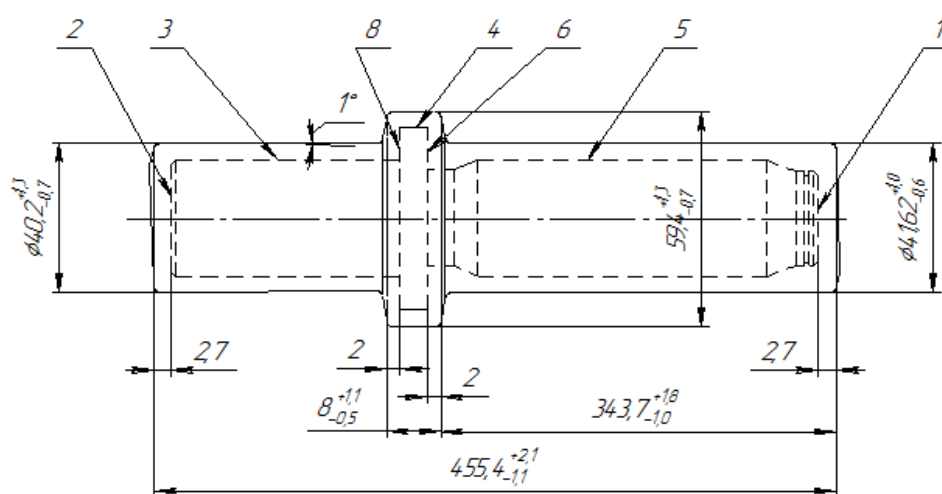


Рисунок 4.9 Ескіз заготовки гвинта опори

Припуски й допуски на поверхні деталі внесено в таблицю 4.5

Таблиця 4.5 - Припуски й допуски на оброблювані поверхні деталі

Поверхня	Розмір, мм.	Припуск, мм.		Допуск, мм.
		табличний	розрахунковий	
1, 2	$450-0,52$	$2 \cdot 2,7$		$+2,1$ $-1,1$
6, 8	$4-0,52$	$2 \cdot 2$		$+1,1$ $-0,5$
3	$\varnothing 37^{+0,62}$	$2 \cdot 1,6$		$+1,1$ $-0,5$
5	$\varnothing 36,67(-0,039)$		$2 \cdot 2,4$	$+1,0$ $-0,6$
4	$56-0,74$	$2 \cdot 1,7$		$+1,3$ $-0,7$

#### 4.6. Вибір ріжучого та вимірювального інструменту

Деталь «Гвинт опори» виготовлена з вуглецевої якісної конструкційної сталі марки 35. Для обробки цього матеріалу рекомендується використовувати різальний інструмент, який оснащений пластинами твердого сплаву, що дозволяє вести обробку на підвищених режимах різання без втрати точності отриманих розмірів і шорсткості поверхні.

Для фрезерно-центрувальної операції використовуємо [12, 13]:

- фрезу торцеву HP F90AN D50-09-22-07 із пластинами HP ANKT 0702 PN-R, твердий сплав IC 928 – твердий субмікронний сплав, TiAlN PVD покриття. Використовується для обробки сплавів з підвищеною твердістю й вуглецевої сталі на середніх і високих швидкостях різання, переривчастім різанні та при несприятливих умовах, має відмінну зносостійкість і перешкоджає створенню наростів на ріжучій кромці.

- свердло центрувальне твердосплавне DCM 050-030-16A-3D, матеріал IC908 – твердий субмікронний сплав, TiAlN PVD покриття. Використовується для обробки сплавів з підвищеною твердістю й вуглецевих сталей на середніх і високих швидкостях різання, переривчастім різанні та при несприятливих умовах, має відмінну зносостійкість і перешкоджає створенню наростів на ріжучій кромці.

На токарних операціях (чорнова і чистова обробка) вибираємо різці й різцеві головки ISCAR, оснащені пластинами із твердого сплаву.

Для чорнкової токарної обробки заготовки будемо використовувати різець MWLNR 2020K-06W із пластиною WNMM 080408-4NM із твердого сплаву IC635 – багат шарове TiN/TiC/TiN покриття CVD (P30 – P50; M20 – M40), яке використовується для пазування точіння вуглецевих, легованих і нержавіючої сталей на низьких швидкостях, високих подачах та при роботі в несприятливих умовах (рис. 4.10).

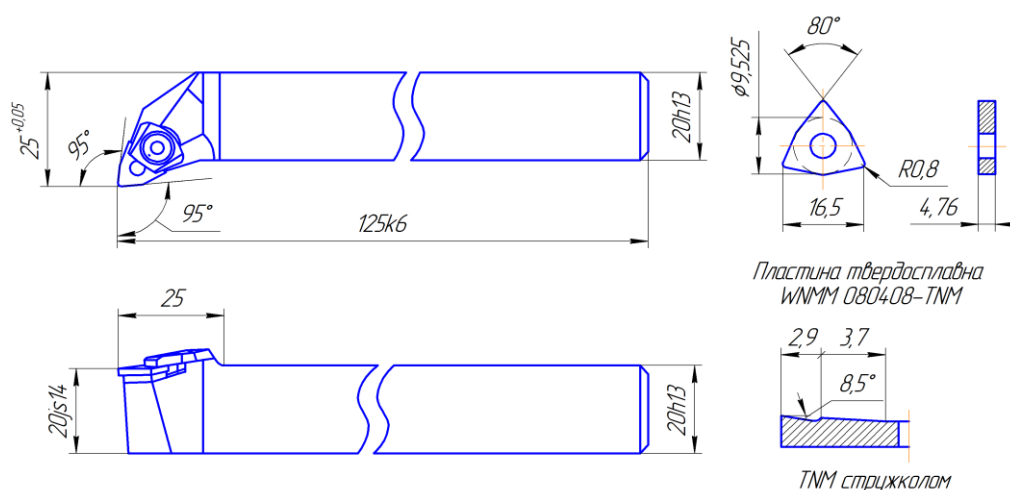


Рисунок 4.10 Різець підрізний чорновий

Для чистового точіння заготовки беремо різець PCLNR 2020K-12 з пластиною CCMT09T304-SM із твердого сплаву IC570 – TiN/TiCn/TiN PVD покриття (P10 – P25; M05 – M15), який використовується для пазування й точіння легованих і нержавіючої сталі для напівчистових і чистових операцій на середніх і високих швидкостях різання (рис. 4.11).

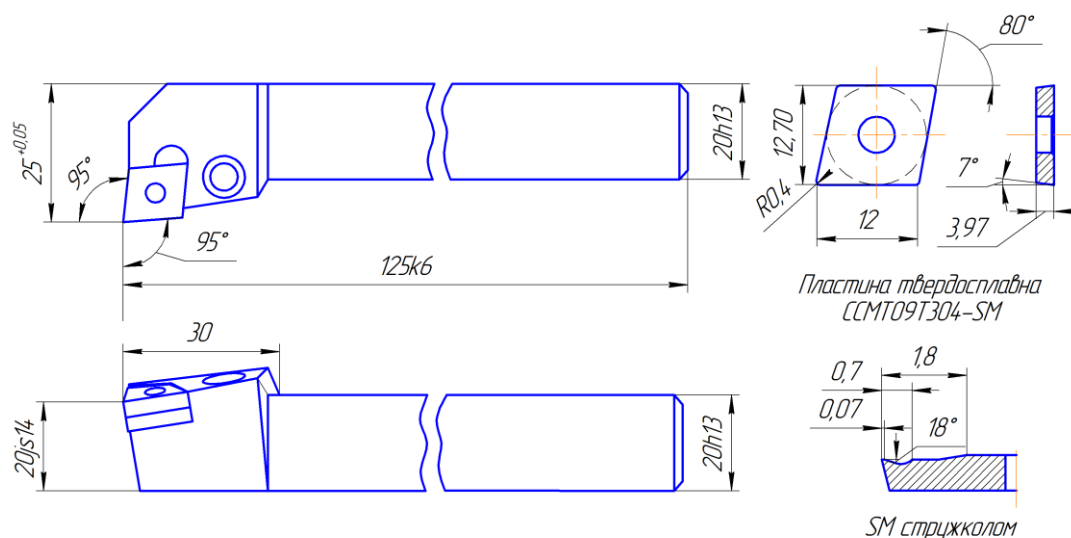


Рисунок 4.11 Різець підрізний чистовий

Для точіння канавки беремо різець SGFR 8B-12D15SH із пластиною GFN 1,2JS із твердого сплаву IC328 – тверде TiN/TiCn PVD покриття (P25 – P50; M30 – M40; S25 – S30), який використовується для загальних робіт з відрізки й пазування вуглецевих, легованої й нержавіючої сталі на середніх і високих швидкостях різання (рис. 4.12).

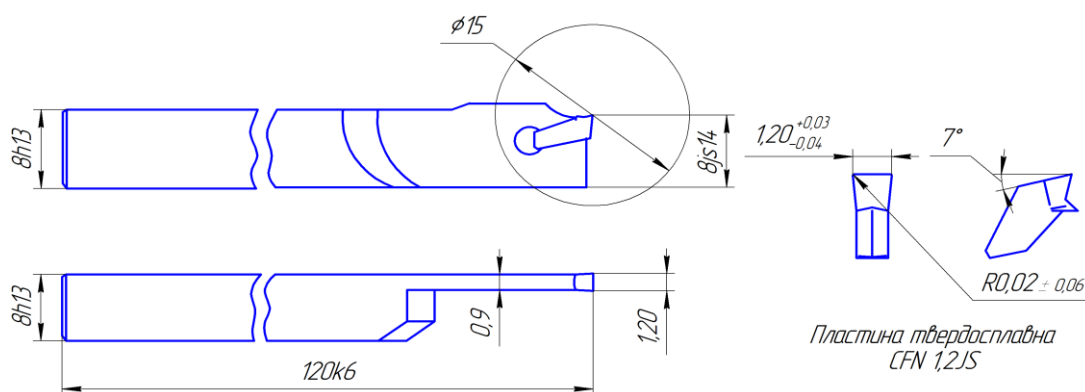


Рисунок 4.12 Різець канавочний

Для розточування канавки під вихід різенакатного інструменту беремо різець канавочно-прохідний SCHL 16-6B із пластиною SCIL 6B/F-EL000 із твердого сплаву IC328 (рис. 4.13)

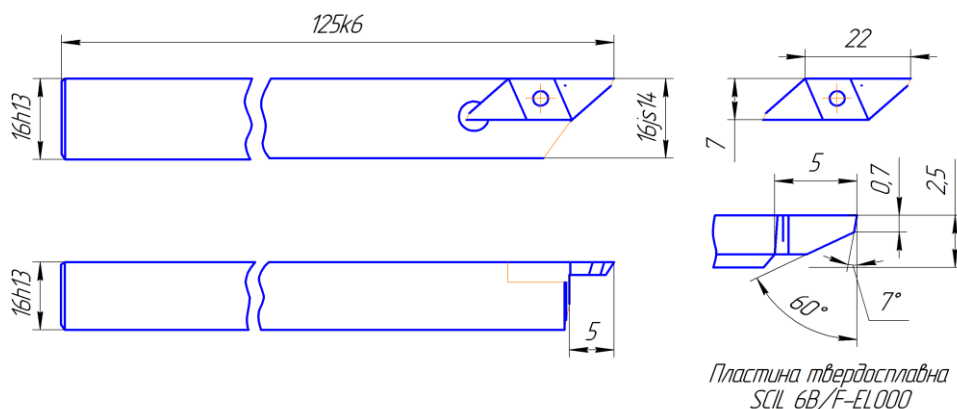


Рисунок 4.13 Різець канавочний-прохідний

Для тонкого точіння заготовки беремо різець PCLNR 2020K-12 із пластиною CCMT09T304-SM із твердого сплаву IC8048 (P05 – P30; K05 – K20) – багат шарове TiCn/TiC/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> покриття CVD. Використовується для точіння чавуну й сталі на низьких і середніх значеннях подачі й високих швидкостях різання.

Для свердління центрального отвору  $\varnothing 18$ мм застосовуємо свердло DSM 180-054-25A-3D, для одночасного зняття фаски в отворі застосовуємо кільцеву насадку (фасочное кільце) RING DCM 180 із пластиною твердого сплаву XOGX, матеріал пластини IC508 - твердий субмікронний сплав, TiN/TiCn/TiN PVD покриття, яке використовується для пазування й свердління різних матеріалів, на низьких і середніх швидкостях різання.

Для свердління радіальних отворів  $\varnothing 9$  мм і  $\varnothing 20$  мм застосуємо цільні твердосплавні свердла із твердого сплаву IC908: для свердління отвору  $\varnothing 9$  мм – SCD 090-050-100 AP3 – свердло цільне твердосплавне по DIN 6537; для свердління отвору  $\varnothing 20$  мм – SCD 200-055-200 AP3 – свердло цільне твердосплавне по DIN 6537.

Для накатування різі  $Tr40 \times 6-8c$  спроекуємо ролики різенакатні зі сталі X12M.

При виборі засобів виміру головною вимогою є якісний і швидкий контроль одержуваних розмірів, як у процесі обробки, так і по її закінченню. Для контролю деталі використовуються наступні засоби [12].

Для контролю зовнішніх діаметрів використовуються скоби CP-125 ГОСТ 14810-76; для отворів  $\varnothing 18^{(+0,24)}$ ;  $\varnothing 9$ ;  $\varnothing 20^{(+0,52)}$  – пробка за ГОСТ 17758-72; різь  $Tr40 \times 6-8z$  - кільце різьбове  $Tr40 \times 6-8c$  ГОСТ 10071-89; не перпендикулярність торця шайби й гвинта – втулка контрольна, набір щупів №2 точності 1 по ТУ-2-034-223-87; шийку  $\varnothing 30_{-0,42}^{-0,14}$  мм - скоба за ГОСТ 11908-75, канавка  $1,4^{+0,25}$  і і - пластина й скоба; розмір  $18 \pm 0,2$  мм - калібр; розміри 35 мм, 80 мм, 22 мм, 313 мм, 450 мм – штангельциркуль ШЦ-III-500-0,1-1 ГОСТ 166-89; кути  $20^{\circ}$  і  $45^{\circ}$  – кутомір УМ-0-180 ГОСТ 5378-88.

#### 4.7. Розрахунок режимів різання по операціях, переходах

Визначимо аналітичним способом режими різання для одного з технологічних переходів, а на решту переходів та операції – призначимо по нормативних даних та зведемо в таблицю. В основу аналітичного способу покладено використання емпіричних формул, отриманих експериментальним шляхом [13]. Під час вибору та розрахунку режимів обробки будемо враховувати розміри різального інструменту, марку матеріалу ріжучої частини, марку матеріалу і стан заготовки, обладнання і його стан.

Розрахунок режимів різання проводиться одночасно із заповненням операційних карт технологічного процесу, в яких повинні бути дані про

обладнання, про спосіб обробки, характеристики оброблюваної деталі, які використовуються для розрахунків режимів різання [14].

Здійснимо розрахунки режимів різання на основні операції обробки деталі «Гвинт опори» і на операції, які відображені в технологічних наладках, виходячи з нормативних карт режимів обробки інструментом і пластин твердих сплавів фірми ISCAR (використовуваних у якості ріжучої частини інструмента), виду оброблюваного матеріалу.

Оброблюваний матеріал – поковка з якісної вуглецевої конструкційної сталі 35 згідно ГОСТ 1050-89.

Згідно нормативних карт фірми ISCAR група матеріалу – 2; максимальна сила різання  $k_s = 2100 \text{ Н/мм}^2$ .

Технологічний процес обробки деталі «Гвинт опори» складається із шести основних операцій:

- 005 Фрезерно-центрувальна;
- 010 Токарна з ЧПК;
- 015 Токарна з ЧПК;
- 020 Вертикально-свердлильна;
- 025 Вертикально-свердлильна;
- 030 Різенакатна.

*Розрахунки режимів різання на операцію 010. Токарна з ЧПК.*

На даній операції виконується чорнове, чистове й тонке точіння поверхні деталі справо, підрізування торця, зняття фасок, проточка канавок. Операція містить п'ять інструментальних позицій (переходів).

На верстатах з ЧПК фаски й канавки для виходу інструмента обробляють, коли це доцільно відповідно до стійкості інструмента й продуктивності обробки, при цьому слід враховуючи, що робота вершини різця при врзанні покращується, якщо знята фаска. Якщо знята фаска, то деталі будуть без заусенець, тобто точіння канавок буде виконуватися після чорнового переходу.

Устаткування – Токарний верстат моделі 16K20T1 з ЧПК FANUK 21I / 210I - TA.

Пристосування: Патрон повідковий, самозатискний ГОСТ 2571-71; центр обертовий 1-5-Н ГОСТ 8742-75.

### Перехід 1.

На даному переході виконується чорнове точіння заготовки з підрізуванням торця й зняття фаски за один прохід до  $Ra = 12,5$  мкм, залишаючи припуск на чистове й тонке точіння.

Різальний інструмент: різець підрізний MWLNR 2020K-06W із пластиною твердого сплаву WNMM 080408-TNM.

Марка сплаву пластини ISCAR IC635.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання: швидкість різання  $V = 80$  м/хв; подача  $S = 0.45$  мм/об; глибина різання (припуск, що знімається)  $t = 2.0$  мм

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

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

$$n = \frac{1000 \cdot 80}{3.14 \cdot 43.52} = 585 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 43.52$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 500 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}$$

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 43.52 \cdot 500}{1000} = 68.4 \text{ м/хв}$$

### Перехід 2.

На даному переході виконується точіння канавки до  $Ra = 6,3$  мкм за два проходи. Різальний інструмент: різець канавковий SGFR 8B-12D15SH із пластиною твердого сплаву GFN 1,2JS. Марка сплаву пластини ISCAR IC328.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання:

швидкість різання  $V = 90$  м/хв; подача  $S = 0.1$  мм/об; глибина різання  $t = 1.25$  мм

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 90}{3.14 \cdot 31} = 924 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 31$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 800$  хв<sup>-1</sup>.

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 31 \cdot 800}{1000} = 78 \text{ м/хв}$$

### Перехід 3.

На даному переході виконується точіння канавки до  $Ra = 6,3$  мкм за два проходи. Різальний інструмент: різець канавочно-прохідний SCHL 16-6B із пластиною твердого сплаву SCIL 6B/F-EL000. Марка сплаву пластини ISCAR IC328.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання:

швидкість різання  $V = 70$  м/хв; подача  $S = 0.1$  мм/об; глибина різання  $t = 2.69$  мм

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 70}{3.14 \cdot 37.38} = 596 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 31$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 500$  хв<sup>-1</sup>.

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 37.38 \cdot 500}{1000} = 58.7 \text{ м/хв}$$

### Перехід 4.

На даному переході виконується чистове точіння заготовки з підрізуванням торця й зняття фаски за один прохід до  $Ra = 3,2$  мкм, залишаючи припуск на наступне тонке точіння.

Різальний інструмент: різець підрізний PCLNR 2020K-12 із пластиною твердого сплаву CCMT09T304-SM. Марка сплаву пластини ISCAR IC570.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання:

швидкість різання  $V = 160$  м/хв; подача  $S = 0.15$  мм/об; глибина різання  $t = 0.5$  мм

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 160}{3.14 \cdot 37.38} = 1360 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 37.38$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 1250 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 37.38 \cdot 1250}{1000} = 147 \text{ м/хв}$$

#### Перехід 5.

На даному переході виконується тонке точіння заготовки за один прохід до  $Ra = 2,5$  мкм. Різальний інструмент: різець підрізний PCLNR 2020K-12 із пластиною твердого сплаву CCMT09T304-SM. Марка сплаву пластини ISCAR IC8048.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання:

швидкість різання  $V = 250$  м/хв; подача  $S = 0.08$  мм/об; глибина різання  $t = 0.125$  мм

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 250}{3.14 \cdot 36.92} = 2155 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 36.92$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 2000 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 36.92 \cdot 2000}{1000} = 232 \text{ м/хв}$$

Перевірка Р за потужністю проведемо по лімітуючому переходу (чорнове точіння), виконуючи умову:

Повинна виконуватися умова:

$$P_{\text{необх}} \leq P_{\text{ед}}$$

де  $P_{\text{необх}}$  – необхідна потужність;  $P_{\text{ед}}$  – потужність електродвигуна верстата, визначається з паспорта верстата.

$$P_{\text{ед}} = P_{\text{ед max}} \cdot \eta$$

де  $P_{\text{ед max}} = 11$  кВт – максимальна потужність електродвигуна;

$\eta = 0.8$  - коефіцієнт корисної дії верстата.

$$P_{\text{ед}} = 11 \cdot 0.8 = 8.8 \text{ кВт}$$

Визначимо необхідну потужність по формулі:

$$P_{\text{необ}} = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60}$$

де  $P_z$  – сила різання.

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

$C_p = 300$ ;  $x = 1$ ;  $y = 0.75$ ;  $n = 0.15$  – постійна й показники степеня для конкретних умов обробки;  $K_p = 0.85$  - поправковий коефіцієнт, що залежить від впливу якості оброблюваного матеріалу на силові залежності.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2^1 \cdot 0.45^{0.75} \cdot 68.4^{-0.15} \cdot 0.85 = 1468 \text{ Н}$$

$$P_{\text{необ}} = \frac{1468 \cdot 68.4}{1020 \cdot 60} = 1,62 \text{ кВт}$$

Оскільки  $1.62 \text{ кВт} \leq 11 \text{ кВт}$  то умова  $P_{\text{необх}} \leq P_{\text{ед}}$  - виконується.

*Розрахунки режимів різання на операцію 015 Токарна з ЧПК*

На даній операції виконується чорнове точіння поверхні деталі ліворуч, підрізування торця, зняття фасок, свердління отвору  $\varnothing 18$  мм.

Операція містить дві інструментальні позиції (переходи).

Обладнання – Токарний гвинторізний верстат мод. 16К20Т1 з системою ЧПК FANUK 21I / 210I - ТА.

Пристосування: Патрон трикулачковий самоцентруючий  $D = 45-250$  мм, ГОСТ 24351-80

### Перехід 1.

На даному переході виконується точіння заготовки з підрізуванням торця й зняття фаски за один прохід до  $Ra = 6,3$  мкм.

Різальний інструмент: різець підрізний MWLNR 2020K-06W із пластиною твердого сплаву WNMM 080408-TNM. Марка сплаву пластини ISCAR IC635.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання: швидкість різання  $V = 80$  м/хв; подача  $S = 0.45$  мм/об; глибина різання (припуск, що знімається)  $t = 2.0$  мм.

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot 80}{3.14 \cdot 59.4} = 428 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 59.4$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 400 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 59.4 \cdot 400}{1000} = 74.6 \text{ м/хв}$$

### Перехід 2.

На даному переході виконується свердління глухого отвору  $\varnothing 18$  мм із одночасним зняттям фаски в отворі.  $Ra = 6,3$  мкм.

Різальний інструмент: свердло DSM 180-054-25A-3D із твердого сплаву ISCAR IC908; для одночасного зняття фаски в отворі застосовуємо кільцеву насадку (фасочное кільце) RING DCM 180 із пластиною твердого сплаву XOGX, матеріал пластини IC508.

Приймаємо для даного переходу наступні режими різання: швидкість різання  $V = 50$  м/хв; подача  $S = 0.18$  мм/об.

Визначимо частоту обертання шпинделя  $n$ , необхідну для досягнення необхідної швидкості різання, по формулі:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 50}{3.14 \cdot 18} = 884 \text{ хв}^{-1}$$

де  $D = 43.52$  мм – найбільший оброблюваний діаметр.

По паспорту верстата приймаємо  $n = 800 \text{ хв}^{-1}$ .

Фактичне значення швидкості різання визначимо по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{3.14 \cdot 18 \cdot 800}{1000} = 45.2 \text{ м/хв}$$

Поздовжня подача супорта:

$$S_M = S \cdot n$$

$$S_M = 0.18 \cdot 800 = 144 \text{ мм/хв.}$$

припуск, що знімається:

$$Q = \frac{S_M \cdot \pi \cdot D^2}{4000} = \frac{144 \cdot 3.14 \cdot 18^2}{4000} = 36 \text{ см}^3/\text{хв.}$$

$$P_{\text{необ}} = \frac{Q}{60000 \cdot \eta} \cdot k_c \cdot \text{sink}$$

$$\eta = 0.75; k_c = 2100 \text{ Н/мм}^2; \text{sink} = 1.$$

$$P_{\text{необ}} = \frac{36}{60000 \cdot 0.75} \cdot 2100 \cdot 1 = 1.68 \text{ кВт}$$

Крутний момент:

$$M_{\text{кр}} = \frac{s \cdot k_c \cdot D^2}{1000 \cdot 8} \cdot \text{sink} \cdot k_m$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{0.18 \cdot 2100 \cdot 18^2}{1000 \cdot 8} \cdot 1 \cdot 1 = 15.3 \text{ Нм}$$

Сила подачі:

$$F = 0.63 \cdot \frac{D}{2} \cdot s \cdot k_c \cdot \text{sink} \cdot k_f$$

$$F = 0.63 \cdot \frac{18}{2} \cdot 0.18 \cdot 2100 \cdot 1 \cdot 0.85 = 1821 \text{ Н}$$

Зробимо перевірку  $P$  за потужністю.

Перевірку Р за потужністю зробимо по переходу, що лімітує (в нашому випадку, це свердління отвору). При цьому повинна виконуватися умова:

$$P_{\text{необх}} \leq P_{\text{ед}}$$

де  $P_{\text{необх}}$  – необхідна потужність;  $P_{\text{ед}}$  – потужність електродвигуна верстата, визначається з паспорта верстата.

$$P_{\text{ед}} = P_{\text{ед max}} \cdot \eta$$

де  $P_{\text{ед max}} = 7.1$  кВт – максимальна потужність електродвигуна;

$\eta = 0.8$  - коефіцієнт корисної дії верстата.

$$P_{\text{ед}} = 7.1 \cdot 0.8 = 5.7 \text{ кВт}$$

Оскільки  $1.68 \text{ кВт} \leq 5.7 \text{ кВт}$  то умова  $P_{\text{необх}} \leq P_{\text{ед}}$  виконується.

#### 4.8. Технічне нормування технологічного процесу

*Здійснимо розрахунок норм часу на операцію 010 Токарна з ЧПК по обробці зовнішньої поверхні деталі «Гвинт опори».*

Штучно-Калькуляційний час визначається [15, 16]:

$$T_{\text{ш-к}} = T_{\text{ш}} + \frac{T_{\text{п-з}}}{n}$$

де  $T_{\text{ш}}$ - штучний час;  $n$ - кількість деталей у партії;  $T_{\text{п-з}}$  - підготовчо-заклучний час.

$$T_{\text{ш}} = (T_{\text{ца}} + T_{\text{в}}) \cdot \left(1 + \frac{k}{100}\right)$$

де  $T_{\text{ца}}$  - час циклу автоматичної обробки;  $T_{\text{в}}$  - допоміжної час;  $k = 10\%$  – відсоток витрат часу на обслуговування робочого місця.

$$T_{\text{ца}} = T_{\text{о}} + T_{\text{м-в}}$$

де  $T_{\text{о}}$  - основний час;  $T_{\text{м-в}}$  - машинно-допоміжний час.

#### Основний час обробки.

Основний час для обробки [15, 16]:

$$T_o = \frac{L_p}{S_o \cdot n} \cdot i$$

де  $L_p = l_0 + l_1 + l_2 + l_3$  - шлях різання;  $l_0$  - довжина оброблюваної поверхні по кресленню;  $l_1 = t \cdot ctg\varphi$  - довжина врізання;  $l_2 = 0.5 \dots 2$  мм - довжина перебігу;  $l_3 = 0.5 \dots 1$  мм - величина підведення інструмента;  $i$  - кількість проходів.

Основний час для обробки по переходу 1 визначимо:

$$\text{Шлях різання: } L_p = 373 + 2 \cdot ctg95^\circ + 1.5 + 4 = 381.6 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{381.6}{0.45 \cdot 500} \cdot 1 = 1.7 \text{ хв}$$

Визначимо основний час для обробки по переходу 2:

Шлях різання:

$$L_p = \frac{(31 - 28.5)}{2} + 3 = 4.25 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{4.25}{0.1 \cdot 80} \cdot 2 = 0.1 \text{ хв}$$

Визначимо основний час для обробки по переходу 3:

Шлях різання:

$$L_p = 25 + 2.69 \cdot ctg60^\circ + 1.5 + 2 = 32.6 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{32.6}{0.1 \cdot 500} \cdot 2 = 1.3 \text{ хв}$$

Визначимо основний час для обробки по переходу 4:

Шлях різання:

$$L_p = 340 + 0.5 \cdot ctg95^\circ + 1.5 + 2 = 344.3 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{344.3}{0.15 \cdot 1250} \cdot 2 = 1.83 \text{ хв}$$

Визначимо основний час для обробки по переходу 5:

Шлях різання:

$$L_p = 313 + 0.125 \cdot ctg95^\circ + 1.5 + 2 = 316.6 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{316.6}{0.08 \cdot 2000} \cdot 1 = 1.97 \text{ хв}$$

Загальний основний час:

$$\sum T_o = 1.7 + 0.1 + 1.3 + 1.83 + 1.97 = 6.9 \text{ хв}$$

Машинно-допоміжний час.

Визначимо машинно-допоміжний:

$$T_{м-в} = T_{хх} + T_{см}$$

де  $T_{хх} = L_{хх} / V_{поз}$

$$T_{хх} = 3823 / 6000 = 0.63$$

де  $L_{хх} = 3823 \text{ мм}$  – довжина холостих ходів (прийнята по картах налагодження);  $V_{поз} = 6000 \text{ мм/хв}$  – швидкість установчого (холостого) позиціонування згідно з паспортними даними верстата 16К20Т1.

$T_{см} = 0.07 \cdot 5 = 0.35 \text{ хв}$  – час заміни інструменту для різцетримача з інструментами

$$T_{м-в} = 0.63 + 0.35 = 0.98 \text{ хв}$$

Час циклу автоматичної обробки

Визначимо час циклу автоматичної обробки:

$$T_{ца} = T_o + T_{м-в} = 6.9 + 0.98 = 7.88 \text{ хв}$$

Допоміжний час

Визначаємо допоміжний час:

$$T_{в} = 1.85 \cdot (T_{уc} + T_{зо} + T_{упр} + T_{изм})$$

де  $T_{уc} = 0.1 \text{ хв}$  – час на установку й зняття деталі;  $T_{зо} = 0.024 \text{ хв}$  – час на закріплення й відкріплення;  $T_{упр} = 0.04 \text{ хв}$  – час на приймання керування верстатом;  $T_{изм} = 0.58 \text{ хв}$  – час на вимірювання.

$$T_{\text{в}} = 1.85 \cdot (0.1 + 0.24 + 0.04 + 0.58) = 1.3 \text{ хв}$$

### Штучний час

Визначимо штучний час:

$$T_{\text{шт}} = (7.88 + 1.3) \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 10.09 \text{ хв}$$

### Підготовчо-заключний час

Визначаємо підготовчо-заключний час:

$$T_{\text{п.з}} = T_{\text{п.з1}} + T_{\text{п.з2}} + T_{\text{п.з3}}$$

де  $T_{\text{п.з1}} = 5.6 \text{ хв}$  – час на приймання, що ввійшов в комплекс при пристроях ЧПК FANUC 21I/210I-TA;  $T_{\text{п.з2}} = 8.2 \text{ хв}$  – час на приймання, який не включений в комплекс;  $T_{\text{п.з3}} = 7.4 \text{ хв}$  – час пробної обробки деталі.

$$T_{\text{п.з}} = 5.6 + 8.2 + 7.4 = 21.2 \text{ хв}$$

### Штучно-калькуляційний час

Визначимо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{шт-к}} = 10.09 + \frac{21.2}{400} = 10.14 \text{ хв}$$

$$n = \frac{N \cdot a}{D_k} = \frac{20000 \cdot 5}{250} = 400$$

де  $n$  - кількість деталей у партії,  $N = 20000$  – річна програма випуску;  $a = 5$  – кількість днів, на яку повинен бути забезпечений запас деталей за умови безперервності процесу складання;  $D_k = 250$  – число робочих днів у році.

*Здійснимо розрахунок норм часу на операцію 015 Токарна з ЧПК по обробці зовнішньої поверхні й отвору деталі «Гвинт опори».*

Визначимо основний час для обробки по переходу 1:

Шлях різання:

$$L_p = 114.5 + 2 \cdot ctg95^{\circ} + 1.5 + 2 = 121.12 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{121.12}{0.45 \cdot 400} \cdot 1 = 0.67 \text{ хв}$$

Визначимо основний час для обробки по переходу 2:

Шлях різання:

$$L_p = 35 + 7 = 42 \text{ мм}$$

$$T_o = \frac{42}{0.45 \cdot 400} \cdot 1 = 0.29 \text{ хв}$$

Загальний основний час:

$$\sum T_o = 0.67 + 0.29 = 0.96 \text{ хв}$$

Машинно-допоміжний час.

Визначимо машинно-допоміжний час:

$$T_{м-в} = T_{\text{хх}} + T_{\text{см}} = 0.08 + 0.14 = 0.22 \text{ хв}$$

де  $T_{\text{хх}} = L_{\text{хх}}/V_{\text{поз}} = \frac{523}{6000} = 0.08 \text{ хв}$ ,  $T_{\text{см}} = 0.07 \cdot 2 = 0.14 \text{ хв}$  – час зміни інструмента для різцетримача з двома інструментальними позиціями для верстата 16К20Т1.

Час циклу автоматичної обробки

Визначимо час циклу автоматичної обробки:

$$T_{\text{ца}} = T_o + T_{м-в} = 0.96 + 0.22 = 1.18 \text{ хв}$$

Допоміжний час

Визначимо допоміжний час:

$$T_v = 1.85 \cdot (T_{\text{ус}} + T_{\text{зо}} + T_{\text{упр}} + T_{\text{изм}}) = 1.85 \cdot (0.1 + 0.024 + 0.04 + 0.48) = 1.2 \text{ хв}$$

де  $T_{\text{ус}} = 0.1 \text{ хв}$  – час на установку й зняття деталі;  $T_{\text{зо}} = 0.024 \text{ хв}$  – час на закріплення й відкріплення;  $T_{\text{упр}} = 0.04 \text{ хв}$  - час на приймання керування верстатом;  $T_{\text{изм}} = 0.48 \text{ хв}$  - час на вимірювання.

Штучний час

Визначимо штучний час:

$$T_{\text{ш}} = (1.18 + 1.2) \cdot \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 2.61 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час

Визначимо підготовчо-заключний час:

$$T_{\text{п.з}} = T_{\text{п.з1}} + T_{\text{п.з2}} + T_{\text{п.з3}} = 5.6 + 8.2 + 7.4 = 21.2 \text{ хв}$$

де  $T_{\text{п.з1}} = 5.6 \text{ хв}$  – час на приймання, що ввійшов в комплекс при пристроях ЧПК FANUC 21I/210I-TA;  $T_{\text{п.з2}} = 8.2 \text{ хв}$  – час на приймання, який не включений в комплекс;  $T_{\text{п.з3}} = 7.4 \text{ хв}$  – час пробної обробки деталі

Штучно-калькуляційний час

Визначимо штучно-калькуляційний час:

$$T_{\text{ш-к}} = 2.61 + \frac{21.2}{400} = 2.66 \text{ хв.}$$

## РОЗДІЛ 5

## ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

## 5.1. Розрахунок приводу головного руху

## 5.1.1. Вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстата.

Проведемо вибір діапазону регулювання виконавчих механізмів верстата.

При цьому найбільший діаметр обробки деталей  $d_{max} = 400$  мм; найменший діаметр обробки деталей  $d_{min} = 5$  мм.

Визначаємо граничні частоти обертання шпинделя.

Так для обробки легкооброблюваних матеріалів гранична частота обробки буде [17]:

$$n_{шп. max} = \frac{1000 \cdot V_{max}}{\pi \cdot d_{max}}$$

Так для обробки важкооброблюваних матеріалів гранична частота обробки буде [17]:

$$n_{шп. min} = \frac{1000 \cdot V_{min}}{\pi \cdot d_{min}}$$

Швидкість різання при нарізуванні різцем метричної різьби:

$$V = 8.5 \text{ м/хв.}$$

В якості легкооброблювального матеріалу будемо вибирати алюмінієвий сплав Д16, Д16Т,  $\sigma = 360$  МПа, з термообробкою - гартуванням + старіння.

Швидкість різання при точінні алюмінієвих сплавів:  $V = 250$  м/хв.

Тоді граничні частоти обертання шпинделя:

$$n_{шп. max} = \frac{1000 \cdot 250}{3.14 \cdot 5} = 15923 \text{ об/хв}$$

$$n_{шп. min} = \frac{1000 \cdot 8.5}{3.14 \cdot 400} = 6.7 \text{ об/хв.}$$

Частота обертання  $n_{\text{шп.мах}} = 15923$  об/хв. є дуже високою. При високих частотах значно збільшуються ймовірність виникає дисбалансу, вібрацій. При таких високих частотах обертання потрібен спеціальний затискний пристрій.

Трикулачковий патрон не дає надійної установки деталі. Підшипники шпинделя не витримують таких високих частот обертання. Одержані значення частот можуть бути реалізовані тільки теоретично, реальні значення будуть визначатися можливою стійкістю ріжучого інструменту.

Приймаються частоти обертання приводу головного руху за табл. 12 (18, ст. 120).

$$n_{\text{шп.мах}} = 2500 \text{ об/хв}; \quad n_{\text{шп.мін}} = 6.3 \text{ об/хв}$$

Швидкості різання:

$$V_{\text{мах}} = 250 \text{ м/хв}; \quad V_{\text{мін}} = 8.5 \text{ м/хв}$$

Будемо проектувати привод головного руху для одержання на шпинделі наступних характеристик 14 (18, ст. 129).

$$n_{\text{шп.мах}} = 2500 \text{ об/хв}; \quad n_{\text{шп.мін}} = 6.3 \text{ об/хв.}$$

5.1.2. Кінематичний розрахунок та обґрунтування кінематичної схеми верстата.

У токарно-гвинторізному верстаті з ЧПК встановлюємо привід головного руху з безступеневим регулюванням. Основними достоїнствами такого приводу є:

- підвищення продуктивності обробки за рахунок точного настроювання оптимальної швидкості різання;
- забезпечення плавної зміни швидкості різання при робочому циклі верстата;
- простота процесу автоматизації перемикання швидкостей;
- реальне спрощення конструкції і зниження металомісткості коробки швидкостей порівняно із ступінчастим приводом.

Для безступеневого регулювання швидкості в основному застосовують регульовані електродвигуни, табл. 8 [17, ст. 125]:

1. Електродвигуни постійного струму з тиристорною системою управління;
2. Асинхронні електродвигуни, що регулюються за рахунок зміни частоти струму.

Вибиремо асинхронний електродвигун із короткозамкненим ротором 1PH7 131 NF фірми SIEMENS. Його технічні характеристики:

$$P_{\text{ном}}=11 \text{ кВт}; \quad M_{\text{кр.ном.}}=70 \text{ Н*м};$$

$$n_{\text{ном}}=500 \text{ хв}^{-1}; \quad n_{\text{max}}=6700 \text{ хв}^{-1},$$

Для безступінчастого регулювання швидкості використаємо двигуни постійного струму з тиристорною системою керування [12]. В приводі таких верстатів використовують двохзонне регулювання; діапазон регулювання при постійному моменті  $R_{\partial M}$ , за постійної потужності дорівнює  $R_{\partial P}$ , при цьому діапазон регулювання механічної коробки швидкостей:  $R_M$ .

При цьому загальна величина приводу визначається:

$$R_{\partial} = R_{\partial M} \cdot R_{\partial P}$$

Тому діапазон регулювання приводу:

$$R = R_{\partial} \cdot R_M = R_{\partial M} \cdot R_{\partial P} \cdot R_M$$

Звідси маємо:

$$R_M = R / R_{\partial}$$

Відповідно способу регулювання електродвигуна відбувається регулювання частоти обертання шпинделя за постійного моменту або за постійної потужності

$$R_P = R_{\partial P} \cdot R_M$$

Визначаємо діапазон регулювання:

$$R = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}}$$

$$R_{\partial} = \frac{n_{\partial \text{max}}}{n_{\partial \text{min}}};$$

$$R_{\partial P} = \frac{n_{\partial \text{max}}}{n_{\partial \text{н.}}}$$

Так як діапазон регулювання коробки швидкостей із  $z$ -ступенями визначається із залежності:

$$R_M = \varphi_1^{z-1},$$

тому для забезпечення безступеневості частоти обертання шпинделя на усьому діапазоні приймаємо  $\varphi_1 = R_{\partial P}$ . звідси випливає, що:

$$R_P = R_{\partial P} \cdot R_M = \varphi_1 \cdot \varphi_1^{z-1} = \varphi_1^z.$$

Звідси визначаємо необхідне число ступеней коробки швидкостей:

$$z = \frac{\lg R_P}{\lg \varphi_1}$$

Кількість ступенів коробки, а тому і кількість піддіапазонів приводу оптимізують. Якщо двигун має можливість безступеневого регулювання частот обертання вихідного валу коробки швидкостей з постійною потужністю в діапазоні від  $m_{min}$  до  $m_{max}$ , і шпинделя за такого ж регулювання в межах інтервалу від  $n_{min}$  до  $n_{max}$ , то діапазон регулювання:

$$R_M = m_{max}/m_{min};$$

$$R = n_{max}/n_{min}.$$

Якщо  $k_m$  і  $k$  - кількості інтервалів, що стосуються  $R_M$  і  $R$  на графіку частот обертів, то

$$R_M = \varphi_1^{k_m}; \quad R = \varphi_1^k;$$

$$k_m = \lg R_M / \lg \varphi_1$$

$$k = \lg R / \lg \varphi_1.$$

Якщо  $s_{\partial}$  та  $s$  – число частот обертань електричного двигуна і шпинделя за регулювання з постійною потужністю,

$$k_m = s_{\partial} - 1; \quad k = s - 1.$$

Необхідна кількість ступенів коробки швидкостей (піддіапазонів регулювання):

$$z = \frac{k - k'}{k_m - k'}$$

Найменше значення  $z_{min}$  отримуємо при відсутності перекриття  $k' = -1$

$$z_{min} = \frac{k + 1}{k_m + 1}$$

При  $z_{min} \leq 2$  необхідно використовувати двохступеневу коробку швидкостей. При  $z_{min} > 2$  допускається «провал» регулювання з постійною потужності між двома піддіапазонами, в цьому випадку використовують двохступеневу коробку швидкостей.

У верстатах з ЧПК можна використовувати приводи з двигунами постійного струму і ступінчастим регулюванням частоти обертання шпинделя. У цьому випадку використовують ряд частот з невеликим знаменником  $\varphi$ , який переважно дорівнює 1,12 (набагато рідше 1,06). Тому  $\varphi = \sqrt[l]{\varphi_1}$ , де  $l$  - число поділів інтервалу  $\lg \varphi_1$ .

$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{2500}{6,3} \approx 400;$$

двигуна:

$$R_{\partial} = \frac{n_{\partial max}}{n_{\partial min}} = \frac{6700}{500} \approx 13;$$

приводу при постійній потужності:

$$R_P = \frac{R}{R_{\partial M}} = \frac{400}{13} = 30.8$$

Для цього верстата застосовуємо привід з комбінованим регулюванням, для якого до умовної розрахункової частоти  $n_p$  забезпечується регулювання з постійним моментом в діапазоні  $R_M$ , а вище - регулювання з постійною потужністю в діапазоні  $R_P$ .

$$n_p = n_{min} \times \sqrt[4]{R_n} = 6.3 \times \sqrt[4]{400} = 28 \text{ хВ}^{-1}$$

або

$$n_p = n_{min} \times \sqrt[3]{R_n} = 6.3 \times \sqrt[3]{400} = 46 \text{ хВ}^{-1}$$

Приймаємо  $n_p = 37 \text{ хВ}^{-1}$  (рис. 5.1)

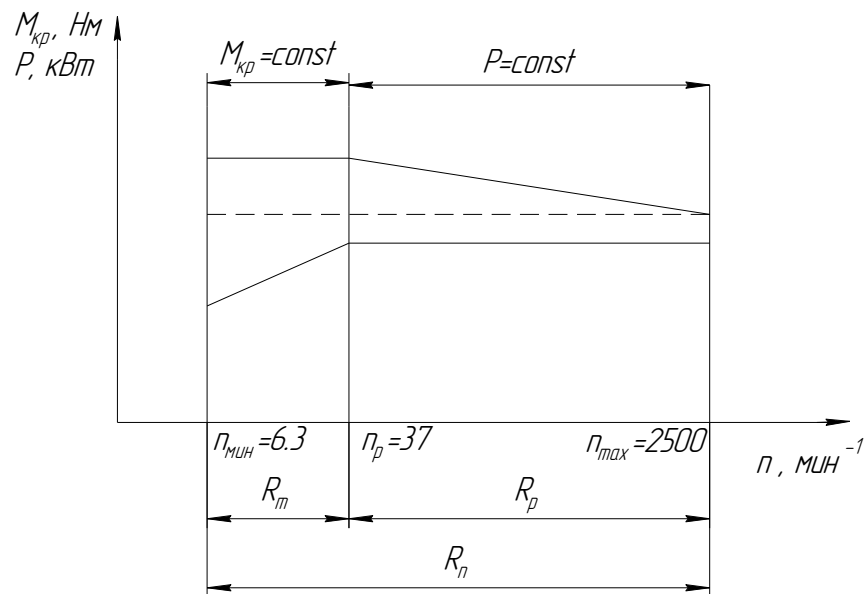


Рисунок 5.1 Пускова характеристика

Розрахуємо кількість  $m$  груп передач коробки швидкостей:

$$m = \frac{\lg R_k}{\lg 8} = \frac{1.5}{0.8} = 1.875$$

Значення  $m$  можна заокруглити до 2.

Використаємо стандартне значення знаменника  $\varphi = 1,26$ :

$$c = \frac{\lg R_d}{\lg \varphi} = \frac{1.1}{0,1} = 11$$

Визначимо кількість інтервалів  $\lg \varphi$ , що перетинають на зображенні графіка частот обертання лінії, які зображують передачі групи, а саме:

$$K_m = \frac{\lg R_k}{\lg \varphi} = \frac{\lg 5.6}{\lg 1,26} = 7.4$$

Приймаємо  $K_m = 9$ . Решта три інтервали отримаємо як результат від регулювання електричного двигуна у зоні постійного крутного моменту.

Фактично діапазони регулювання коробки швидкостей і приводу в цілому:

$$R_{\varphi.k.} = \varphi^{k_m} \quad R_{\varphi.n.} = R_d * R_{\varphi.k.}$$

Реальні діапазони регулювання  $R_{\varphi.k.} = 1,26^9 * 5.5 = 31$ ;  $R_{\varphi.n.} = 402$ .

Визначимо число  $K_1$ , а також число  $K_2$ :

$$K_1 = \frac{\lg\left(\frac{n_{\text{эд. max}}}{n_{\text{ун. max}}}\right)}{\lg \varphi} \qquad K_2 = \frac{\lg R_{\phi.n}}{\lg \varphi}$$

$K_1 = 4.3$  и  $K_2 = 26$ .

Приймаємо  $K_1 = 4$  и  $K_2 = 26$ ,

тоді  $K_{\text{заг.}} = K_1 + K_2 = 30$

По нормалі Н11-1 "Нормальні ряди чисел у верстатобудуванні" вибираємо стандартний ряд частот обертання ( $\text{хв}^{-1}$ ): 8000; 6300; 5000; 4000; 3150; 2500; 2000; 1600; 1250; 1000; 800; 630, 500, 400 ; 315; 250; 200; 160; 125; 100; 80; 63; 50; 40; 31,5; 25; 20; 16; 10; 8; 6,3 і будуємо графік частот обертання.

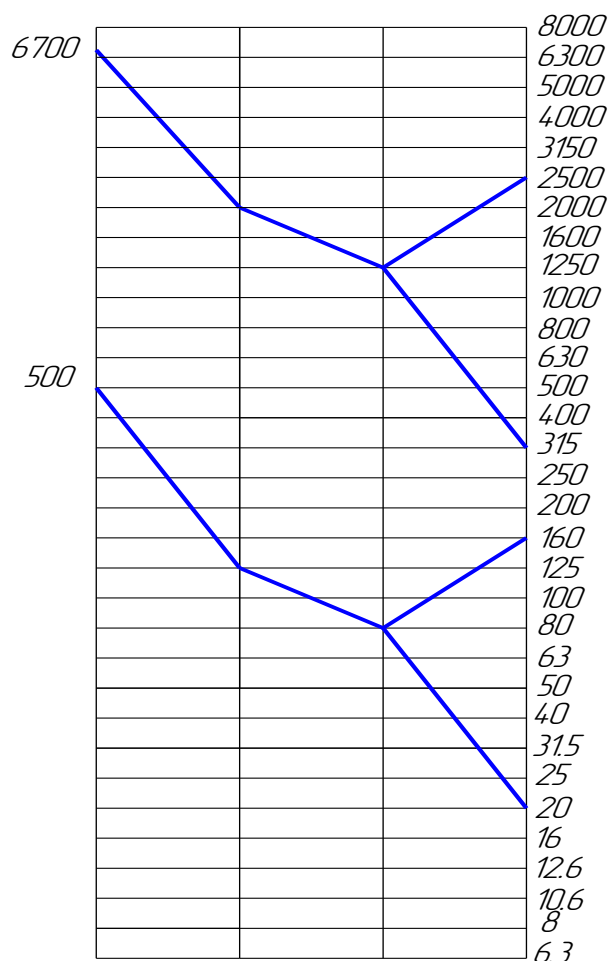


Рисунок 5.2 Графік чисел обертів

Розрахуємо числа зубців у приводі головного руху верстату.

При визначенні кількості зубів потрібно отримати не тільки дане передавальне відношення  $i_1 = z_1 \div z_2$ , але й треба забезпечити постійну суму зубів

у межах 2-х валовій передачі  $z = z_1 + z_2 = const$ . Числа зубів шестерень вибираємо по передавальному відношенню [19]:

$$\begin{cases} z_1/z_2 = 0.625 \\ z_1 + z_2 = 86 \end{cases} \quad \text{Звідси } z_1=33, z_2=53.$$

$$\begin{cases} z_3/z_4 = 2 \\ z_3 + z_4 = 86 \end{cases} \quad \text{Звідси } z_3=28, z_4=58.$$

$$\begin{cases} z_5/z_6 = 2 \\ z_5 + z_6 = 86 \end{cases} \quad \text{Звідси } z_5=17, z_6=69.$$

На основі проведених розрахунків будуємо кінематичну схему приводу головного руху (рис. 5.3).

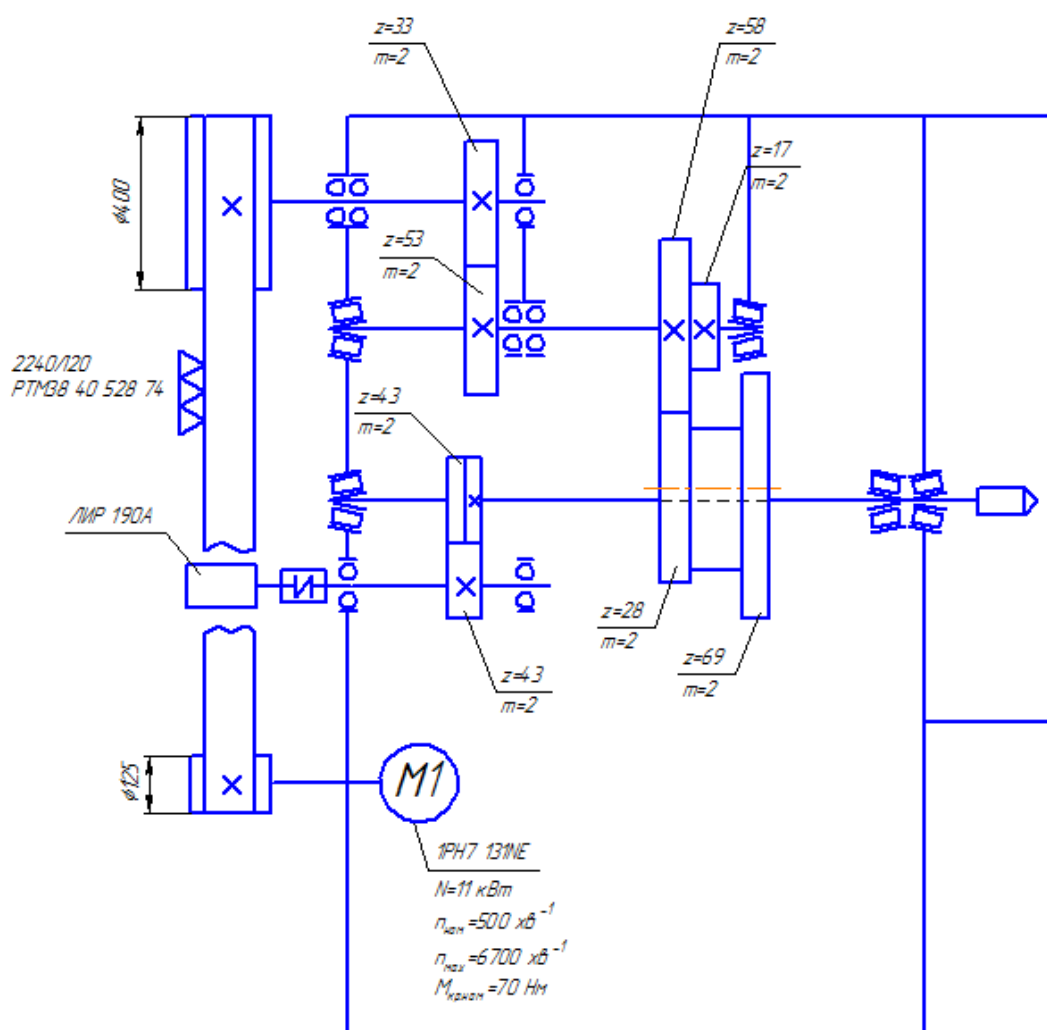


Рисунок 5.3 Кінематична схема приводу головного руху

### 5.1.3. Розрахунок потужності приводу головного руху

$$n_I = n_{\partial 6} = 6700 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{ум}} = 2500 \text{ об/хв}$$

$$N_{x.x.} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 60(500 + 100 + 4 \cdot \frac{110}{60} \cdot 160) = 0.43 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta} + N_{x.x.} = \frac{6,4}{0.900 \cdot 0.8} + 0.43 = 9,32 \text{ кВт}$$

Приймаємо  $N_{\text{дв}} = 11 \text{ кВт}$

Вибираємо електродвигун 2ПБВ100L.

5.1.4. Визначаємо оптимальний крутний момент та швидкості на валах кінематичного ланцюга привода.

Визначимо крутний момент на валу електродвигуна приводу:

$$T_{\text{д}} = \frac{N_{\text{н}} \times 10^3}{\omega}, (H \times m);$$

$$T_{\text{д}} = 9550 \times \frac{N_{\text{н}}}{n_{\text{н}}}, (H \times m),$$

де  $N_{\text{н}}$  - номінальна потужність приводу електродвигуна, кВт;  $\omega$  - кутова швидкість валу в електродвигуні;  $n_{\text{н}}$  - номінальне число обертів, яке задається в технічній характеристиці електродвигуна.

$$T_{\text{д}} = 9550 \times \frac{11}{1500} = 70 (H \times m)$$

Крутний момент, що вимірюють на перш-му валі приводу:

$$T' = 9550 \times \frac{N_{\text{н}}}{n_1} \times \eta_1, H \times m$$

$n_1$  - кількість обертів на 1-му валі приводу;  $\eta_1$  - коефіцієнт корисної дії передач від електродвигуна до 1-го валу, включаючи ККД пасової передачі ( $\eta=0,94\dots0,96$ ) і підшипників кочення 1-го валу ( $\eta=0,99$ ).

$$\eta_1 = 0,95 \cdot 0,99 = 0,9405$$

$$T' = 9550 \times \frac{11}{2000} \times 0,9405 = 49,4 (H \times m)$$

При визначенні крутного моменту на 2-му валу приймаємо розрахункову частоту обертання валу, що відповідає верхньому значенню  $\frac{1}{3} \times D \cdot n_2 = 80 \text{ хв}^{-1}$ ;

$$\eta_2 = 0,9405 \cdot 0,98 = 0,9217$$

Крутний момент на 2-му валу:

$$T'' = 9550 \times \frac{11}{250} \times 0,9217 = 387,3 (\text{Н} \times \text{м})$$

Модулі для сталевих прямозубих коліс:

$$m_{\text{пов}} = \frac{100}{z} \times \sqrt[3]{\left( \left( \frac{68}{[\sigma_{\text{пов}}]} \right)^2 \times \frac{i \pm 1}{i \times \psi_0} \times \frac{k \times N}{n} \right)}, \text{мм}$$

$$m_{\text{изг}} = 100 \times \sqrt{\left( \frac{19,5}{z \times \psi \times y \times [\sigma_{\text{изг}}]} \times \frac{k \times N}{n} \right)}, \text{мм}$$

де  $z$  - число зубів веденого колеса;

$[\sigma_{\text{пов}}]$ ,  $[\sigma_{\text{изг}}]$  - відповідно допустимі контактні напруги в томи поверхневих шарів і напруги на згин, МПа;

$N = N_n \cdot \eta_i$  - номінальна потужність;

$\eta_i$  - К.к.д. від електродвигуна до передач;

$n$  - розрахункове число обертів меншого колеса, об/хв;

$y$  - коефіцієнт форми зуба, при  $z=20..60$ ,  $y=0,243...0,268$ ;

$i$  - передаточне відношення, все приймаємо  $i \geq 1$ .

Для сповільнених передач беремо величину, зворотню від передавального відношення зубчастої передачі;

$$\psi = \frac{b}{m} = 6...10$$

де  $b$  - ширина шестерні;

$d_w$  - діаметр цієї шестерні;

$\psi_0 = 0,7...1,6$  - за симетричного розміщення и жостких валах;

$\psi_0=0,4\dots 0,6$  - при консольно розміщеній шестерні;

$k$  - коефіцієнт визначення навантаження;  $k=k_d \times k_k \times k_p$ , де

$k_d$  - коефіцієнт визначення динамічного навантаження;  $k_d=1,1\dots 1,2$ ;

$k_k$  - коефіцієнт визначення концентрації навантаження;  $k_k=1,2\dots 1,4$ ;

$k_p$  - коефіцієнт режиму;  $k_p=1,1\dots 1,3$ .

Допустимі контактні навантаження  $[\sigma_{нов}]$  визначаються за формулою:

$$[\sigma_{нов}] = \frac{\sigma_{нов(1,2)}^0}{S_n}, \text{ МПа}$$

де  $\sigma_{нов(1,2)}^0$  - границя контактної міцності, яка лімітує ланки зубчастої передачі (шестерні або колеса);

$S_n$  - коефіцієнт щодо безпеки; індекси: 1-для шестерні, 2-для колеса.

Приймаємо  $S_n=1,1$ .

Як матеріал для зубчастих коліс приймаємо Сталь 40Х.

$$\sigma_{нов(1,2)}^0 = 18 \times HRC_{cp} + 150 = 18 \times 50 + 150 = 1050 \text{ (МПа)}$$

$$[\sigma_{нов}] = \frac{1050}{1,1} = 954,545 \text{ (МПа)}$$

Допустимі напруги згину  $[\sigma_{изг}]$  визначають за формулою:

$$[\sigma_{изг}] = \frac{\sigma_{изг(1,2)}^0}{S_u}, \text{ МПа}$$

де  $\sigma_{изг(1,2)}^0$  - границя згинної міцності, вона лімітує ланки зубчастої передачі;

$S_u$  - коефіцієнт щодо безпеки за розрахунку зубів при згині,  $S_u=1,75$ .

$$\sigma_{изг(1,2)}^0 = 500 \text{ МПа}$$

$$[\sigma_{изг}] = \frac{500}{1,75} = 285,714 \text{ (МПа)}$$

Тоді при передачі з валів I-II прийmemo:

$$k_d=1,15, \quad k_k=1,3, \quad k_p=1,2$$

$$k=1,15 \times 1,3 \times 1,2=1,794$$

За розрахунку  $m_{нов}$   $k=1,794$

$$k_p = 1$$

$$k = 1,15 * 1,3 * 1 = 1,495$$

За розрахунку:  $m_{3z} \quad k = 1,495$

$$1. \quad i = 33/53,$$

$$y = 0,243, \quad \psi = 6, \quad \psi_0 = 0,6;$$

$$m_{нов} = \frac{100}{53} \times \sqrt[3]{\left( \left( \frac{68}{954,545} \right)^2 \times \frac{0,625 + 1}{0,625 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000} \right)} = 0,18(\text{мм})$$

$$m_{3z} = 100 \times \sqrt[3]{\left( \frac{19,5}{53 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,795 \times 7,35}{2000} \right)} = 1,9(\text{мм})$$

Приймаємо, що  $m = 2 \text{ мм}$ .

$$2. \quad i = 58/28$$

$$m_{нов} = \frac{100}{28} \times \sqrt[3]{\left( \left( \frac{68}{954,545} \right)^2 \times \frac{2 + 1}{2 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000} \right)} = 0,11(\text{мм})$$

$$m_{3z} = 100 \times \sqrt[3]{\left( \frac{19,5}{29 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,795 \times 7,35}{2000} \right)} = 2,15(\text{мм})$$

Приймаємо  $m = 2 \text{ мм}$ .

$$3. \quad i = 17/69$$

$$m_{нов} = \frac{100}{69} \times \sqrt[3]{\left( \left( \frac{68}{954,545} \right)^2 \times \frac{1,96 + 1}{1,96 \times 0,6} \times \frac{1,794 \times 7,35}{2000} \right)} = 0,12(\text{мм})$$

$$m_{3z} = 100 \times \sqrt[3]{\left( \frac{19,5}{69 \times 6 \times 0,243 \times 285,714} \times \frac{1,495 \times 7,35}{2000} \right)} = 1,7(\text{мм})$$

Приймаємо, що  $m = 2 \text{ мм}$ .

Щодо діаметрів зубчастих коліс.

1) Розраховуємо ділільні діаметри зубчастих коліс:

$$d_1 = m \times z_1 = 2 \times 33 = 66(\text{мм})$$

$$d_2 = m \times z_2 = 2 \times 53 = 106(\text{мм})$$

$$d_3 = m \times z_3 = 2 \times 58 = 116(\text{мм})$$

$$d_4 = m \times z_4 = 2 \times 29 = 58(\text{мм})$$

$$d_5 = m \times z_5 = 2 \times 17 = 34(\text{мм})$$

$$d_6 = m \times z_6 = 2 \times 69 = 138(\text{мм})$$

2) Визначимо діаметри кіл вершин зубів:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \times m = 66 + 2 \times 2 = 70(\text{мм})$$

$$d_{a2} = d_2 + 2 \times m = 106 + 2 \times 2 = 110(\text{мм})$$

$$d_{a3} = d_3 + 2 \times m = 116 + 2 \times 2 = 120(\text{мм})$$

$$d_{a4} = d_4 + 2 \times m = 58 + 2 \times 2 = 62(\text{мм})$$

$$d_{a5} = d_5 + 2 \times m = 34 + 2 \times 2 = 38(\text{мм})$$

$$d_{a6} = d_6 + 2 \times m = 138 + 2 \times 2 = 142(\text{мм})$$

3) Визначимо відстань між осями валів:

$$a_{\omega 1} = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{66 + 106}{2} = 86(\text{мм})$$

$$a_{\omega 2} = \frac{d_3 + d_4}{2} = \frac{116 + 58}{2} = 87(\text{мм})$$

$$a_{\omega 3} = \frac{d_5 + d_6}{2} = \frac{34 + 138}{2} = 87(\text{мм})$$

4) Визначимо ширину зубчастих вінців:

$$b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b_5 = b_6 = \psi \times m = 8 \times 2 = 16(\text{мм})$$

Розраховуємо вали на міцність.

Під час роботи валів коробки швидкостей основні навантаження виникають від сили, що є у зубчастих передачах. В обертових валах ці сили викликають напруги, що змінюються по симетричному циклу.

Попередній розрахунок на міцність розраховує діаметр валу за умовним розрахунком на чистове кручення, але без урахування впливу вигину.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \times T}{\pi \times [\tau_{кр}]}} , \text{мм}$$

де  $T$  - крутний момент на валу, що розраховується, Н\*мм;

$[\tau_{кр}]$  - понижене допустиме напруження кручення, МПа.

За попереднього розрахунку для валів з вуглецевих сталей допустимими є напруження кручення на вихідних ділянках, тому приймаємо  $[\tau_{кр}] = 15 \dots 20$  МПа. На інших місцях валів діаметри назначаємо зважаючи на конструктивні і технологічні вимоги.

$$\text{Вал 1: } d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 49400}{\pi \times 17,5}} = 24,2(\text{мм})$$

$$\text{Вал 2: } d = \sqrt[3]{\frac{16 \times 387300}{\pi \times 17,5}} = 48,31(\text{мм})$$

Треба збільшити діаметри валів, а тому приймаємо:

$$d_I = 25\text{мм}, \quad d_{II} = 50\text{мм}$$

Після попереднього розрахунку діаметрів валів виконуємо розрахунок на витривалість (втомну міцність) валу I коробки швидкостей і горизонтального шпинделя верстата. Цей розрахунок відображає характер зміни напружень, статичні і втомні параметри матеріалів, а також поверхневе зміцнення валів.

Розрахунок 1-го валу на міцність.

Для розрахунку реакції в опорах складемо розрахункову схему. Вал розглядаємо як балку з двома шарнірними опорами. При розрахунку реакцій опор, а також епюр згинаючих і крутних моментів схему валу виконуємо з графічним зображенням сил, які діють на вал в різних площинах (рис. 5.4).

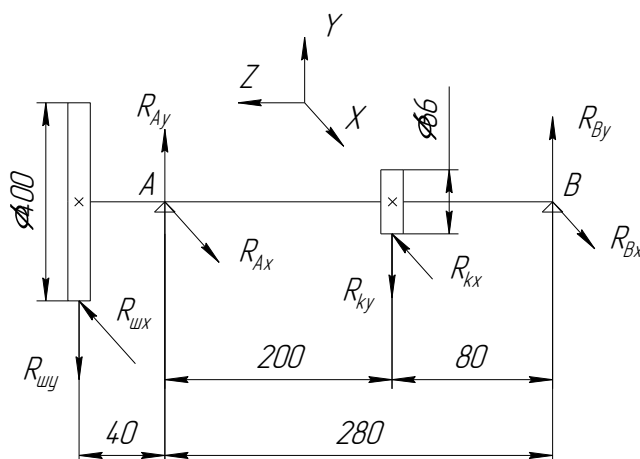


Рисунок 5.4 Розрахункова схема валу

Колова сила  $P$  впливає на вал у площинах  $ZOX$ :

$$P = \frac{2 \times T}{D}, H$$

де  $T$  - крутний момент, що на валу,  $H \cdot m$ ;

$D$  - дільний діаметр зубчастого колеса, м.

Радіальна сила, яка діє на вал в зубчастому зачепленні:

$$P_y = P \times \operatorname{tg}(\alpha_w)$$

де:  $P$  - колова сила, яка діє на вал,  $\alpha_w$  - кут зачеплення,  $\alpha_w = 20^\circ$ .

На зубчастому колесі:  $T = 49.4H \times m$

$$D = 0,066m$$

Тому:

$$P_{kx} = \frac{2 \times 49.4}{0,066} = 1497(H)$$

$$P_{ky} = 1497 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 545(H)$$

Для шківу:

$$T = 9550 \times \frac{11}{1500} \times 0,95 = 66.3(H \times m)$$

$$D = 400 \text{ мм}$$

Тоді:

$$T_{uy} = T_{ux} \times \operatorname{tg} 20^\circ = 66.3 \times \operatorname{tg} 20^\circ = 241(H)$$

За діючими на вал силах визначають у двох взаємоперпендикулярних площинах згинальні моменти і реакції опор, потім виробляють геометричне їх підсумовування в небезпечному перерізі:

$$M_u = \sqrt{(M_{ux}^2 + M_{uy}^2)}, H \times m$$

де  $M_{ux}$  – максимально можливий згинальний момент у небезпечному перерізі, який діє в горизонтальній площині,  $H \times m$ ;  $M_{uy}$  – максимально можливий згинальний момент у небезпечному перерізі, що діє у вертикальній площині.

Будуємо розрахункову схему вала I та визначимо опорні реакції.

У площині ZOY:

$$\sum m_B = 0;$$

$$P_{uy} \times 0,32 - R_{Ay} \times 0,28 + P_{ky} \times 0,08 = 0$$

$$R_{Ay} = \frac{P_{uy} \times 0,32 + P_{ky} \times 0,08}{0,28} = \frac{241 \times 0,32 + 545 \times 0,08}{0,28} = 430,6$$

$$R_{Ay} = 430,6H$$

$$\sum m_A = 0;$$

$$P_{uy} \times 0,04 - P_{ky} \times 0,2 + R_{By} \times 0,28 = 0$$

$$R_{By} = \frac{P_{ky} \times 0,2 - P_{uy} \times 0,04}{0,28} = \frac{545 \times 0,2 - 241 \times 0,08}{0,28} = 320,3$$

$$R_{By} = 320,1H$$

$$\text{Перевірка: } \sum y = 0;$$

$$-P_{uy} + R_{Ay} - P_{ky} + R_{By} = -241 + 430,6 - 545 + 320,1 = 0$$

В площині ZOХ:

$$\sum m_B = 0;$$

$$-P_{ux} \times 0,32 + R_{Ax} \times 0,28 - P_{kx} \times 0,08 = 0$$

$$R_{Ax} = \frac{P_{kx} \times 0,08 + P_{ux} \times 0,32}{0,28} = \frac{1497 \times 0,08 + 663 \times 0,32}{0,28} = 1186,3$$

$$R_{Ax} = 1186,3H$$

$$\sum m_A = 0;$$

$$-R_{Bx} \times 0,28 + P_{kx} \times 0,2 - P_{ux} \times 0,04 = 0$$

$$R_{Bx} = \frac{P_{kx} \times 0,2 - P_{ux} \times 0,04}{0,28} = \frac{1497 \times 0,2 - 663 \times 0,04}{0,28} = 976,6$$

$$R_{Bx} = 976,6H$$

$$\text{Перевірка: } \sum X = 0;$$

$$-P_{ux} + R_{Ax} - P_{kx} + R_{Bx} = -663 + 1186,3 - 1497 + 976,6 = 0$$

Виконуємо епюри згинних моментів в площинах ZOХ і ZOУ (рис.5.5) і визначаємо сумарні згинні моменти в місцях дії сил.

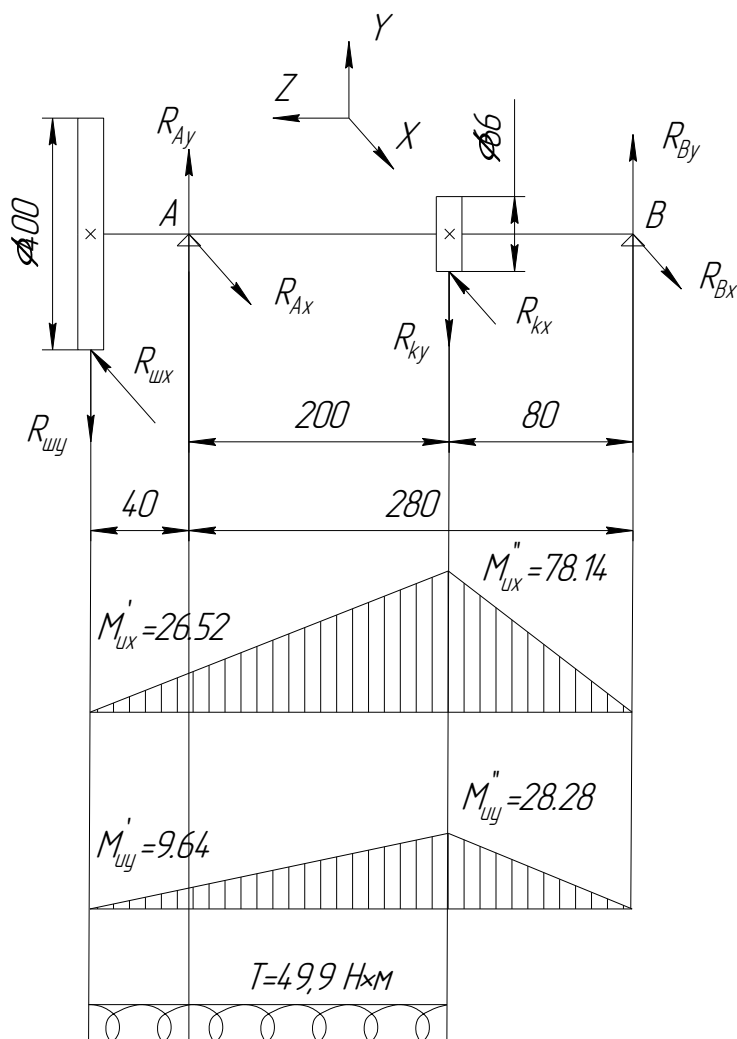


Рисунок 5.5 Епюри згинних моментів, що діють на вал

$$M'_u = \sqrt{((M'_{ux})^2 + (M'_{uy})^2)} = \sqrt{26.52^2 + 9.64^2} = 28.22(H \times m)$$

$$M''_u = \sqrt{((M''_{ux})^2 + (M''_{uy})^2)} = \sqrt{78.14^2 + 28.28^2} = 83.1(H \times m)$$

Уточнений розрахунок валів на витривалість зробимо у формі перевірку коефіцієнту запасу міцності, який розраховуємо за формулою:

$$\frac{1}{n^2} = \frac{1}{n_\sigma^2} + \frac{1}{n_\tau^2} \geq [n]$$

або

$$n = \frac{n_\sigma \times n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 \times n_\tau^2}}$$

де  $[n]$  - допустимий максимум міцності, зазвичай приймають:  $[n] = 2 \dots 3$ ;

$n_\sigma$  і  $n_\tau$  – коефіцієнти запасу міцності за нормальними і дотичними напруженнями:

$$n_\sigma = \frac{\sigma_{-1}}{\frac{k_\sigma}{\beta \times \varepsilon_\sigma} \times \sigma_v + \psi_\sigma \times \sigma_m}$$

$$n_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\frac{k_\tau}{\beta \times \varepsilon_\tau} \times \tau_v + \psi_\tau \times \tau_m}$$

де  $\sigma_{-1}$  і  $\tau_{-1}$  - границі витривалості для матеріалу вала при симетричних циклах вигину і кручення;  $k_\sigma$  і  $k_\tau$  - коефіцієнти концентрації напружень під час згину і кручення;  $\beta$  - коефіцієнт впливу шорсткості поверхні, за шорсткості  $Rz \leq 20$  мкм  $\beta = 0,9 \dots 1,0$ ;  $\sigma_v$  і  $\tau_v$  - амплітуди циклів нормальних і дотичних напружень;  $\sigma_m$  і  $\tau_m$  - середні значення за нормальних і дотичних напружень;  $\varepsilon_\sigma$  і  $\varepsilon_\tau$  - масштабні коефіцієнти при нормальних і дотичних напруженнях;  $\psi_\sigma$  і  $\psi_\tau$  - коефіцієнти співвідношення меж витривалості за симетричного циклу згину та пульсуючого циклу кручення.

Значення  $\sigma_{-1}$  визначаються залежно від границі міцності матеріалу вала.

Прийmemo матеріал вала 40X. Тоді:

$$\sigma_\sigma = 650 \text{ МПа} \quad \sigma_{-1} = 0,43 \times \sigma_\sigma \text{ МПа}$$

$$\sigma_{-1} = 0,43 \times 650 = 279,5 \text{ МПа}$$

Границя витривалості при симетричному циклі кручення:

$$\tau_{-1} = 0,58 \times \sigma_{-1}, \text{ МПа}$$

$$\tau_{-1} = 0,58 \times 279,5 = 162,11 (\text{МПа})$$

Коефіцієнти концентрації напружень  $k_\sigma$  і  $k_\tau$  можуть залежати від границі міцності  $\sigma_B$  матеріалу і за наявності галтелей або виточок вибираються за [22: табл. 1.2 ... 1.3].

Приймаємо:  $k_\sigma = 1,9$ ;  $k_\tau = 1,4$ .

Масштабні коефіцієнти  $\varepsilon_\sigma$  і  $\varepsilon_\tau$  наведені в [12].

Приймаємо:  $\varepsilon_\sigma = 0,88$ ;  $\varepsilon_\tau = 0,77$ .

Амплітуду циклів і середнє значення нормальних напружень  $\sigma_v$  і  $\sigma_m$  визначимо по формулах:

$$\sigma_v = \frac{M_u}{W}, \text{ МПа}$$

$$\sigma_m = \frac{4 \times F_a}{\pi \times d^2}, \text{ МПа}$$

де  $M_u$  - сумарний згинний момент в розглядуваному січенні, Нм;  $F_a$  - осьова сила, яка діє на вал, Н;

$W$  - момент опору в розглядуваному січенні в  $\text{мм}^3$ , який для круглого суцільного січення визначається:

$$W = \frac{\pi \times d^3}{32} = 0,1 \times d^3, \text{ мм}^3$$

$d$  - діаметр валу, мм;  $b$  і  $t$  - ширина і глибина канавки, мм.

Коефіцієнти концентрації напружень  $k\sigma$  і  $k\tau$  можуть залежати від передачі крутного моменту прямозубих коліс, а тому вважають, що відсутній осьове навантаження на вал, і нормальні напруги, що у поперечному перерізі, змінюються за симетричним циклом, тоді  $\sigma_m = 0$ . Значення  $\tau_v$  і  $\tau_m$  вибираємо, виходячи з найбільш несприятливого перемінного циклу зміни дотичних напружень, тобто вважають, що напруги кручення змінюються за нульовим (пульсуючим) циклом:

$$\tau_v = \tau_m = \frac{T}{2 \times W_k}, \text{ МПа}$$

де  $T$  - крутний момент, який передається валом;  $W_k$  - момент опору крученню розглядуваного січення. Так для круглого січення:

$$W_k = \frac{\pi \times d^3}{16}, \text{ мм}^3$$

Для симетричного циклу згинання і пульсуючого циклу при крученні  $\psi_\sigma$  і  $\psi_\tau$  наведені в [12: табл. 1.5.]. Беремо  $\psi_\sigma = 0,05$ ,  $\psi_\tau = 0$ .

Розрахунок для січення 1.

Сумарний згинний момент:  $M_{1u} = 28.22 \text{ Нм}$

$$\text{Момент: } W = \frac{\pi \times 25^3}{32} = 2650,719 \text{ (мм}^3\text{)};$$

$$\sigma_v = \frac{28.22 \times 1000}{2650,719} = 17,483 \text{ (МПа)} \quad \sigma_m = 0;$$

$$\text{Момент опору при крученні: } W_k = \frac{\pi \times 25^3}{16} = 5301,438 \text{ (мм}^3\text{)}$$

$$\text{Напруження: } \tau_v = \tau_m = \frac{49,4 \times 1000}{2 \times 5301,438} = 5,084 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти, що характеризують запас міцності:

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 17,483 + 0,05 \times 0} = 7,034 \quad ;$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 5,084 + 0 \times 5,084} = 16,661 \quad ;$$

$$n = \frac{7,034 \times 16,661}{\sqrt{7,034^2 + 16,661^2}} = \frac{117,194}{18,085} = 6,48 > [n] = 2$$

Розрахунок для січення 2:

Сумарний згинний момент:  $M_{2u} = 83.1 \text{ Нм}$

Коефіцієнти, що визначають запас міцності:

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 78,783 + 0,05 \times 0} = 1,561 \quad ;$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 8,06 + 0 \times 5,33} = 10,51 \quad ;$$

$$n = \frac{1,561 \times 10,51}{\sqrt{1,561^2 + 10,51^2}} = 1,55 < [n] = 2$$

Тому приймаємо  $d_I = 30 \text{ мм}$ , тоді:

Розрахунок для січення 1:

Сумарний згинний момент:  $M_{1u} = 38,614 \text{ Нм}$

Розрахунок для січення 2:

Сумарний згинальний момент:  $M_{2u} = 175,646 \text{ Нм}$ .

$$W = \frac{\pi \times 30^3}{32} = 2649.375 \text{ (мм}^3\text{)}, \quad \sigma_v = \frac{175,646 \times 1000}{2649.375} = 66.3 \text{ (МПа)}$$

Середній показник нормальних напружень:  $\sigma_m = 0$ ;

$$W_k = \frac{\pi \times 30^3}{16} = 5298.75 \text{ (мм}^3\text{)}, \quad \tau_v = \tau_m = \frac{49,4 \times 1000}{2 \times 5298.75} = 4.65 \text{ (МПа)}$$

Коефіцієнти, що визначають запас міцності:

$$n_\sigma = \frac{279,5}{\frac{1,9}{0,95 \times 0,88} \times 66.3 + 0,05 \times 0} = 1.8;$$

$$n_\tau = \frac{162,11}{\frac{1,4}{0,95 \times 0,77} \times 4.65 + 0 \times 3,466} = 18.1;$$

$$n = \frac{1.8 \times 18.1}{\sqrt{1.8^2 + 18.1^2}} = 2,18 > [n] = 2;$$

## 5.2. Розрахунок шпинделя на жорсткість

Для проєктованого шпиндельного вузла як передню опору вибираємо дворядний конічний роликпідшипник 2-607920 за ГОСТ 21512-76, а для задньої опори - однорядний конічний підшипник 17716Л за ГОСТ 520-71.

Для розрахунку на жорсткість шпиндель розглядаємо у формі балки на пружних опорах (рис. 5.6), що навантажена силою в зачепленні  $Q$  і рівнодійної тангенціальною і радіальною складовою сили різання  $P_p$ .

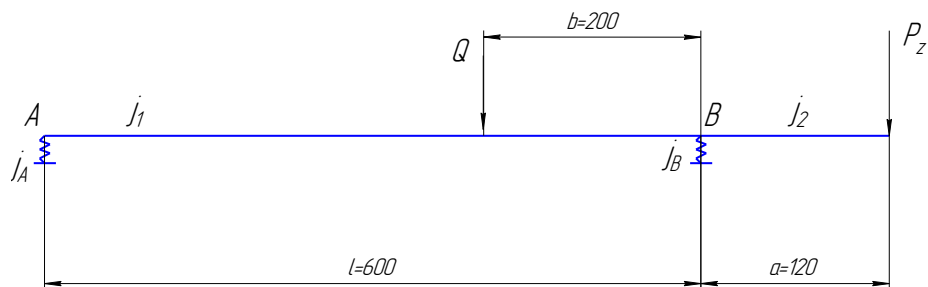


Рисунок 4.6 Розрахункова схема ШВ

Сила зачеплення  $Q$  визначається:

$$Q = \frac{P_0}{\cos \alpha}$$

де  $P_0$  - колова складова сили в зачепленні, Н;  $\alpha$  - кут зачеплення,  $\alpha = 20^\circ$ .

Колова складова  $P_0$  рівна:

$$P_0 = P_z \times \frac{d_p}{d_n}, \text{ Н}$$

де  $P_z$  - тангенційна складова сили різання;  $d_i$  - початковий діаметр приводного колеса шпинделя;  $d_p$  - розрахунковий діаметр:

$$d_p = \frac{1}{4} \times d_{\max}, \text{ мм}$$

де  $d_{\max}$  - найбільший діаметр заготовки, в мм.

$$d_p = \frac{1}{4} \times 125 = 31.25 \text{ мм}; \quad P_0 = 2000 \times \frac{31.25}{165} = 378.78 \text{ Н};$$

$$Q = \frac{378.78}{\cos 20^\circ} = 403.08 \text{ Н}.$$

Радіальне жорстке переміщення шпинделя  $y_1$  від сили  $P$  із врахуванням деформації шпинделя і деформації його опор визначається за формулою:

$$y_1 = P \times \left[ \frac{l \times a^2}{3 \times E \times J_1} + \frac{a^3}{3 \times E \times J_2} + \frac{1}{j_B} \times \frac{(l+a)^2 + \frac{j_B}{j_A} \times a^2}{l^2} \right], \text{ мм}$$

де  $l$  - міжопорна відстань шпинделя, мм;  $a = c + d$  - відстань від переднього підшипника до зони різання, мм;  $b$  - відстань від привідного колеса до переднього підшипника шпинделя, мм;  $c$  - довжина передньої консолі шпинделя, мм;

$d$  - відстань від шпинделя до точки прикладання сили  $P$ , мм;

$E$  - модуль пружності, який рівний для стали  $E = 2 \times 10^5 \text{ МПа}$ ;

$j_B, j_A$  - радіальні жорсткості опор шпинделя, Н/мм;

$J_1$  - середній момент інерції січення шпинделя в проміжку між опорами шпинделя,  $\text{мм}^4$ ;

$J_2$  - середнє значення моменту інерції січення шпинделя на його консолі,  $\text{мм}^4$ .

Радіальне жорстке переміщення шпинделя  $y_2$  в зоні різання від сили  $Q$  з врахуванням його власних жорстких деформацій і жорстких деформацій опор:

$$y_2 = Q \times \left[ \frac{1}{j_B} \times \frac{(l+a) \times (l-b) - \frac{j_B}{j_A}}{l^2} - \frac{a}{6 \times E \times J_1 \times l} \times (b^3 + 2 \times l^2 \times b^2 - 3 \times l \times b^2) \right], \text{мм}$$

Сумарне деформування шпинделя:

$$y = y_1 + |y_2|, \text{мм}$$

Навантаження, що внаслідок сили різання:  $P = 2000 \text{ Н}$ .

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \times (D^4 - d^4), \text{мм}^4$$

де  $d$  - діаметр всередині отвору шпинделя,  $\text{мм}$ ;

$D$  - середній діаметр зовні шпинделя,  $\text{мм}$ .

$$J_1 = \frac{\pi}{64} \times (70^4 - 45^4) = 976803 (\text{мм}^4),$$

$$J_2 = \frac{\pi}{64} \times (100^4 - 60^4) = 4270400 (\text{мм}^4).$$

Розраховуємо жорсткість в передній опорі  $j_B$ . В передній опорі знаходиться підшипник кочення 2-607920.

$$F_r = 2000 \text{ Н}$$

Встановлюємо його з попереднім натягом  $e = -3 \text{ мкм}$ .

При цьому радіальна податливість:  $\delta_{r0} = 1,5 \text{ мкм}$

Відносний попередній натяг рівний:

$$\frac{e}{\delta_{r0}} = \frac{-3}{1,2} = -2 (\text{мкм}).$$

Коефіцієнт врахування натягу або зазору в підшипнику:  $\beta = 0,25$

Розраховуємо податливість радіальну:

$$\delta_r' = \beta \times \delta_{r0} = 0,25 \times 1,5 = 0,375 \text{ (мкм)}$$

Визначаємо податливість радіальну при контакті кілець підшипника з посадковими поверхнями вала і корпусу:

$$\delta_r'' = \frac{4 \times P \times k}{\pi \times d \times B} \times \left(1 + \frac{d}{D}\right),$$

де  $k = 0,05 \div 0,25$ ;  $d, D, B$  - діаметри відповідно внутрішній, зовнішній і ширина підшипника, мм.

$$\delta_r'' = \frac{4 \times 2000 \times 0,05}{\pi \times 80 \times 80} \times \left(1 + \frac{80}{140}\right) = 0,031 \text{ (мкм)}$$

В опорі визначимо радіальну податливість, що рівна:

$$\delta_r = \delta_r' + \delta_r'' = 0,375 + 0,031 = 0,4 \text{ (мкм)} = 0,0004 \text{ мм}$$

Визначаємо жорсткість опори  $j_B$ :

$$j_B = \frac{P}{\delta_r} = \frac{2000}{0,0004} = 5000000 \text{ (Н / мм)}.$$

Виразуємо жорсткість задньої опори  $j_A$ .

Як задня опора використано однорядний радіальний роликпідшипник 17716Л.

$$F_r = 2000 \text{ Н}$$

$$\delta_{r0} = 15,5 \text{ мкм}, \quad \frac{e}{\delta_{r0}} = \frac{-3}{15,5} = -0,194 \text{ (мкм)}.$$

Коефіцієнт врахування натягу або зазору у підшипнику:  $\beta = 0,9$

Виразуємо радіальну податливість:

$$\delta_r' = \beta \times \delta_{r0} = 0,9 \times 15,5 = 13,95 \text{ (мкм)}$$

Визначаємо радіальну податливість в контакті підшипника з посадочними поверхнею вала і корпусу:

$$\delta_r'' = \frac{4 \times 2000 \times 0,05}{\pi \times 70 \times 26,25} \times \left(1 + \frac{70}{125}\right) = 0,1 \text{ (мкм)}$$

Радіальна податливість в опорі рівна:

$$\delta_r = \delta_r' + \delta_r'' = 13,95 + 0,1 = 14,05(\text{мкм}) = 0,01405 \text{ мм}.$$

Визначаємо жорсткості опор  $j_A$ :

$$j_A = \frac{P}{\delta_r} = \frac{2000}{0,01405} = 142552(\text{Н/мм}).$$

Розраховуємо радіальні пружні переміщення шпинделя  $y_1$ , що в зоні різання, від сили  $P$  із врахуванням переміщень шпинделя і деформації його опор:

$$y_1 = 2000 \times \left[ \frac{\frac{620 \times 126^2}{3 \times 2 \times 10^5 \times 976803} + \frac{126^3}{3 \times 2 \times 10^5 \times 4270400} + \frac{1}{5000000}}{\frac{(620+126)^2 + \frac{5000000}{142552} \times 126^2}{620^2}} \right] \times = 0,036(\text{мм})$$

Розраховуємо радіальне пружне переміщення шпинделя  $y_2$ , що в зоні різання, і діє від сили  $Q$  із врахуванням його власних пружних деформацій і деформацій опор:

$$y_2 = 403,08 \times \left[ \frac{\frac{1}{5000000} \times \frac{(620+126) \times (620-488) - \frac{5000000}{142552}}{333^2}}{\frac{126}{6 \times 2 \times 10^5 \times 976803 \times 620} \times (488^3 + 2 \times 620^2 \times 48^2 - 3 \times 620 \times 488^2)} \right] = -7,14 \times 10^{-4}(\text{мм})$$

Сумарне відхилення шпинделя:

$$y = 0,03 + |-7,14 \times 10^{-4}| = 0,036714 \text{ мм}.$$

$$y_{\max} \leq 0,0002 \times l = 0,0002 \times 620 = 0,124(\text{мм})$$

$$y_{\max} \leq 0,124(\text{мм})$$

$$y = 0,036714 \text{ мм} < y_{\max} = 0,124 \text{ мм}$$

## ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

1. Розроблено оптимальний технологічний процес обробки деталі «гвинт опори». Використано в технологічному процесі високопродуктивне технологічного обладнання. Для спроектованого технологічного процесу аналітичним та табличним методами визначено режими різання, а також здійснено нормування технологічного процесу.

2. Здійснено обґрунтування та вибір компоновки токарного верстату з ЧПК.

3. Виконавши аналіз деталі-представника, а також матеріал, з якого вона виготовлена, і технічні умови на виготовлення, виконано розгляд можливих варіантів формоутворення, згідно чого здійснено побудову структурно-кінематичної і кінематичної схем верстата.

4. Для приводу головного руху вибрано асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором 1PH7 131 NF фірми SIEMENS, що має такі технічні характеристики:  $P_{ном}=11$  кВт;  $M_{кр.ном.}=70$  Н\*м;  $n_{ном}=500$  хв-1;  $n_{max}=6700$  хв-1,

5. Зроблено розрахунок шпиндельного вузла верстата, підібрано його опори, розраховано жорсткість шпиндельного вузла.

6. Здійснено техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного процесу, визначено собівартість виготовлення деталі за базовим та проектним варіантами. Собівартість виготовлення деталі «Гвинт опори» за проектним варіантом є на 35% нижча від базового.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
2. Nataliya Zubovetska, Yurii Fedorus', Volodymyr Shvabyuk, Rostyslav Redko; To the problem of developing a methodology for the frequency analysis of spindle runout. AIP Conf. Proc. 1 November 2023; 2840 (1): 040007. <https://doi.org/10.1063/5.0169334>
3. Редько Р.Г. Дослідження та вдосконалення конструкції виконавчих вузлів багатошпиндельного токарного напівавтомату для обробки шестерень / Р.Г.Редько, П.М. Цюпа, Р.П. Приступа // Студентський науковий вісник. Серія «Технічні науки». Науковий збірник. Випуск 47. – Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. - С. 266-272.
4. Редько Р.Г. Оптимізація параметрів шпиндельного вузла / Редько Р.Г., Цюпа П.М. // Тези II студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ – 2022 р. – С. 24-27.
5. Redko, R., Zabolotnyi, O., Redko, O., Savchuk, S., Kovalchuk, V.: Improvement of Manufacturing Technology and Recovery of Clamping Collets for Lathe Automats. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2020).
6. Четвержук Т.І. Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання./ Четвержук Т., Полінкевич Р., Редько Р., Склярів Р. // Тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», м. Івано-Франківськ, 5-7 квітня 2021 року. С. 157-159.

7. Четвержук, Т.І. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. / Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. №73. – С. 101-104.
8. Четвержук Т.І. Особливості конструювання горизонтальних станин металорізальних верстатів./ Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Зубовецька Н.Т., Редько Р.Г. // Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 26-27 травня 2022р. м. Чернігів. С. 117-119.
9. Редько Р.Г., Редько О.І. Параметрична побудова моделей, реалізованих на мові OBJECT PASCAL, з використанням середовища T-FLEX CAD 3D / Р.Г. Редько, О.І. Редько // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2017.– № 28-29. – С. 67-72.
10. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р.
11. Валявський І.А., Крижанівський В.А. Графічне моделювання робочого простору верстата-гексапода // Зб. наукових праць КДТУ / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Вип. 13. – Кіровоград, 2003. – с. 230-235.
12. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компоновок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2010. – с. 40-45.
13. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55.
14. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Математичне моделювання процесу обробки полігональних поверхонь на токарному верстаті методом

- кінематичного налагодження // Наукові нотатки. Міжвуз. збірник за напрямом "Інженерна механіка", Луцьк, 2007, №20. – С. 232...238.
15. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Обробка полігональних поверхонь: теорія і практика. Монографія. – К.: ТОВ "ГНОЗІС", 2008. – 193 с.
16. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Полігональні поверхні в машинобудуванні та нові способи їх обробки // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский технический институт". Машиностроение. – 2001. – № 41. – С. 38...46.
17. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В., Валід Алі Рамадан. Модернізація багатошпиндельного токарного автомату мод. 1Б240-6 для виготовлення деталі з шестигранним отвором // Технологические системы. Научные разработки и результаты исследований. – 2002. – №2 (13). – С. 81...84.
18. Самойленко О.В. Вдосконалення токарних верстатів для обробки полігональних поверхонь методом кінематичного налагодження / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К., 2006. – 195 с.
19. Самойленко О.В. Дослідження пристроїв для обробки полігональних глухих отворів невеликих розмірів // Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Вінниця: ВДАУ, 2007. – Вип. 1(15). – С. 105...109.
20. Bing Li . Xiaoping Hu . Hao Wang Analysis and simulation for a parallel drill point grinder. Part 2: grinding kinematic modeling and simulation // Int J Advanced Manufacturing Technology (2006) 30: P. 221–226.
21. Huang Q., Hadeby H., Sohlenius G. Connection Method for Dynamic Modelling and Simulation of Parallel Kinematic Mechanism (PKM) Machines //Int I Adv Manuf Technol (2002) 19:163 – 173, 2002. Springer – Verlag, London, Limited.
22. В.Д.Рудь, Т.Є.Божко, Т.Н.Гальчук. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр) / Навчальний посібник/ Під загальною редакцією професора В.Д.Рудя – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ. – 2017. – 500 с.

23. Кузнєцов Ю. М., Придальний Б. І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 358 с.
24. Кузнєцов Ю. М., Придальний Б. І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління; 2-е видання – Луцьк: Вежа-Друк, 2014. — 428 с.
25. Joaquim Augusto Guerra Hamuyela, Kuznetsov Yu.N., Hamuyela T.O. Sintese Genetico-Morfologica de Porta-Mandris de Fixacao. Lushik: Veja-Imprensa, 2019. – 320 p.
26. Технологічна оснастка: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл. В. С. Медведєв, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 108 с.
27. Розробка технологічного процесу на прикладі виготовлення ступінчастого вала редуктора: Навчально-методичний посібник для виконання конструкторсько-технологічних розділів дипломного проекту бакалавра студентами спеціальності «Прикладна механіка» (спеціалізація «Інтегровані технології машинобудування») денної, заочної та дистанційної форм навчання / І.М. Пижов. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – 91 с.