

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 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ
ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА МОД.1И611П ДЛЯ ОБРОБКИ
ДЕТАЛЕЙ З ГРАНЧАСТИМИ ПОВЕРХНЯМИ**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21

Жарчинський Віталій Вікторович

(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 – 2024 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

“ _____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Жарчинський Віталій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження та розробка конструкції токарного верстата мод.1И611П для обробки деталей з гранчастими поверхнями

Керівник роботи: Редько Ростислав Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «30» грудня 2023 р. № 452/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 1.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Робоче креслення деталі «Вал», базовий технологічний процес виготовлення деталі, річна програма випуску деталей 20000 шт., відгуки підприємств про роботу обладнання, результати аналізу конструктивних і функціональних особливостей токарного верстата.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз завдання та обґрунтування напрямків роботи. 2. Технологічний розділ. 3. Конструкторський розділ. 4. Розрахунок та конструювання пристрою для обробки полігональних поверхонь. 5. Характеристика технічного рівня проектного верстата. Висновки і пропозиції. Список використаних джерел. Додатки._____

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Об'єкт обробки деталь Вал НМ-144 – 1 ф.А2; 2. Запропонований техпроцес обробки деталі на заводі ВАТ «Фіолент» - 1 ф.А1. 3. Інструментальне забезпечення обробки деталі Вал - 1 ф.А1. 4. Шпindelний вузол з цанговим патроном - 1 ф.А1; 5. Загальний вигляд верстата – 1 ф. А1; 6. Кінематична схема верстата з пристосуванням – 1ф.А1; 7. Пристрій для обробки полігональних отворів на ТВГ – 2 ф. А1.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

03.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Аналіз завдання та обґрунтування напрямків роботи</i>	<i>15.09.24</i>	
2.	<i>Технологічний розділ</i>	<i>05.10.24</i>	
3.	<i>Конструкторський розділ</i>	<i>25.10.24</i>	
4.	<i>Розрахунок та конструювання пристрою для обробки полігональних поверхонь</i>	<i>10.11.24</i>	
5.	<i>Характеристика технічного рівня проєктованого верстата</i>	<i>15.11.24</i>	
6.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>20.11.24</i>	
7.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>25.11.24</i>	
8.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>01.12.24</i>	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Жарчинський В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Редько Р.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Жарчинський В.В. Дослідження та розробка конструкції токарного верстата мод.1И611П для обробки деталей з гранчастими поверхнями. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2024.

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

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є токарно–гвинторізний верстат, як складна технічна система. Предмет дослідження – конструктивні елементи верстату та його компоновочні схеми. Метою роботи є оцінка стану розвитку способів та засобів обробки внутрішніх полігональних поверхонь та розробка обладнання для її здійснення.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз області використання профільних з'єднань; здійснено аналіз способів обробки деталі «Вал» з подальшою розробкою технологічного процесу; розроблено компоновки верстата, які дозволяють проводити обробку даної деталі; виконано розробку основних виконавчих вузлів верстата; розроблено конструкцію пристосування для обробки шестигранного отвору на вибраному верстаті; проведено організаційно-економічні розрахунки стосовно запропонованої конструкції верстата.

Ключові слова: технологічне обладнання, верстат, компоновки верстата, заготовка, деталь, гранчасті поверхні, режими різання, формоутворюючі рухи.

ABSTRACT

Zharchynsky V.V. Research and development of the design of the lathe model 1Й611П for processing parts with faceted surfaces. Manuscript.

Master's qualification work of OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2024.

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

The object of research of the qualification work is a lathe-screw-cutting machine, as a complex technical system. The subject of the study is the structural elements of the machine and its layout diagrams. The purpose of the work is to assess the state of development of methods and means of processing internal polygonal surfaces and to develop equipment for its implementation.

In the qualification work, an analysis of the area of use of profile connections was carried out; an analysis of methods of processing the "Shaft" part was carried out with further development of the technological process; machine layouts have been developed that allow the processing of this part; the development of the main executive units of the machine has been completed; the design of the device for processing the hexagonal hole on the selected machine was developed; to carry out organizational and economic calculations regarding the proposed design of the machine.

Key words: technological equipment, machine, machine layouts, workpiece, part, faceted surfaces, cutting modes, forming movements.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	10
1 АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ РОБОТИ	11
1.1 Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника	11
1.1.1 Службове призначення деталі	11
1.1.2 Хімічний склад та фізико-механічні властивості матеріалу	12
1.1.3 Аналіз деталі на технологічність	12
1.1.3.1 Якісна оцінка технологічності	12
1.1.3.2 Кількісна оцінка технологічності	13
1.2 Аналіз існуючого на ВАТ «Завод Фіолент» способу обробки шестигранного отвору	15
1.2.1 Аналіз схем формоутворення необхідних для обробки деталі	16
1.3 Характеристика полігональних поверхонь	20
1.3.1 Класифікація полігональних поверхонь	20
1.3.2 Геометричні параметри, які характеризують контурні криві	23
1.3.3 Переваги профільних з'єднань	24
1.3.3.1 Експлуатаційні переваги профільних з'єднань	24
1.3.3.2 Технологічні переваги профільних з'єднань	25
2 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	27
2.1 Визначення типу виробництва	27
2.2 Вибір заготовки	31
2.3 Вибір оптимального технологічного процесу обробки деталі	36
2.4 Вибір та обґрунтування технологічних баз	40
2.5 Обґрунтування та вибір різального інструменту	44
2.6 Вибір контрольно-вимірювальних інструментів	47
2.7 Розрахунок граничних режимів різання	49
3. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	51

3.1. Розробка структурно-кінематичної схеми верстату	51
3.2 Розробка загальної кінематичної схеми верстату	53
3.2.1 Аналіз та вибір компоновальної схеми верстата	53
3.3 Кінематичний розрахунок приводу	57
3.3.1 Розрахунок діапазону регулювання	57
3.3.2 Розробка структурної формули приводу верстата	57
3.3.3 Побудова структурної сітки і графіка чисел обертів	58
4 РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ	65
4.1 Опис і обґрунтування обраної конструкції пристрою	65
4.2 Кінематичний ланцюг для обробки шестигранного отвору в деталі «Вал»	66
4.3 Попередні розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність конструкції пристрою	67
4.3.1 Розрахунок сумарного радіального переміщення кінця шпинделя під дією сил різання	67
4.3.2 Розрахунок зусилля затиску інструмента	69
4.4 Моделювання радіальної жорсткості інструментального шпинделя приспосіблення	70
4.5 Моделювання осьової жорсткості інструментального шпиндельного приспосіблення	72
4.6 Опис конструкції та принцип роботи задньої бабки	75
5 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА	76
ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	80
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82
ДОДАТКИ.....	85

ВСТУП

Останнім часом на виробництві значно зріс інтерес до профільних з'єднань, що використовуються для передачі крутного моменту.

Профільні з'єднання відносяться до з'єднань зчепленням. Принцип роботи цих з'єднань полягає в тому, що функцію сполучних елементів виконують відповідні виступи і впадини на деталях, що сполучаються, причому форма даних виступів і впадин дещо відрізняється від круглої циліндричної.

В порівнянні із шпонковими, штифтовими і шліцьовими вищевказані моментопередаючі з'єднання мають деякі істотні переваги: так міцність на втому профільних валів у 5 разів вища порівняно зі шліцьовими. Тому впровадження їх в сучасне виробництво, а також пошук високопродуктивних способів їхнього виготовлення є досить актуальним питанням.

Полігональні (багатогранні) моментопередаючі з'єднання знайшли також широке використання в ручному електроінструменті: електродрелях, шуруповертах, перфораторах тощо.

Якщо обробка зовнішнього багатогранника достатньо легка, то обробка глухого багатогранного отвору є значно проблемнішою, зокрема через складні умови різання і відводу стружки.

Саме тому тема «Дослідження та розробка конструкції токарного верстата мод.1ИБ11П для обробки деталей з гранчастими поверхнями» є *актуальною*.

Метою роботи є оцінка стану розвитку способів та засобів обробки внутрішніх полігональних поверхонь та розробка обладнання для її здійснення.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі основні задачі:

- провести аналіз області використання профільних з'єднань;
- здійснити аналіз способів обробки деталі «Вал» з подальшою розробкою технологічного процесу;
- розробити компоновки верстату, які дозволяють проводити обробку даної деталі.

- провести розробку основних виконавчих вузлів верстату;
- розробити конструкцію пристосування для обробки шестигранного отвору на вибраному верстаті;
- охарактеризувати технічний рівень проектованого верстата.

Об'єкт дослідження – токарно-гвинторізний верстат, як складна технічна система.

Предмет дослідження – конструктивні елементи верстату та його компоновочні схеми.

Методи дослідження. Системний підхід як метод дослідження дозволяє в роботі верстат представити об'єкт як єдине ціле. Патентні дослідження дозволили визначити способи і методи отримання полігональних поверхонь.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ВАТ – відкрите акціонерне товариство;
ГДК – граничнодопустимі концентрації;
ЄСТПВ – єдина система технологічної підготовки виробництва;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
КШС – круглошліфувальна система;
НДР – науково-дослідні роботи;
НС – надзвичайна ситуація;
НЦО – народна цивільна оборона;
ПДВ – податок на додану вартість;
РІНР – рятувально-інженерні роботи;
РК – рівновісний контур;
ТГВ – токарно-гвинторізний верстат;
ТЕП – техніко-економічні показники;
ТС – технічна система;
ФУС – формоутворююча система;
ЧПК – числове програмне керування;
ШТК – штучно калькуляційний час;

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ НАПРЯМКІВ РОБОТИ

1.1. Аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі-представника

1.1.1. Службове призначення деталі.

Останнім часом на виробництві значно зріс інтерес до так званих профільних з'єднань, які використовуються для передачі крутного моменту.

Профільні з'єднання відносять до з'єднань зчепленням. Суть їх розглядають в тому, що роль сполучних елементів виконують певні виступи і впадини на деталях, що сполучаються, причому форма даних виступів і впадин відрізняється від круглої циліндричної.

Порівняно із шпонковими, штифтовими і шліцьовими вищезгадані моментопередаючі з'єднання мають деякі істотні переваги, наприклад, міцність на втому профільних валів у 5 разів вища порівняно зі шліцьовими. Завдяки цьому впровадження їх в сучасне виробництво, зокрема пошук високопродуктивних способів їх виготовлення є актуальним питанням.

Полігональні (багатогранні) моментопередаючі з'єднання знайшли також широке застосування в побутових електроінструментах: електродрелях, шуруповертах, перфораторах і т.д.

З метою підвищення універсальності інструмента його робочі частини комплектуються відповідно до модульного принципу. Причому вихідна ланка робочого органу (плоска викрутка, хрестова викрутка тощо) має стандартизований кінцевик у вигляді шестигранної призми, що входить у відповідний шестигранний отвір перехідника.

Якщо обробка зовнішнього багатогранника є порівняно легкою, то обробка глухого багатогранного отвору, особливо невеликих розмірів, складає значну проблему, насамперед через складні умови різання і відведення стружки.

1.1.2. Хімічний склад та фізико-механічні властивості матеріалу.

Деталь «Вал» виготовляється зі сталі 40Х ГОСТ 4543-71. В таблицях 1.1 і 1.2 наведені дані про матеріал.

Таблиця 1.1. – Хімічний склад Сталі 45

C, %	Si, %	Mn, %	Cr, %	S, %	P, %	Cu, %	Ni, %	As, %
			не більше					
0.36-0.44	0.17-0.37	0.50-0.80	0.8-1.1	0.035	0.035	0.30	0.30	0.08

Таблиця 1.2. – Механічні властивості Сталі 45.

σ_T , МПа	σ_B , МПа	δ , %	ψ , %	a_H , кгс/см ²	HB
не менше					
800	1000	10	45	60	217

Технологічні властивості сталі 40Х.

Сталі 40Х в промисловості застосовуються для виготовлення колінчастих валів, фрикційних дисків, зубчастих коліс, гільз циліндрів, шатунних болтів і гайок, а також і інших деталей, які загартовуються в маслі.

Технологічні властивості вуглецевої сталі 40Х ГОСТ 1050-74:

- температура кування, С – початку -1250, кінця 700;
- зварюваність – важко зварювальна. Спосіб зварки: РДС і КТС.

Необхідним є підігрів та наступна термообробка.

1.1.3. Аналіз деталі на технологічність.

Мета аналізу – можливість зменшення трудомісткості, металомісткості, можливість обробки деталі високопродуктивними методами. Аналіз будемо виконувати двома способами: якісним і кількісним.

1.1.3.1. Якісна оцінка технологічності.

Конструкція деталі «Вал» є простою і не вимагає спрощення або зміни, навіть за умови зміни типу виробництва.

Матеріал деталі – це легована сталь 40Х ГОСТ 4543-71, яка відповідає всім технічним нормам, які висуваються до деталі, та умовам експлуатації деталі у вузлі. Заготовку отримують з прокату – раціональний метод отримання

заготовки, виходячи з умов типу виробництва, марки матеріалу деталі, експлуатаційних вимог до конструкції деталі, а також з економічних міркувань.

Конструкція деталі не передбачає потреби у створенні штучних технологічних баз для здійснення механічної обробки деталі. Як технологічні бази можна використовувати як зовнішні циліндричні, так і торцеві поверхні деталі.

В конструкції є важкооброблювальна поверхня – полігональний отвір, а це є нетехнологічною поверхнею, яка вимагає складного методу обробки. Всі поверхні деталі є зручними і доступними для контролю. Деталь є досить жорсткою, якої достатньо для нормального функціонування вузла, куди входить дана деталь «Вал». При виготовленні її можливе використання високопродуктивного спеціалізованого та спеціального обладнання та оснащення.

Аналізуючи вищенаведене, можна зробити висновок, що дана деталь є технологічною.

1.1.3.2. Кількісна оцінка технологічності.

Згідно ГОСТ 14.205-83 кількісну оцінку технологічності виробу можна здійснювати за допомогою наступних показників: трудомісткості, технологічної собівартості, точності обробки, шорсткості, коефіцієнту використання матеріалу, коефіцієнту уніфікації конструктивних елементів.

Технологічність конструкції деталі за коефіцієнтом використання матеріалу остаточно можна провести після вибору способу отримання заготовки і визначення припусків на обробку. Тому на даному етапі проектування потрібно виконати оцінку технологічності лише за трьома показниками: коефіцієнтом точності, коефіцієнтом шорсткості, коефіцієнтом уніфікації конструктивних елементів.

Для розрахунку кількісних показників необхідно заповнити таблицю 1.3.

Коефіцієнт точності обробки

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{T_{\text{ср}}}, \quad (1.1)$$

де $T_{\text{ср}}$ – середній квалітет точності.

Таблиця 1.3. – Кількісні показники технологічності

Назва поверхні. Позначення на кресленні	К-ть поверхонь	К-ть уніфікованих поверхонь	Квалітет точності	Параметр шорсткості за ГОСТ 2789-73	Клас шорсткості (чистоти поверхні)
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 12f7 \begin{matrix} (-0,016 \\ -0,034) \end{matrix}; l = 43.5 \text{ мм}$	1	1	7	Rz 40	4
Торцева поверхня 43.5мм	2	2	14	Rz 40	4
Торцева поверхня 72.5мм	1	1	14	Rz 40	4
Фаска внутрішня 1,2×45°	1	1	14	Rz 40	4
Фаска зовнішня 0,5×45°	1	1	14	Rz 40	4
Зовнішня циліндрична поверхня; $\varnothing 6,5h12 \begin{matrix} (-0,150) \end{matrix};$	1	1	12	Ra 12,5	3
Фаска зовнішня 0,5×45°	2	2	14	Rz 40	4
Отвір $\varnothing 4H12;$	1	1	12	Rz 40	4
Канавка внутрішня 1,2 ^{+0,2} ; $\varnothing 8; l = 2,2;$	1	1	14	Rz 40	4
Полігональний отвір $\varnothing 5,8.$	1	-	14	Rz 40	4
Всього	12	11			

$$T_{\text{ср}} = \frac{\sum T_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{14 \cdot 10 + 12 \cdot 1 + 7 \cdot 1}{12} = 13,25; \quad (1.2)$$

$$K_{\text{т.ч.}} = 1 - \frac{1}{13,25} = 0,925.$$

При $K_{\text{т.ч.}} < 0,8$ деталь відноситься до особливо точних і є нетехнологічною.

При $K_{\text{т.ч.}} = 0,92 > 0,8$ деталь є середньої точності і, відповідно, технологічна.

В нашому випадку дана деталь – «Вал» є технологічною.

Коефіцієнт шорсткості.

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}}, \quad (1.3)$$

де B_{cp} – середній клас шорсткості.

$$B_{cp} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{4 \cdot 11 + 3 \cdot 1}{12} = 3,92, \quad (1.4)$$

де: B_i – класи шорсткості (чистоти поверхні);

n_i – число поверхонь заданого класу шорсткості.

$$K_{ш} = \frac{1}{3,92} = 0,26;.$$

За $K_{ш} < 0,16$ деталь відноситься до важкообролювальних і, відповідно, до нетехнологічних. За $K_{ш} > 0,26$ деталь є не важкообролювальна.

Тому дана деталь «Вал» є технологічною.

Коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів:

$$K_{y.e.} = \frac{N_{y.e.}}{N_e} = \frac{11}{12} = 0,92; , \quad (1.5)$$

де $N_{y.e.}$ – число уніфікованих типорозмірів і конструктивних елементів.

N_e – загальна кількість конструктивних елементів в деталі.

За $K_{y.e.} > 0,6$ деталь відносять до технологічних. За $K_{y.e.} < 0,6$ деталь є нетехнологічною.

Тому дана деталь – «Вал» є технологічною.

Висновок: Провівши якісну і кількісну оцінку технологічності деталі приходимо до висновку, що деталь «Вал» є технологічною.

1.2. Аналіз існуючого на ВАТ «Завод Фіолент» способу обробки шестигранного отвору

Обробка шестигранного отвору в деталі «Вал» відбувається в незагартованій заготовці в попередньо обробленому круглому отворі. Тому використовується метод сферичного прошивання і дорнування з використанням ріжучого інструмента, що коливається, робоча частина якого відповідає профілю отвору, а вісь є нахиленою до осі оброблюваного отвору під невеликим кутом. В техпроцесі використовується спеціальний пристрій для обробки шестигранного отвору.

Стійкість інструмента дорівнює, в середньому, 30 деталей, після чого інструмент виходить з ладу у зв'язку з руйнуванням його ріжучих кромки і стає, відповідно, не придатним для відновлення шляхом переточування. Вартість одного інструмента – 15 грн. Машинний час обробки шестигранного отвору в деталі «Вал» складає 294 сек.

1.2.1. Аналіз схем формоутворення, необхідних для обробки деталі.

Поверхні оброблювальних деталей можна розглядати як неперервну кількість послідовних положень (слідів) відтворюючої лінії, що рухається – так звана твірна, по другій відтворюючій лінії, що називається напрямною. Узгоджені відносні переміщення заготовки та інструменту, які неперервно утворюють відтворюючі лінії, називають формоутворюючими і позначають Φ . При обробці поверхонь різанням залежно від типу різального інструменту використовується чотири методи утворення відтворюючих ліній: копіювання, огинання, сліду і дотику.

Тому утворення різних поверхонь зводиться до визначення таких формоутворюючих рухів заготовки і інструменту, які утворюють твірні і напрямні лінії. Універсальний токарно-гвинторізний верстат мод. 1И611П призначений для виконання різного виду токарних і різьбообробних робіт з підвищеною точністю.

На даному верстаті забезпечується можливість нарізання метричної, дюймової і модульної різьб.

Способи обробки на вищевказаному токарному верстаті є такими:

1. Поперечно-підрізне точіння (рис. 1.1): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(P_3)$

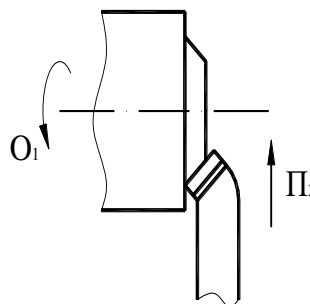


Рисунок 1.1 Формоутворення при поперечно-підрізному точінні

2. Поздовжньо-підрізне точіння (рис. 1.2): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

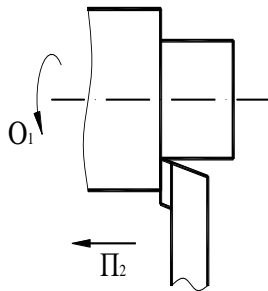


Рисунок 1.2 Формоутворення при поздовжньо-підрізному точінні

3. Підрізне точіння (рис. 1.3): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_3)$

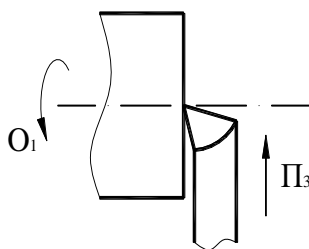


Рисунок 1.3 Формоутворення при підрізному точінні

4. Відрізання (рис. 1.4): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_3)$

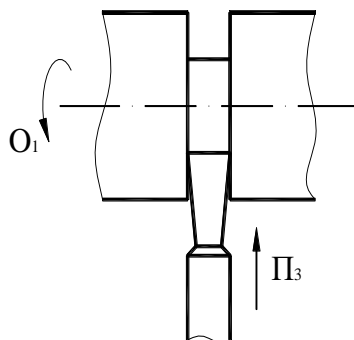


Рисунок 1.4 Формоутворення при відрізанні деталі

5. Точіння круглих циліндричних деталей (рис. 1.5): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

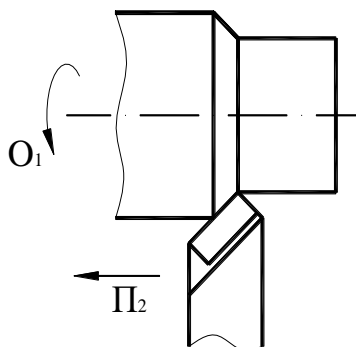


Рисунок 1.5 Формоутворення при точінні круглих циліндричних деталей

6. Фасонне точіння (рис. 1.6): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_3)$

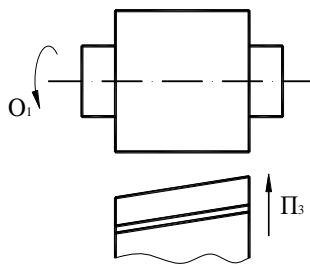


Рисунок 1.6 Формоутворення при фасонному точінні

7. Точіння конічних поверхонь за рахунок встановлення конусної лінійки (рис. 1.7): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

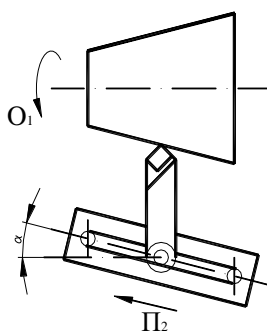


Рисунок 1.7 Формоутворення при точінні конусних поверхонь

8. Точіння конічних поверхонь за рахунок повороту на заданий кут верхніх салазок (1.8): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

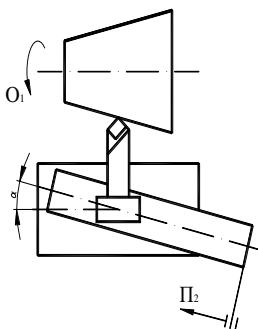


Рисунок 1.8 Формоутворення при точінні конусних поверхонь

9. Точіння гвинтових поверхонь (рис. 1.9): $\Phi_V(O_1\Pi_2)$, $Уст(\Pi_2)$

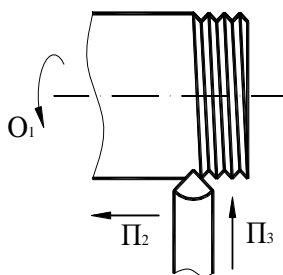


Рисунок 1.9 Формоутворення при точінні конусних поверхонь

10.Розточування (рис. 1.10): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

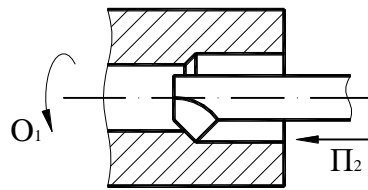


Рисунок 1.10 Формоутворення при розточуванні

11.Прорізка кільцевих канавок (рис. 1.11): $\Phi_V(O_1)$, $Bp(\Pi_3)$

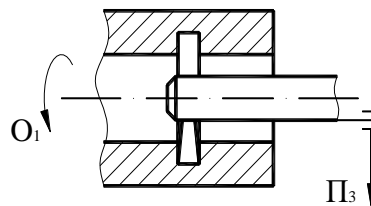


Рисунок 1.11 Формоутворення при прорізці кільцевих канавок

12.Розточування кільцевих канавок (рис. 1.12): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$, $Bp(\Pi_3)$

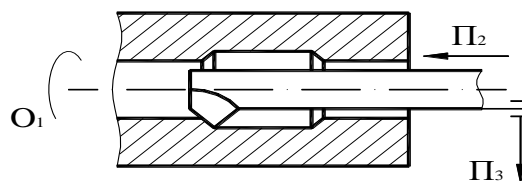


Рисунок 1.12 Формоутворення при розточуванні канавок

13.Свердління, зенкерування, розгорткування (рис.1.13): $\Phi_V(O_1)$, $\Phi_S(\Pi_2)$

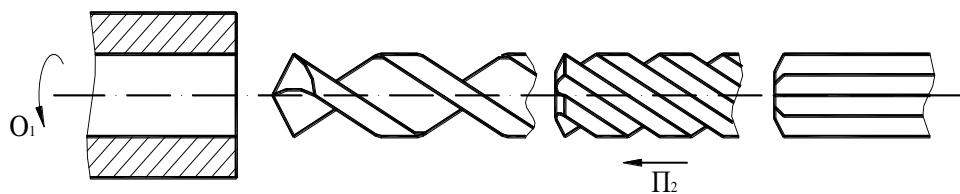


Рисунок 1.13 Формоутворення при свердлінні, зенкеруванні, розгорткуванні

На верстаті мод. 1И611П з пристроєм для обробки полігональних поверхонь стає можливим зенкерувати гранчасті поверхні: $\Phi_V(O_1O_4)$, $\Phi_S(\Pi_2)$ (рис. 1.14).

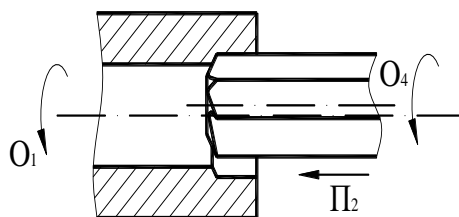


Рисунок 1.14 Формоутворення при обробці полігональних поверхонь

1.3. Характеристика полігональних поверхонь

1.3.1. Класифікація полігональних поверхонь.

Профільні безшпонкові з'єднання використовують для передачі крутного моменту взамін шліцьових і шпонкових з'єднань у конструкціях машин, вузлів і механізмів. Безшпонкові з'єднання потрібно виконувати з гарантованим зазором чи натягом, а також з перехідними посадками. Вони можуть бути і циліндричної, і конічної форми, а отвори в маточинах - наскрізними та глухими (рис. 1.15). У профільних з'єднаннях допускають відносні осьові переміщення деталей як без навантаження, так і з навантаженням.

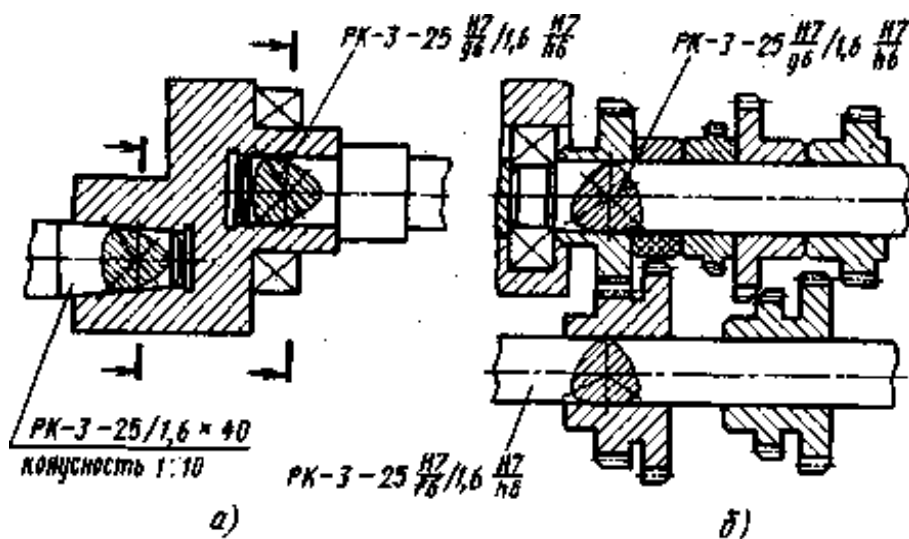


Рисунок 1.15 Профільні з'єднання з рівновісним контуром:
а) глухі; б) наскрізні (нерухомі і рухомі без навантаження)

Профільні з'єднання використовують у силових механізмах для передачі значного крутного моменту, а також і в кінематичних для точної передачі обертового руху за відносно невеликих значень крутного моменту, а також у реверсивних механізмах.

Профільні з'єднання можуть виконуватись з випуклими, прямими й ввігнутими гранями (рис. 1.16).

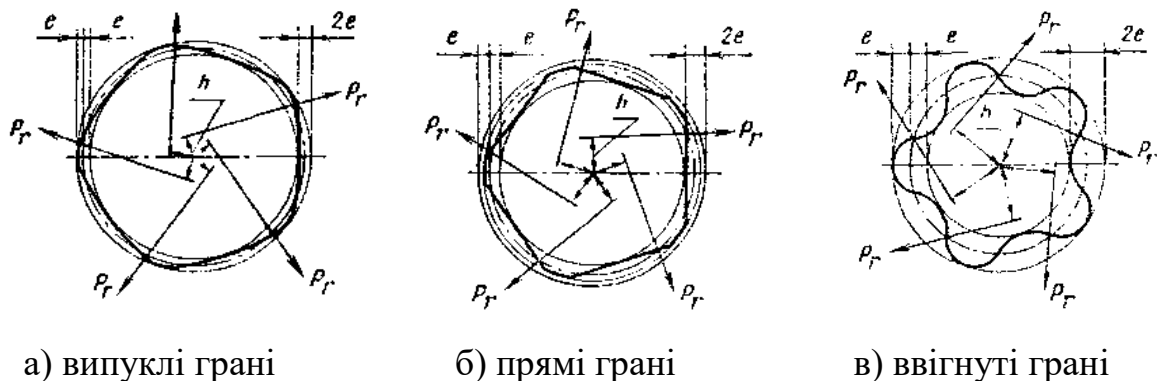


Рисунок 1.16 Види кривих профільних з'єднань залежно від величини відношення ексцентриситету e до діаметра описаного кола D_1 профілю

Криві профільних з'єднань поділяють на два види: перший – це неперервні (рис. 1.17 а); другий – перервні (зрізані, рис. 1.17 б).

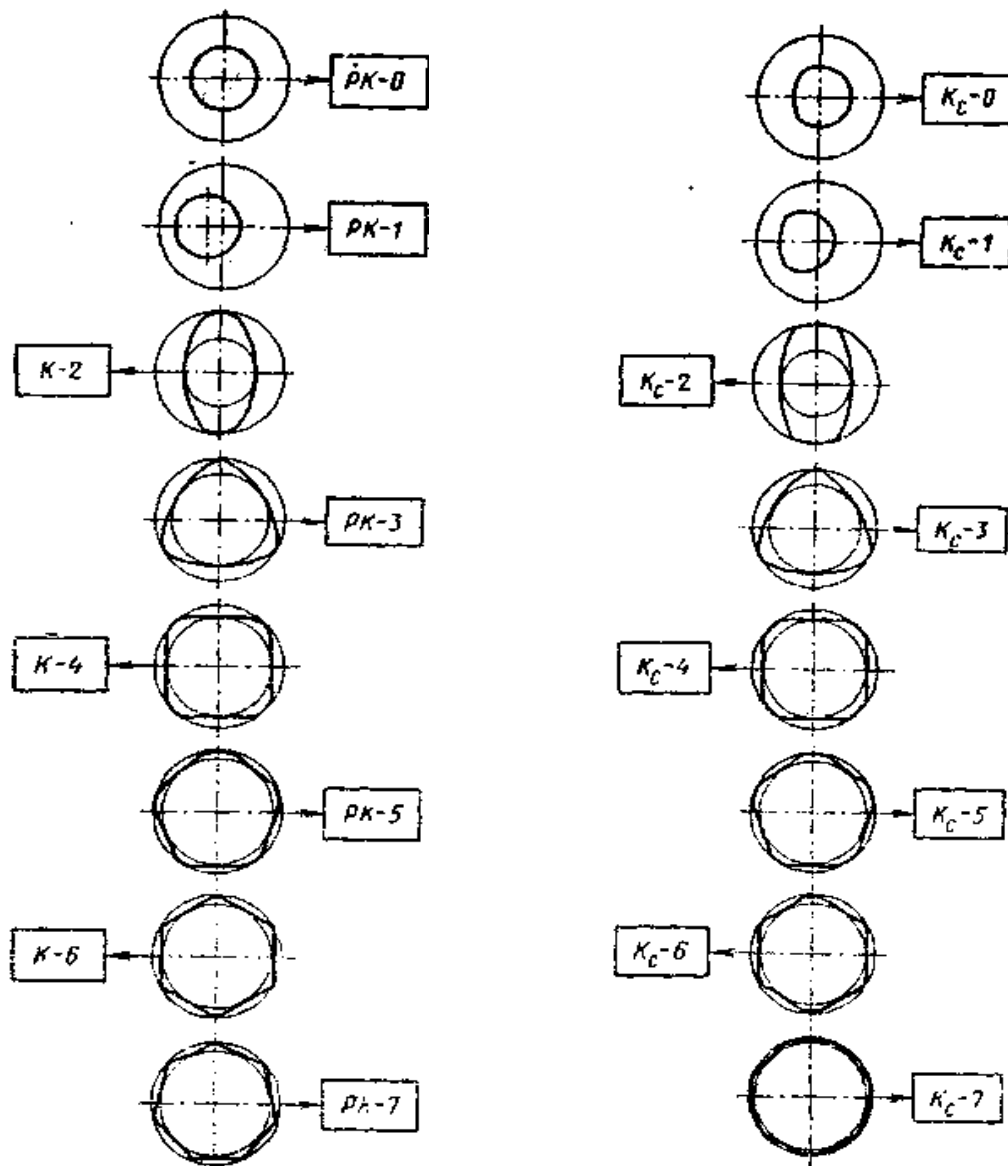
В свою чергу кожний з цих видів кривих профільних з'єднань розділяється на два підвиди.

Перший підвид: профільні криві з рівновісним контуром, тобто з непарною кількістю граней – РК-профіль (РК-1, РК-3, РК-5, РК-7 і т.д., де 1, 3, 5 і т.д. – к-ть граней (кратність) профільної кривої); профільні криві з парною кількістю граней – К-профіль (К-2, К-4, К-6, К-8 і т.д.).

Другий підвид: профільні криві, в яких контурна крива має зрізаний по вершинах вид – К_с-профіль (К_с-1, К_с-2, К_с-3, К_с-4, і т.д.).

В вітчизняному і закордонному виробництвах найбільш часто застосовуються наступні профільні з'єднання: з трьома гранями (РК-3), з трьома зрізаними (К_с-3), з чотирма зрізаними гранями (К_с-4) і з п'ятьма гранями (РК-5 і К_с-5).

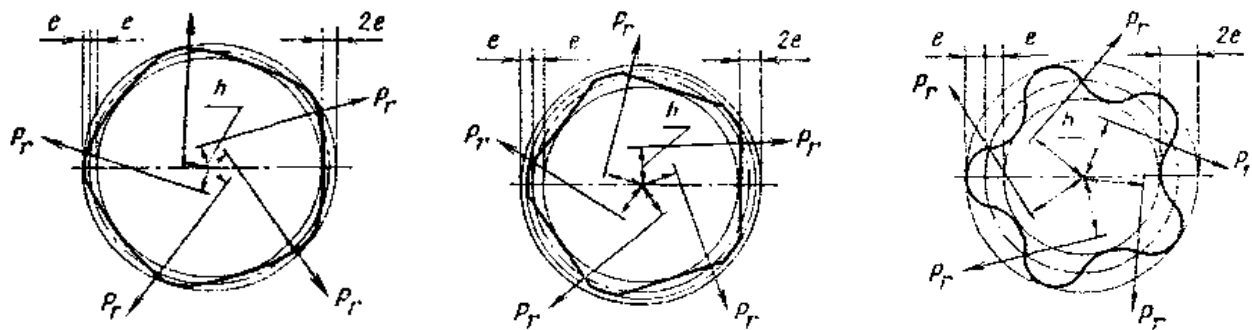
Профільні з'єднання зустрічаються з випуклими, прямими й ввігнутими гранями (рис. 1.18) [12].



а) неперервні типу PK і K

б) перервні (зрізані) типу Kc.

Рисунок 1.17 Види кривих профільних з'єднань



а) виуклі грані

б) прямі грані

в) ввігнуті грані

Рисунок 1.18 Види кривих профільних з'єднань залежно від величини відношення ексцентриситету e до діаметра описаного кола D_1 профілю

1.3.2. Геометричні параметри, які характеризують контурні криві.

Контурні криві профільних з'єднань можна охарактеризувати наступними геометричними параметрами (рис. 1.19):

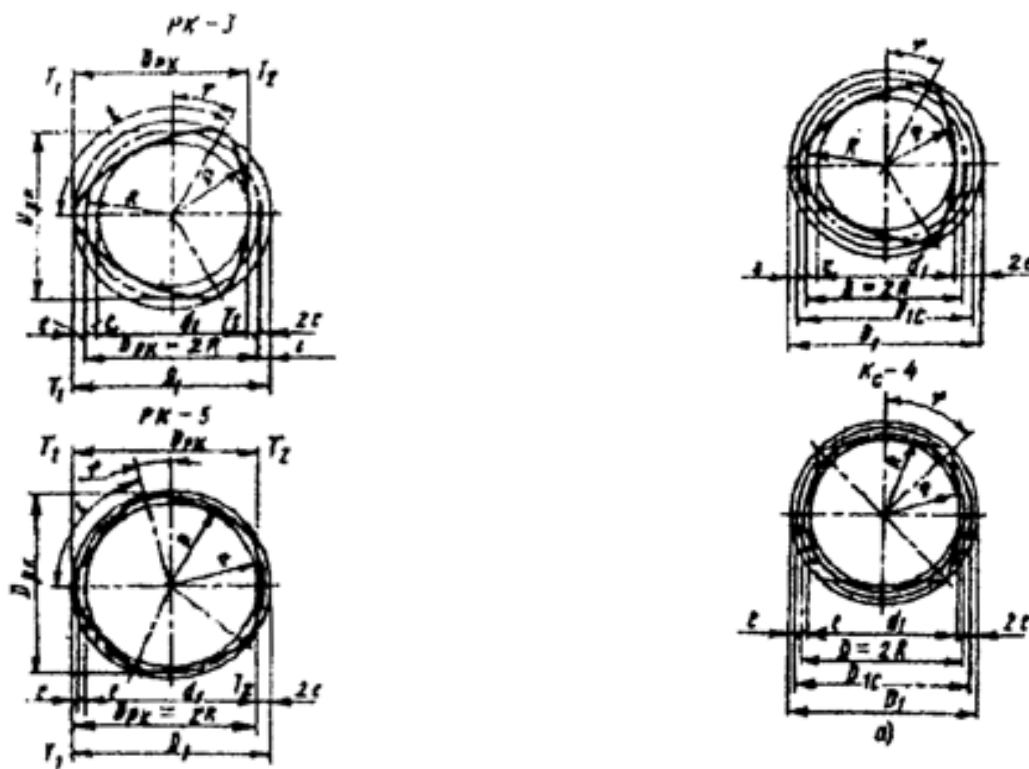


Рисунок 1.19 Геометричні параметри січень зовнішніх профільних з'єднань

	Вал
Діаметр вписаного кола	d_1
Діаметр середнього кола (R – радіус середнього кола)	$D = 2 \cdot R$
Діаметр описаного кола	D_1
Діаметр зрізаного кола	D_{1C}
Ексцентриситет профіля	e
Радіус-вектор профіля	ρ
Кутовий параметр профіля	φ

Слід відмітити, що лише в профілі типу «рівновісний контур» (РК-3, РК-5, РК-7 і т.д.) діаметр середнього кола D дорівнює номінальному значенню розміру профілю D_{PK} (рис. 1.19), що при вимірюванні розміру РК-профільних валів дозволяє використовувати універсальні вимірювальні методи, які використовуються для вимірювання розмірів круглих валів.

1.3.3. Переваги профільних з'єднань.

1.3.1.1. Експлуатаційні переваги профільних з'єднань.

1. Опір втомі РК-профільних валів є в 3-5 разів вищим шліцьових [2]. Підвищення опору втомі збільшує несучу здатність валів профільних з'єднань: у 1,2-1,3 рази в з'єднаннях із зазором; у 2 рази в з'єднаннях з натягом.

2. При збереженні несучої здатності з'єднань маса моментопередавальної ступені РК-профільного валу може бути зменшеною на 20-40 % тільки лише внаслідок зменшення поперечного перерізу. Визначений резерв при зменшенні маси машин і вузлів із профільними з'єднаннями може проявитися завдяки можливості вкоротити маточину деталі, що охоплює вал, приблизно на 10 %. Це, зокерма, може привести до зменшення довжин валу, корпусу, станини чи рами. Вкорочення маточини з РК-профільним отвором є результатом як підвищення несучої здатності деталей з'єднання, так і визначеності (при $N = 3$) базування маточини відносного валу. У певних випадках довжина моментопередаточної ступені валу може бути зменшена на 30 % внаслідок відсутності радіусного виходу від шліцьової фрези.

Використання пустотілих валів значно зменшує масу профільних валів, а відсутність гострих переходів, які є в западинах шпонок і шліців, виключає концентрацію напружень пустотілого валу.

3. РК-профільні з'єднання мають більш високий ККД, ніж шпонкові і шліцьові, що призводить до зменшення витрати енергії при здійсненні робіт з передачі крутного моменту. Це пояснюється виключенням у РК-профільному з'єднанні (у зв'язку з відсутністю шпонок і шліців) циклічного тертя-ковзання по контактуючих бічних поверхнях шпонок і шліців під навантаженням.

4. Профільні з'єднання з трьома гранями (РК-3-профільні) мають здатність автоматичного центрування під навантаженням, що передається. Навіть невеликі навантаження (менші $1H$) призводять до автоматичного центрування зубчастого колеса на валу, завдяки чому точність центрування РК-3-профільних з'єднань, що під навантаженням, максимальна і на три квалітети вища шліцьових [2].

5. У РК-3-профільному з'єднанні з співвідношенням $\frac{e}{D_{PK}} = \frac{1}{32}$ під час автоматичного центрування під навантаженням спостерігається явище самозаклинювання (самогальмування) маточини зубчастого колеса щодо профільної ступені валу, що може перешкоджати відносному осьовому переміщенню маточини і валу.

Самогальмування під навантаженням переводить РК-3-профільне з'єднання із з'єднання з зазором в з'єднання з натягом, що збільшує згинну жорсткість деталей профільного з'єднання. При цьому вал і зубчасте колесо перетворяться в єдину механізовану систему з загальною масою, чого не відбувається з деталями шліцьових з'єднань. Збільшення маси системи призводить до зменшення частоти і амплітуди її коливань. Даним фактом пояснюється зменшення шуму при роботі коробок швидкостей горизонтально-фрезерного верстата мод. 6Г81Г на 3-5 дБ порівняно із шумом при роботі аналогічних коробок, але із шліцьовими з'єднаннями [2].

6. РК-3-профільні з'єднання при використанні в різальних інструментах збільшують їх стійкість, міцність і крутну жорсткість інструментальних оправок [2]. Оскільки РК-3-профільне з'єднання володіє властивістю торсіону, то воно є хорошим крутним демпфером, що важливо для елементів кріплення інструменту для переривчастого різання (фрези й ін.).

7. РК-3-профільні хвостовики свердел, мітчиків та інших мірних інструментів забезпечують 100 %-ву гарантію непрокручуваності у трикулачкових патронах цанг і оправок, що запобігає в цих інструментах передчасну поломку і дозволяє збільшити продуктивність обробки.

Можливість застосування антифрикційних покриттів збільшує термін роботи деталей профільних з'єднань, що працюють в агресивних середовищах.

1.3.3.2. Технологічні переваги профільних з'єднань.

1. Згідно закордонних даних виготовлення деталей профільних з'єднань типів РК і К_С на 40-50 % дешевше, ніж шліцьових [2].

Дослідження технології виготовлення деталей з профільними з'єднаннями [2] показують, що обробка на валах моментопередавальних профільних поверхонь на 50 % дешевша, ніж шліцьових. Якщо вали діаметром $D_{PK}=50$ мм з довжиною моментопередавальної ступені 100 мм виготовляти на спеціальних верстатах, то:

- продуктивність обробки шліцьової ступені дорівнює 0,13 *шт./хв*, РК-3-профільної ступені - 0,224 *шт./хв* (у 1,5 рази вища);
- собівартість виготовлення шліцьової ступені складає 40 *од.*, РК-3-профільної ступені – 15 *од.* (на 30 % дешевша);
- приведені витрати на виготовлення валу діаметром 50 мм при довжині 400 мм і річній програмі випуску 100 тис. валів складають:
 - шліцьової ступені близько 100 тис. грн. у рік;
 - РК-3-профільної ступені - близько 45 тис. грн. у рік (на 55 % дешевше).

Залежно від річної програми випуску і довжини моментопередаточної ступені валу приведені витрати на виготовлення профільних валів можуть бути на 30-70 % нижчими, ніж ті ж витрати при виготовленні шліцьових валів. Застосування профільних валів дозволяє майже у 2 рази зменшити чисельність основних робітників, а також виробничі площі і кількість металообробного обладнання порівняно з необхідним для виготовлення деталей шпонкових і шліцьових з'єднань. При цьому зменшується номенклатура металорізального обладнання.

2. При обробці РК-профільних поверхонь на заготовках валів і в отворах маточин застосовують технології зміцнення, зокрема наклеп, розклатку, дорнування, а також напилювання зносостійких матеріалів на профільні поверхні з черговою їх обробкою.

3. До технологічних переваг профільних з'єднань відносять можливість застосування при шліфуванні РК- і К-профільних валів і отворів електронних пристосувань активного контролю і систем адаптивного керування синхронізацією формоутворюючих рухів.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1. Визначення типу виробництва

Тип виробництва за ГОСТ 14.004-83 визначається за коефіцієнтом закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} \quad (2.1)$$

де: ΣO – сумарна кількість різноманітних операцій, що виконуються на дільниці за місяць;

ΣP – сумарна кількість робочих місць на даній дільниці цеху, на яких виконуються дані операції.

Розрахунок будемо виконувати в такій послідовності:

Попередньо (орієнтовно) тип виробництва визначаємо, виходячи із річної програми випуску – $N = 20\ 000$ шт., і маси деталі – $m = 0,06$ кг; приймаємо попередній тип виробництва – середньосерійний.

Завершально визначаємо тип виробництва розрахунково-аналітичним методом, виконавши наступне:

Заносимо дані по існуючому (базовому) технологічному процесу в таблицю 2.1.

Маючи штучний час, витрачений на кожну з операцій, визначаємо кількість верстатів для кожної операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н.}} \quad (2.2)$$

де: N – річна програма випуску, шт. $N = 20\ 000$ шт.;

$T_{шт}$ (шт.к) – штучний або штучно-калькуляційний час, хв.;

F_d – дійсний річний фонд часу роботи обладнання, год.; ($F_d = 3979$ год. за двозмінної роботи);

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання (при двозмінній роботі при крупносерійному виробництві $\eta_{з.н.} = 0,65..0,75$).

Таблиця 2.1. – Витрати часу за операціями для існуючого ТП

Операція	Т шт. (Т шт.к)	Операція	Т шт. (Т шт.к)
010	0,054 хв.	020	0,32 хв.
025	0,258 хв.	030	0,258 хв.
035	0,42 хв.	040	0,30 хв.
045	0,714 хв.	050	0,654 хв.
055	0,162 хв.	060	0,288 хв.
065	0,306 хв.	070	0,71 хв.
085	0,138 хв.	090	1,08 хв.
100	1,962 хв.	110	0,756 хв.
115	0,144 хв.	120	0,462 хв.
140	0,69 хв.	145	0,534 хв.
160	1,26 хв.	165	1,26 хв.

Так як на даному етапі тип виробництва є ще невідомим, можна прийняти середнє значення $\eta_{з.н.} = 0,70$. Після визначення за усіма операціям m_p , встановлюємо прийняте число робочих місць P , округлюючи до найближчого більшого цілого числа одержані значення m_p . Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2. – Результати розрахунку кількості робочих місць.

операція	роб. місце	операція	роб. місце
1	2	3	4
$m_{p010} = \frac{20000 \cdot 0,054}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,006$	$P_{010}=1$	$m_{p020} = \frac{20000 \cdot 0,32}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,04$	$P_{020}=1$
$m_{p025} = \frac{20000 \cdot 0,358}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,043$	$P_{025}=1$	$m_{p030} = \frac{20000 \cdot 0,358}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,043$	$P_{030}= 1$
$m_{p035} = \frac{20000 \cdot 0,42}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,05$	$P_{035}= 1$	$m_{p040} = \frac{20000 \cdot 0,3}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,36$	$P_{040}= 1$
$m_{p045} = \frac{20000 \cdot 0,714}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,085$	$P_{045}= 1$	$m_{p050} = \frac{20000 \cdot 0,654}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,078$	$P_{050}= 1$

Продовження табл. 2.2

1	2	3	4
$m_{P055} = \frac{20000 \cdot 0,162}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,019$	$P_{055} = 1$	$m_{P060} = \frac{20000 \cdot 0,288}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,034$	$P_{060} = 1$
$m_{P065} = \frac{20000 \cdot 0,306}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,037$	$P_{065} = 1$	$m_{P070} = \frac{20000 \cdot 0,71}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,085$	$P_{070} = 1$
$m_{P085} = \frac{20000 \cdot 0,138}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,017$	$P_{085} = 1$	$m_{P090} = \frac{20000 \cdot 1,08}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,129$	$P_{090} = 1$
$m_{P100} = \frac{20000 \cdot 1,962}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,235$	$P_{100} = 1$	$m_{P110} = \frac{20000 \cdot 0,756}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,09$	$P_{110} = 1$
$m_{P115} = \frac{20000 \cdot 0,144}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,017$	$P_{115} = 1$	$m_{P120} = \frac{20000 \cdot 0,462}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,055$	$P_{120} = 1$
$m_{P140} = \frac{20000 \cdot 0,69}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,083$	$P_{140} = 1$	$m_{P145} = \frac{20000 \cdot 0,534}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,064$	$P_{145} = 1$
$m_{P160} = \frac{20000 \cdot 1,26}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,151$	$P_{160} = 1$	$m_{P165} = \frac{20000 \cdot 1,26}{60 \cdot 3979 \cdot 0,7} = 0,151$	$P_{165} = 1$

Визначаємо фактичний коефіцієнт завантаження робочого місяця для кожної операції за формулою:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{mP}{P} \quad (2.3)$$

$$\eta_{з.ф.010} = \frac{0,006}{1} = 0,006$$

$$\eta_{з.ф.020} = \frac{0,04}{1} = 0,04$$

$$\eta_{з.ф.025} = \frac{0,043}{1} = 0,043$$

$$\eta_{з.ф.030} = \frac{0,043}{1} = 0,043$$

$$\eta_{з.ф.035} = \frac{0,05}{1} = 0,05$$

$$\eta_{з.ф.040} = \frac{0,036}{1} = 0,036$$

$$\eta_{з.ф.045} = \frac{0,085}{1} = 0,085$$

$$\eta_{з.ф.050} = \frac{0,078}{1} = 0,078$$

$$\eta_{з.ф.055} = \frac{0,019}{1} = 0,019$$

$$\eta_{з.ф.060} = \frac{0,034}{1} = 0,034$$

$$\eta_{з.ф.065} = \frac{0,037}{1} = 0,037$$

$$\eta_{з.ф.070} = \frac{0,085}{1} = 0,085$$

$$\eta_{з.ф.085} = \frac{0,017}{1} = 0,017$$

$$\eta_{з.ф.090} = \frac{0,129}{1} = 0,129$$

$$\eta_{з.ф.100} = \frac{0,235}{1} = 0,235$$

$$\eta_{з.ф.110} = \frac{0,09}{1} = 0,09$$

$$\eta_{з.ф.115} = \frac{0,017}{1} = 0,017$$

$$\eta_{з.ф.120} = \frac{0,055}{1} = 0,055$$

$$\eta_{з.ф.140} = \frac{0,083}{1} = 0,083$$

$$\eta_{з.ф.145} = \frac{0,064}{1} = 0,064$$

$$\eta_{з.ф.160} = \frac{0,151}{1} = 0,151$$

$$\eta_{з.ф.165} = \frac{0,151}{1} = 0,151$$

Визначаємо кількість операцій, що виконуються на робочому місці за формулою:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (2.4)$$

Результати розрахунку заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. - Розрахунок числа операцій на робочому місці

Розраховано	Прийнято	Розраховано	Прийнято
1	2	3	4
$O_{010} = \frac{0,70}{0,006} = 12$	$O_{010} = 12$	$O_{020} = \frac{0,70}{0,04} = 17,5$	$O_{020} = 18$
$O_{025} = \frac{0,70}{0,043} = 16,3$	$O_{025} = 17$	$O_{030} = \frac{0,70}{0,043} = 16,3$	$O_{030} = 17$
$O_{035} = \frac{0,70}{0,05} = 14$	$O_{035} = 14$	$O_{040} = \frac{0,70}{0,036} = 19,4$	$O_{040} = 20$
$O_{045} = \frac{0,70}{0,085} = 8$	$O_{045} = 8$	$O_{050} = \frac{0,70}{0,078} = 8,9$	$O_{050} = 9$
$O_{055} = \frac{0,70}{0,019} = 26$	$O_{120} = 26$	$O_{060} = \frac{0,70}{0,034} = 20$	$O_{060} = 20$

Продовження табл. 2.3

1	2	3	4
$O_{065} = \frac{0,70}{0,037} = 19$	$O_{065} = 19$	$O_{070} = \frac{0,70}{0,085} = 8$	$O_{070} = 8$
$O_{085} = \frac{0,70}{0,017} = 25$	$O_{085} = 25$	$O_{090} = \frac{0,70}{0,129} = 5,4$	$O_{090} = 6$
$O_{100} = \frac{0,70}{0,235} = 3$	$O_{100} = 3$	$O_{110} = \frac{0,70}{0,09} = 7,77$	$O_{110} = 8$
$O_{115} = \frac{0,70}{0,017} = 25$	$O_{115} = 25$	$O_{120} = \frac{0,70}{0,055} = 12,7$	$O_{120} = 13$
$O_{140} = \frac{0,70}{0,083} = 8,4$	$O_{110} = 9$	$O_{145} = \frac{0,70}{0,064} = 11$	$O_{145} = 11$
$O_{160} = \frac{0,70}{0,151} = 4,6$	$O_{160} = 5$	$O_5 = \frac{0,70}{0,151} = 4,6$	$O_{160} = 5$

Визначаємо коефіцієнт закріплення операцій $K_{з.о.}$

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{298}{22} = 13,5 \quad (2.5)$$

За ГОСТ 14.004-83 застосовують наступні коефіцієнти закріплення операцій: при масовому виробництві – $K_{з.о.} = 10... 20$. В нашому випадку $K_{з.о.} = 13,5$, що є менше 20, відповідно тип виробництва – середньо серійний.

Кожному типу виробництва притаманні свої особливості, які впливають на технологічний процес, який проектується, засоби технологічного обладнання, оснащення, інструменту, організаційну структуру та ряд інших факторів.

2.2. Вибір заготовки

Зважаючи, що матеріалом деталі є Сталь 40Х ГОСТ 4543-71, яка є ливарним сплавом, має прекрасну рідкотекучість, незначну величину усадки, порівняно невисоку температуру плавлення, відповідно найбільш доцільним методом отримання заготовки є лиття та прокат. Враховуючи форму поверхонь,

а також розміри, масу, матеріал деталі та технічні вимоги, тип виробництва, призначення деталі, а також точність та якість поверхонь, приймаємо два способи отримання заготовок.

Перший спосіб одержання заготовок – це лиття в оболонкові форми. Цей спосіб має ряд переваг. Лиття в оболонкові форми забезпечує високу геометричну точність виливків, тому що формова суміш, яка має високу рухомість, дає можливість отримати чіткий відбиток моделі. Точність відбитка не втрачається тому, що оболонка знімається з моделі без розштовхування. Висока точність форми дозволяє у два рази знизити припуски на механічну обробку виливок. Використовуючи дрібнозернистий кварцовий пісок для форм, можна зменшити шорсткість поверхні виливка. Шорсткість виливків, одержаних даним чином, становить $R_z = 40 - 10 \text{ мкм}$. Висока міцність оболонок дозволяє виготовляти форми з тонкими стінками, що значно зменшує витрату формових матеріалів. В оболонкових формах отримують виливки з товщиною стінки 3-15мм, масою від 0,25 до 100 кг. Квалітет точності вилитих заготовок становить 7-12-14.

Визначимо вартість заготовки, одержаної литтям в оболонкові форми, за формулою:

$$S_{\text{ЗАГ}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot \kappa_T \cdot \kappa_C \cdot \kappa_B \cdot \kappa_M \cdot \kappa_{\Pi} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{ВДХ}}}{1000}; \quad (2.6)$$

де $S_{\text{ЗАГ}}$ - вартість заготовки отриманої литтям в оболонкові форми, грн.;

C_i - базова вартість 1 тони заготовок [6, с. 52];

Q - маса заготовки, кг;

κ_m - коефіцієнт, що змінюється від класу точності заготовки [6, с. 52];

κ_c - коефіцієнт, що змінюється від групи складності [6, с. 52]

κ_b - коефіцієнт, що залежить від маси заготовки [6, с. 52];

κ_m - коефіцієнт, що змінюється від об'єму виробництва [6, с. 52];

κ_n - коефіцієнт, що залежить від об'єму виробництва [6, с. 50];

q - маса готової деталі, кг;

$S_{\text{ВДХ}}$ - вартість одної тони відходів з сталі [6, с. 47];

Визначення маси деталі.

Масу деталі (рис. 2.1) визначаємо за такою формулою:

$$M = V \cdot \gamma \quad (2.7)$$

де: V – об'єм деталі;

γ – питома вага; для сталі $\gamma=7,65\dots7,85$ г/см³.

Для визначення об'єму деталі потрібно умовно розбити деталь на прості частини, щоб кожна з них мала просту геометричну форму, яка зручна для розрахунку об'єму.

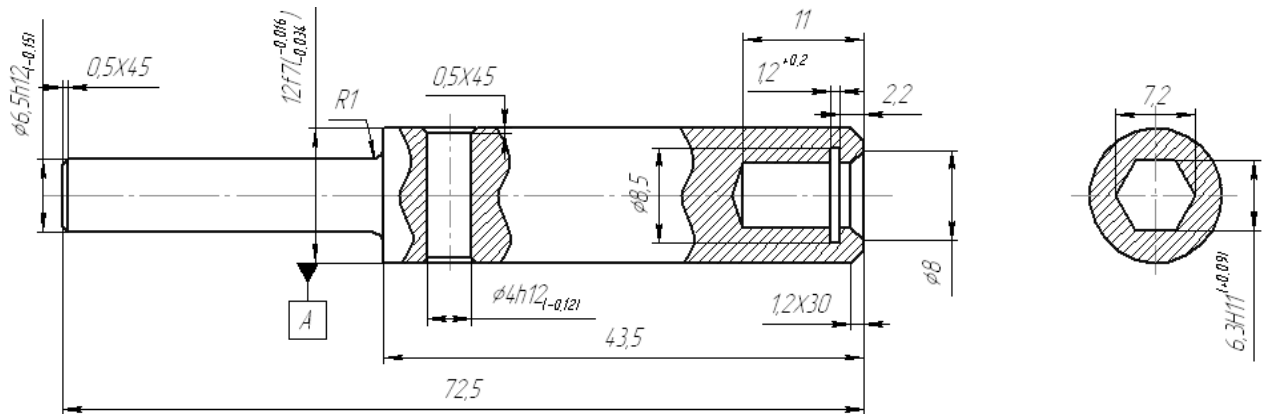


Рисунок 2.1 Ескіз деталі

Деталь кругла, тому об'єм шукаємо по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H \quad (2.8)$$

$$V_1 = \frac{3.14 \cdot 1.2^2}{4} \cdot 4.35 = 5.92 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = \frac{3.14 \cdot 0.65^2}{4} \cdot 2.9 = 1.9 \text{ см}^3;$$

$$V_3 = \frac{3.14 \cdot 0.4^2}{4} \cdot 1.2 = 0.15 \text{ см}^3;$$

$$V_4 = \frac{3.14 \cdot 0.6^2}{4} \cdot 1.1 = 0.31 \text{ см}^3;$$

$$V_{ДЕТ} = V_1 + V_2 - V_3 - V_4 = 5.92 + 1.9 - 0.15 - 0.31 = 7.36 \text{ см}^3;$$

$$\text{Отже, маса деталі складає: } Q_{дет} = \frac{7.36 \cdot 7.8}{1000} \approx 0.06 \text{ кг.}$$

Визначимо масу заготовки, для чого призначимо припуски на заготовку, результати занесемо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. – Загальні припуски та розміри заготовки

Оброблювальна поверхня, її розмір та точність	Параметр шорсткості деталі, мкм	Допуск заготовки, мм	Загальний припуск, мм	Розмір заготовки із граничними відхиленнями
1) Лиття в кокіль 6 кл. точності розмірів і мас, 2 ряд припусків				
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 12 (-0,036)$,	Ra 10	0,56	$1,5 \times 2 = 3$	$\varnothing 15 \pm 0,28$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 6,5 (-0,15)$,	Ra 10	0,56	$1,5 \times 2 = 3$	$\varnothing 9,5 \pm 0,28$
Торцева поверхня 43,5	Ra 10	1	$1,8 \times 2 = 3,5$	$47 \pm 0,5$
Торцева поверхня 29	Ra 10	1	$1,8 \times 1 = 1,8$	$30,6 \pm 0,5$
2) Прокат гарячокатаний $\varnothing 15$, звичайної точності прокатки				
Торцева поверхня 72,5h14	Ra 10	1	7,5	$80 \pm 0,5$
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 12 (-0,036)$	Ra 2,5	1,1	$1,5 \times 2 = 3$	$\varnothing 15 (+0,4 / -0,7)$

Згідно отриманих даних, вказаних в таблиці 2.4, виконуємо ескізи заготовок за двома варіантами методів отримання заготовки (рис. 2.2, рис. 2.3).

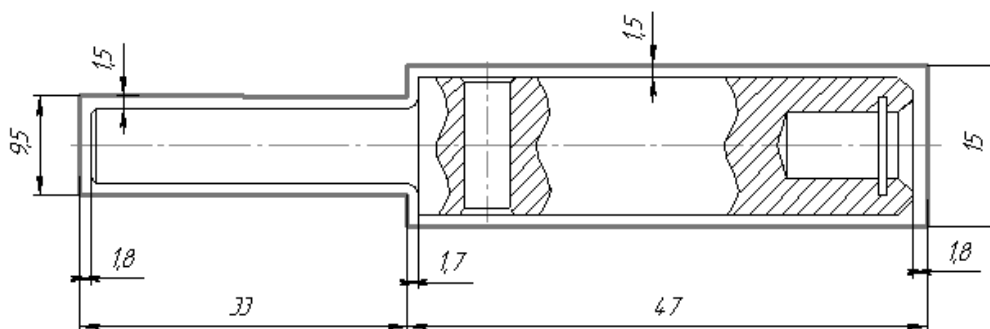


Рисунок 2.2 Ескіз заготовки – вилівка отриманого литтям в кокіль

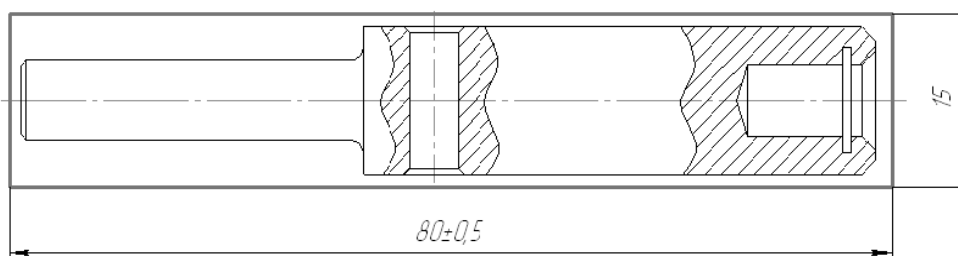


Рисунок 2.3 Ескіз заготовки – прокату

Масу заготовки визначаємо за такою формулою:

$$M_{\text{заг}} = V_{\text{заг}} \cdot \gamma \quad (2.9)$$

де: $V_{\text{заг}}$ – об'єм заготовки;

γ – питома вага (для сталі $\gamma=7,65\dots 7,85$ г/см³).

Для визначення об'єму деталі умовно розбиваємо її на прості частини, щоб кожна з цих частин мала просту геометричну форму, зручну для розрахунку об'єму.

Так як деталь кругла, то об'єм шукаємо по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H \quad (2.10)$$

$$V_1 = \frac{3.14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 4,7 = 8,3 \text{ см}^3;$$

$$V_2 = \frac{3.14 \cdot 0,95^2}{4} \cdot 3,06 = 2,34 \text{ см}^3;$$

$$V_{\text{заг}} = V_1 + V_2 = 8,3 + 2,34 = 10,64 \text{ см}^3;$$

$$\text{Тому маса деталі складає: } Q_{\text{заг}} = \frac{10,64 \cdot 7,8}{1000} \approx 0,09 \text{ кг};$$

$$S_{\text{заг}} = \left(\frac{5500}{1000} \cdot 0,1 \cdot 3,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,05 \cdot 0,91 \right) - (0,09 - 0,06) \cdot \frac{500 \cdot 2}{1000} = 147 \text{ коп} = 2,31 \text{ грн};$$

Другий спосіб одержання заготовок – це прокат.

Визначимо вартість заготовки, одержаної прокатом, за формулою:

$$S_{\text{заг}2} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot \kappa_B \cdot \kappa_M \cdot \kappa_{II} \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{ВДХ}}}{1000}; \quad (2.11)$$

де $S_{\text{заг}}$ - вартість заготовки, отриманої прокатом, грн.;

C_i - базова вартість 1 тони заготовок [6, с. 52];

Q - маса заготовки, кг;

q - маса готової деталі, кг;

$S_{\text{ВДХ}}$ - вартість однієї тони відходів із сталі [6, с. 47];

Масу заготовки визначаємо за такою формулою:

$$M_{\text{заг}} = V \cdot \gamma;$$

де: V – об'єм деталі;

γ – питома вага, для сталі $\gamma=7,65\dots7,85$ г/см³

Для визначення об'єму деталі умовно розіб'ємо деталь на прості частини, щоб кожна з них володіла простою геометричною формою, зручною для розрахунку об'єму.

Оскільки деталь кругла, тому об'єм шукаємо по формулі:

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot H;$$

$$V_{ЗАГ} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} \cdot 8,0 = 14,13 \text{ см}^3;$$

$$\text{Отже, маса деталі складає: } Q_{ЗАГ} = \frac{14,13 \cdot 7,8}{1000} \approx 0,11 \text{ кг};$$

$$S_{ЗАГ} = \left(\frac{5500}{1000} \cdot 0,11 \cdot 2,9 \cdot 1,0 \cdot 0,91 \right) - (0,11 - 0,06) \cdot \frac{500 \cdot 2}{1000} \approx 90_{\text{коп}} = 1,7 \text{ грн.}$$

Визначаємо економічний ефект для співставлення способів одержання заготовок, за яких технологічний процес механічної обробки не змінюється, за формулою:

$$E_3 = (S_{ЗАГ1} - S_{ЗАГ2}) \cdot N; \quad (2.12)$$

де E_3 - економічний ефект, грн.; N - річна програма випуску, шт.

$$E_3 = (2,31 - 1,7) \cdot 20000 = 12200 \text{ грн.}$$

Отже, найбільш доцільним способом отримання заготовок з позиції економічної ефективності є другий спосіб – тобто заготовка з прокату.

2.3. Вибір оптимального технологічного процесу обробки деталі

Складемо два варіанти техпроцесу механічної обробки деталі-представника та занесемо їх у таблиці 2.5 і 2.6.

Таблиця 2.5 – I-й варіант технологічного процесу виготовлення Вал “НМ -144”

№ операц	Назва, зміст, режими й особливості операції	Обладнання	$T_{\text{шт}}$, хв.
005	Контроль металу		
010	Фрезерно-відрізна Відрізати заготовку 80h15 (-3,6) мм	Прес-ножиці мод. Н-5222 ВМ	0,054
015	КД на ЕТП		

020	Токарно-револьверна 1. Установка і висування на 80 мм. 2. Відрізати, витримавши розмір 1.	ТРС мод. 1341	0,504
025	Токарно-револьверна 1. Підрізати торець, витримавши р-р 2, $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,01 \text{мм/об}$, $i = 1$, $t = 0,5 \text{мм}$; 2. Точити фаску, витримуючи р-р 1, $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,01 \text{мм/об}$, $i = 1$, $t = 0,5 \text{мм}$.	ТВС мод. SV-18RA	0,258
30	Токарно-револьверна 1. Підрізати торець, витримавши р-р 2, $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,01 \text{мм/об}$, $i = 1$, $t = 0,5 \text{мм}$; 2. Точити фаску, витримуючи р-р 1, $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,01 \text{мм/об}$, $i = 1$, $t = 0,5 \text{мм}$.	ТВС мод. SV-18RA	0,258
035	Токарно-револьверна 1. а) свердлити центруючі отвори, витримуючи р-ри 1, 2, 3, 4; б) перевстановити заготовку. 2. Повторити перехід 1.	ТВС мод. SV-18RA	0,420
040	Токарно-револьверна 1. а) зенкувати фаску, витримуючи р-р $1 \pm 0,1 \times 120^\circ$: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 1$; б) переустановити заготовку. 2. Повторити перехід 1.	ТВС мод. SV-18RA	0,300
045	Токарно-револьверна 1. Точити поверхню з підрізанням торця, витримуючи р-ри 2, 3: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 2$. 2. Точити 2 фаски, витримуючи р-р 1: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 1$.	ТВС мод. SV-18RA	0,714
050	Токарно-револьверна 1. Точити поверхню, витримуючи р-р 1: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 5$. 2. Підрізати торець, витримуючи р-р 3: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 1$. 3. Точити 2 фаски, витримуючи р-р 2 послідовно.	ТВС мод. SV-18RA	0,654
055	Токарно-револьверна Точити фаску, витримуючи р-р 1 $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 5$.	ТВС мод. SV-18RA	0,162
060	Токарно-револьверна 1. а) свердлити отвір, витримуючи р-ри 1, 2: $n = 1000 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,5 \text{мм/об}$, $i = 4$. б) перевстановити заготовку. 2. Повторити перехід 1.	ТВС мод. SV-18RA	0,288

065	Токарно-револьверна Розточити канавку, витримавши р-ри 4, 5, 6: $n = 1000 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 1$.	ТВС мод. SV-18RA	0,306
070	Токарно-гвинторізна 1. СОЖ на РИ. 2. Обкатати шестигранник, витримуючи р-ри 1, 2, 3: $n = 80 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,01 \text{мм/об}$, $T_{\text{max}} = 180 \text{с}$.	ТВС мод. SV-18RA, пристосування ОС- ПР-34 з поворотом на $3^{\circ} \pm 15'$	4,752
075	Токарно-гвинторізна Зачистити заусенці по торцю шестигранника, витримуючи р-р $\varnothing 6,37^{+0,09}$: $n = 1000 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,05 \text{мм/об}$, $i = 1$.	ТВС мод. SV-18RA, свердло	0,150
080	Слюсарна: Очистити гострі кромки фасками б.	Надфіль	0,312
085	Токарно-гвинторізна Центрувати отвір, витримуючи р-ри 2, 3: $n = 1000 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,1 \text{мм/об}$, $i = 1$.	ТВС мод. SV-18RA	0,138
090	Токарно-гвинторізна 1. Нанести пасту на центруючий отвір. 2. Притерти центруючий отвір протягом 15с, витримуючи шорсткість $R_a=1,25$. 3. Зняти, нанести пасту на 2-й центруючий отвір. 4. Повторити переходи 1, 2.	ТВС мод. SV-18RA	1,080
095	Промивання. Продути.		0,054
100	Круглошліфувальна 1. а) шліфувати поверхню, попередньо витримуючи р- р 1, $R_a=1,25$: $n = 1000 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{мм/об}$, $i = 1$. б) перевстановити. 2. Шліфувати поверхню, витримуючи р-р 1, $R_a=1,25$ попередній. 3. Шліфувати поверхню, витримуючи р-ри 1, 2, $R_a=1,25$ з повздовжнім переміщенням кола протягом 30с: $n = 250 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{мм/об}$, $i = 1$.	КШС мод. 250R, установка в центрах	1,962
105	Промивання. Продути.		0,054
110	Свердлильна Свердлити отвір, витримуючи р-ри 1, 2, 3: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,05 \text{мм/об}$, $i = 6$.	Наст.-свердл. верстат мод. НС- 12А, кондуктор	0,756
115	Свердлильна 1. а) зенкувати фаску, витримуючи р-р $1 \pm 0,1 \times 45^{\circ}$: $n = 800 \text{мин}^{-1}$, $s = 0,05 \text{мм/об}$, $i = 6$.; б) перевстановити. 2. Повторити перехід 1.	Наст.-свердл. верстат мод. НС- 12А, кондуктор	0,144
120	Свердлильна Розвертувати отвір, витримуючи р-р $\varnothing 4_{-0,024}^{-0,011}$, допуск перпендикулярності $0,02 \text{мм}$ відносно $\varnothing 12,3_{-0,011}$ і допуск перетину осей $0,05 \text{мм}$ відносно $\varnothing 12,3_{-0,011}$.	Наст.-свердл. верстат мод. НС-12А	0,462

125	Контроль		0,180
130	Промивання		0,540
135	КД на ГТП т.о.		
140	Токарно-гвинторізна Притерти торець, фаску, витримуючи р-ри 1, 2 і шорсткість $R_a=0,8$ протягом 90с.	ТВС мод. SV-18RA, шкурка	0,690
145	Токарно-гвинторізна 1. Нанести пасту на центральний отвір. 2. Притерти центруючий отвір протягом 60с, витримуючи шорсткість $R_a=1,25$: $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, $i = 2$. 3. Зняти, нанести пасту на 2-й центруючий отвір. 4. Повторити переходи 1, 2.	ТВС мод. SV-18RA	0,534
150	Очищення поверхні центруючих отворів від пасти		0,420
155	Промивання		0,540
160	Круглошліфувальна 1. а) шліфувати торець, попередньо витримуючи р-ри 2, 3; б) шліфувати поверхню 1. 2. Шліфувати поверхню протягом 30с, витримуючи р-ри 1, 2, 3, $R_a=0,8$ радіальне биття 0,01 мм: $n = 250 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{ мм/об}$, $i = 1$.	КШС мод. 250R	1,260
165	Круглошліфувальна 1. а) шліфувати поверхню, попередньо витримуючи р-р 1, $R_a=0,8$: $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{ мм/об}$, $i = 1$. б) Переустановити круг. 2. Шліфувати поверхню, витримуючи р-р 1, $R_a=0,8$: $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{ мм/об}$, $i = 1$. 3. Шліфувати поверхня, витримуючи р-ри 1,2 з подовжнім переміщенням кола протягом 30с: $n = 250 \text{ мин}^{-1}$, $s = 0,001 \text{ мм/об}$, $i = 1$.	КШС мод. 250R, в центрах	1,260
170	Промивання Продути	Ванна	0,540
175	Контроль зовнішнього вигляду	Стіл контролера	0,216
180	Контроль лінійних розмірів		0,300
185	Контроль діаметрів		0,480
190	Контроль шорсткості		0,216
195	Контроль радіального биття		0,300
200	Контроль форми і розташування поверхонь		0,180
205	Транспортування	Транспортувати візок	0,006
Всього			22,552

Коротка характеристика даного варіанту технологічного процесу:

Заготовка: штучна з попередньо обробленим отвором;

Операції, що замінюються: 070...075;

Кількість верстатів: 1.

Спеціальне обладнання – це пристосування для зенкерування полігонального отвору (на супорті).

Таблиця 2.6. – II варіант ТП виготовлення деталі Вал «НМ -144»

№ опер.	Назва, зміст, режими і особливості операцій	$T_{ум}, хв.$
***	Токарно-гвинторізна Зенкерувати шестигранний отвір, витримуючи р-р 11мм: $n = 1000 \text{ мин}^{-1}, s = 0,12 \text{ мм/об.}$	0,71
Всього:		0,71

Аналізуючи два вибрані технологічні процеси робимо висновок, що другий технологічний процес є ефективнішим, тому що кількість верстатів, що виконують операції 070...075, змінюється на один. Це дає змогу значно покращити обробку.

Приймаємо технологічний процес №2 як базовий.

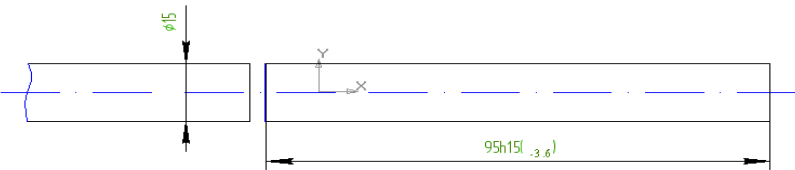
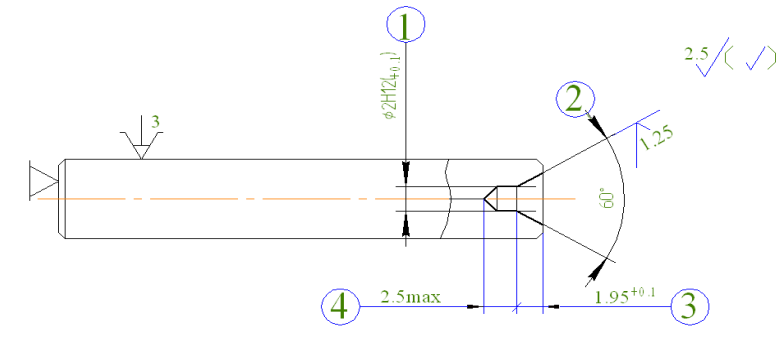
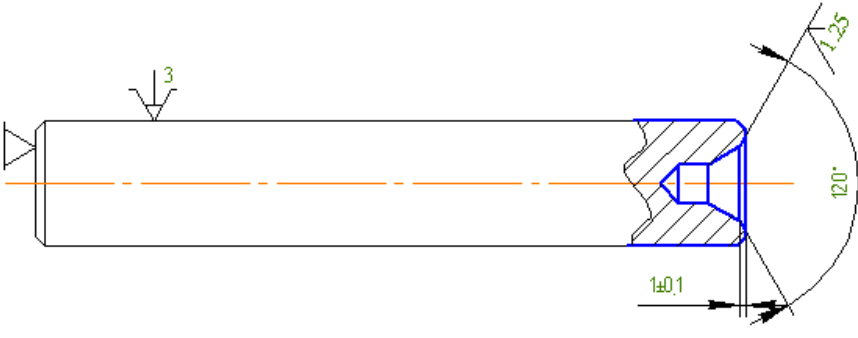
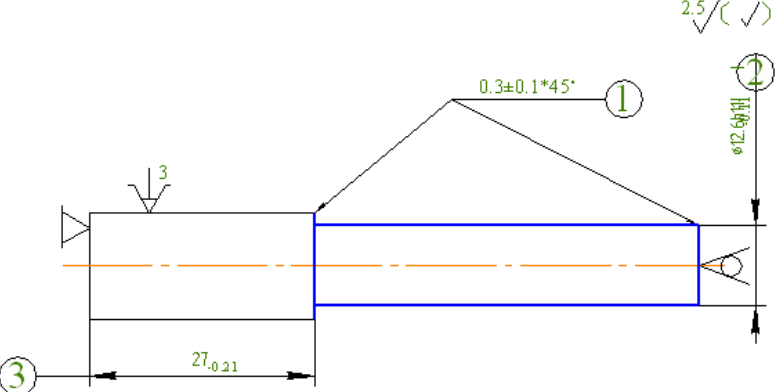
2.4. Вибір та обґрунтування технологічних баз

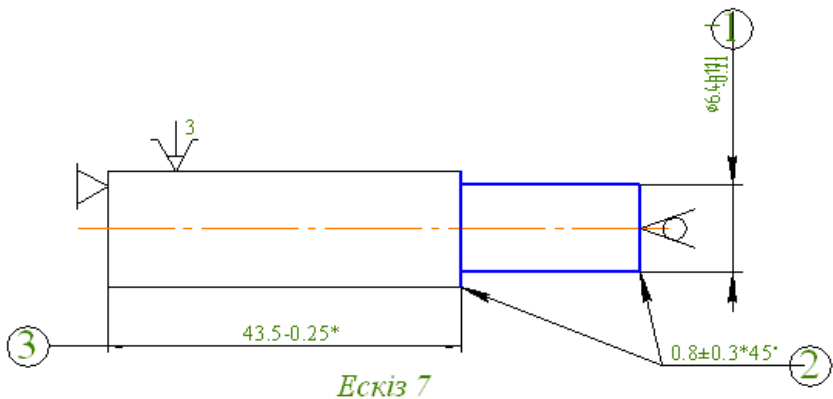
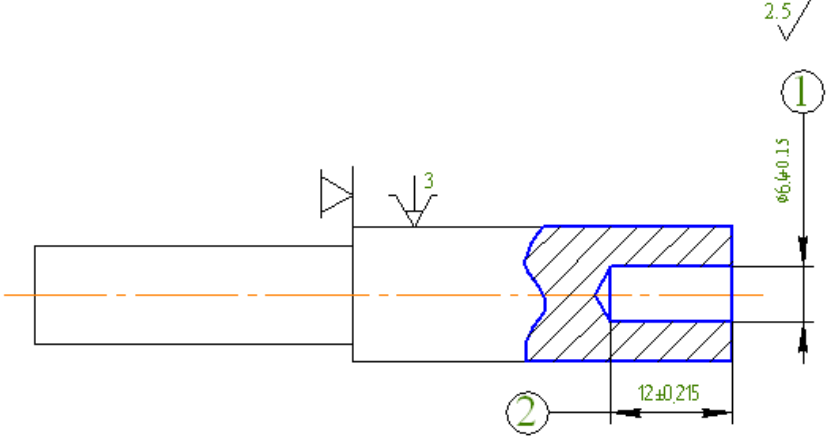
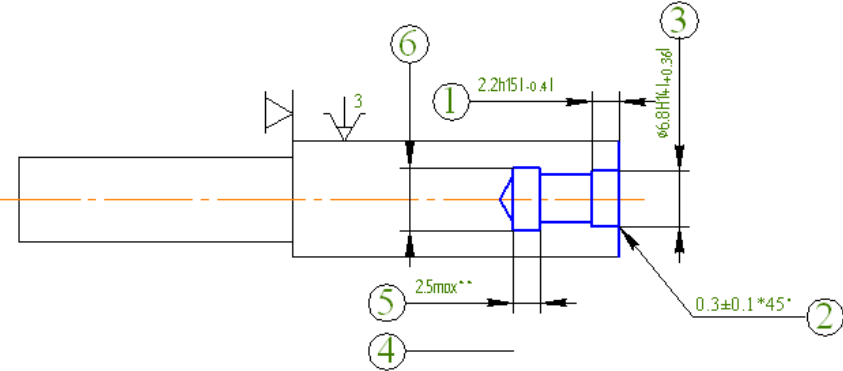
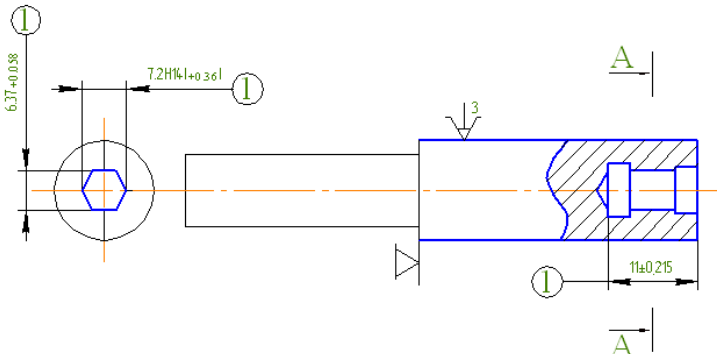
Вибір технологічних баз значною мірою визначає точність виконання розмірів, правильність взаємного розташування поверхонь та ступінь складності оснастки.

Під час обробки заготовки з прокату необроблені поверхні використовуємо в якості баз тільки на 010, 020 операціях. На всіх інших операціях використовуються в якості баз чистові поверхні.

Наведемо теоретичні схеми базування заготовки, зводячи їх в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7. – Вибір баз

Номер операції	Теоретична схема базування і закріплення
010, 020	
035	
040	
045	

050	 <p style="text-align: center;"><i>Ескіз 7</i></p> <p style="text-align: right;">* Розмір технологічний</p>
060	
065	
070	

<p>100</p>							
<p>110, 115</p>	<table border="1" data-bbox="1077 963 1204 1019"> <tr> <td>⊥</td> <td>0.02</td> <td>A</td> </tr> <tr> <td>×</td> <td>0.05</td> <td>A</td> </tr> </table>	⊥	0.02	A	×	0.05	A
⊥	0.02	A					
×	0.05	A					
<p>140</p>							
<p>160, 165</p>							

2.5. Обґрунтування та вибір різального інструменту

Важливими факторами, що впливають на вибір різального інструменту є: метод обробки, властивості оброблювального матеріалу, потрібна точність обробки і якість оброблюваної поверхні заготовки, програма виготовлення та тип виробництва.

Під час вибору різального інструменту необхідно приймати стандартний інструмент, або коли це необхідно, слід приймати спеціальний, комбінований, фасонний інструмент, що дозволяє суміщати обробку кількох поверхонь. Правильний вибір ріжучої частини інструменту має велике значення для можливості підвищення продуктивності і зниження собівартості обробки, згідно рекомендацій [8, с.76]. Для обробки сталі використовуємо різальний інструмент з різальною частиною з вольфрамової групи твердих сплавів (Т15К6, Т5К6, Т5К6М, ВК8) для таких операцій: токарної та зенкерувальної. Вибір матеріалу для ріжучого інструменту залежить від форми і розмірів інструмента, а також матеріалу оброблюваної заготовки, стану поверхні, режимів різання та типу виробництва.

Конструктивне виконання інструменту в цілому пов'язане також із типом обладнання, його призначення для забезпечення технологічного процесу. Передбачено використання універсального та спеціального обладнання тому, в основному, призначаємо різальні інструменти згідно діючих стандартів.

Проведемо вибір ріжучого інструменту по операціях і переходах згідно приведених вище вимог.

Операція 010 Фрезерно-відрізна.

Відрізати заготовку 80h14 мм, діаметром 15 мм.

Прес-ножиці мод. Н-5222 ВМ.

Операція 020-025 токарно-револьверна.

Підрізуємо торець та точимо фаску згідно розмірів 72,5мм, 1,2*45°.

Різець токарний підрізний відігнутий, Т5К10; 20 × 16; φ=90°

за ГОСТ 1880-73

Різець токарний прохідний державочний, Т5К10, φ=58°; 10 × 10

за ГОСТ 9795-84

Операція 030 токарно-револьверна.

Підрізуємо торець та точимо фаску згідно розмірів 72,5мм, 1,2*45° ,

Різець токарний підрізний відігнутий, Т5К10; 20 × 16; φ=90°

за ГОСТ 1880-73.

Різець токарний прохідний державочний, Т5К10, φ=58°; 10 × 10

за ГОСТ 9795-84.

Операція 035 токарно-револьверна.

Центруємо отвори, витримуючи розміри, вказані на кресленні 72,5мм.

Свердло (d = 4мм) 23010-0023 ГОСТ 10903-77.

Операція 040 токарно-револьверна.

Зенкуємо фаски 0,1×120°.

Зенківка (d = 8мм) 2315 – 0236 МН727-60.

Операція 045 токарно-револьверна.

Точимо діаметр 6,5h12 на довжину 29 мм та фаску 0,5*45° .

Різець токарний підрізний відігнутий, Т5К10; 20 × 16; φ=90°

за ГОСТ 1880-73.

Різець токарний прохідний державочний, Т5К10, φ=60°; 10 × 10

за ГОСТ 9795-84.

Операція 050 токарно-револьверна.

Точити діаметр 12f7; на довжину 43,5 мм та фаску 1,2*45° .

Різець токарний підрізний відігнутий, Т5К10; 20 × 16; φ=90°

за ГОСТ 1880-73.

Різець токарний прохідний державочний, Т5К10, φ=60°; 12 × 10

за ГОСТ 9795-84.

Операція 060 токарно-револьверна.

Свердлимо отвір, витримуючи розміри, діаметром 5,8мм; на довжину 11 мм.

Свердло ($d = 5,8\text{мм}$) 2301-0057 ГОСТ 10903-77 - свердло спіральне із швидкорізальної сталі з циліндричним хвостовиком.

Операція 065 токарно-револьверна.

Розточуємо канавку, витримуючи розміри $1,2\text{ мм}$, $2,2\text{ мм}$ та діаметр 8мм , правимо різець після 60 деталей.

Різець канавочний спеціальний відігнутий $1,2\text{ мм}$ 2103-1014 Т15К6.

Операція 070 токарно-гвинторізна.

При зенкеруванні шестигранного отвору, довжиною 11 мм , приймаємо зенкер спеціальний діам. $5,8\text{мм}$ з п'ятьма зубцями .

Зенкер спеціальний (діам. $5,8\text{мм}$) 2214-0007.

Операція 100 круглошліфувальна.

Шліфуємо поверхні діаметром $12f7$ на довжину $43,5\text{ мм}$, діаметром $6,5h12$ на довжину 29 мм . Для цього використовуємо круги прямого профілю.

Круг шліфувальний 1А1-2, $D = 250\text{ мм}$, $d = 25\text{ мм}$ за ГОСТ 17123-79.

Операція 110 свердлильна.

Призначаємо різальний інструмент для свердлильної операції для обробки отвору $d = 4\text{ мм}$, витримуючи розміри, що вказані на кресленні.

Свердло ($d = 4\text{мм}$) 2301-0057 за ГОСТ 10903-77 – свердло спіральне із швидкорізальної сталі з циліндричним хвостовиком.

Операція 115 свердлильна.

Призначаємо ріжучий інструмент для свердлильної операції для обробки фаски $0,5*45$ отвору діам. $d = 4\text{мм}$, витримуючи розміри, вказані на кресленні.

Зенківка ($d = 8\text{мм}$) 2315 – 0236 Мн 727-60.

Операція 120 свердлильна.

Призначаємо різальний інструмент для свердлильної операції, для обробки отвору $d = 4h12\text{ мм}$, витримавши розміри, вказані на кресленні.

Розгортка насадна $D=4U8$; $L=25$; $z=6$; $\varphi=5^\circ$; мат. Т15К6 за ГОСТ 1175-80.

Операція 160 круглошліфувальна.

Шліфувати торець $43,5\text{ мм}$, витримуючи розміри. Для цього використовуємо круги з прямим профілем.

Круг шліфувальний 1А1-2, $D = 200$ мм, $d = 20$ мм за ГОСТ 17123-79.

Операція 165 круглошліфувальна.

Шліфуємо торець $72,5$ мм, витримуючи розміри. Для цього використовуємо круги прямого профілю.

Круг шліфувальний 1А1-2, $D = 200$ мм, $d = 20$ мм за ГОСТ 17123-79.

2.6. Вибір контрольно-вимірювальних інструментів

При проектуванні техпроцесів механічної обробки заготовки з міжопераційним та завершальним контролем оброблених поверхонь необхідно, за можливістю, використовувати стандартний вимірювальний інструмент.

Основним фактором, що визначає особливості вимірювальних інструментів, є тип виробництва. Але, разом з тим, якщо потрібно, необхідно використовувати спеціальний контрольно-вимірювальний інструмент або контрольно-вимірювальну оснастку.

Згідно рекомендацій [6, с. 78] метод контролю повинен забезпечувати підвищення продуктивності праці контролера і верстатника, створювати умови для підвищення якості продукції, що випускається, і зниження її собівартості. Зважаючи на тип виробництва використаємо універсальний вимірювальний інструмент, а також граничні калібри (скоби, пробки, шаблони).

Призначимо контрольно-вимірювальний інструмент за операціями.

Операція 010 Фрезерно-відрізна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Операція 020-025 токарно-револьверна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Шаблон ($1,2 \cdot 45^\circ$) 8701 – 4025 – 0.3.

Операція 030 токарно-револьверна.

Шаблон ($0,5 \cdot 45^\circ$) 8700 – 4015 – 0.2.

Операція 035 токарно-револьверна.

Шаблон ($72,5 \pm 0,25$) 8750 – 4026.

Операція 040 токарно-револьверна.

Шаблон (0,1*45 °) 8710 – 4035 – 0.1.

Операція 045 токарно-револьверна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Шаблон (0,5*45 °) 8700 – 4025 – 0.2.

Операція 050 токарно-револьверна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Шаблон (1,2*45 °) 8701 – 4025 – 0.3.

Операція 060 токарно-револьверна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Шаблон 8551 – 4126.

Операція 065 токарно-револьверна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Операція 070 токарно-гвинторізна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 115 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Калібр розміщення 8429-4480.

Калібр пробка (шестигранник) двохстороння 8276-4069 ГОСТ 14826-69.

Операція 100 круглошліфувальна.

Калібр скоба (d = 12 f7мм) 8213-4200.

Калібр скоба (d = 6,5h12 мм) 8215-4200.

Операція 110 свердлильна.

Калібр розміщення 8235-4480 ГОСТ 24826-69..

Штангельциркуль ШЦ – I – 125 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Операція 115 свердлильна.

Калібр розміщення 8335-4480 ГОСТ 14826-69..

Штангельциркуль ШЦ – I – 125 – 0,1 ГОСТ 166 – 80.

Шаблон (0,5*45 °) 8700 – 4125 – 0.2.

Операція 120 свердлильна.

Калібр розміщення 8135-4480 ГОСТ 14826-69.

Калібр пробка двостороння (d = 4h12 мм) 8276-4070 ГОСТ 14826-69.

Операція 160,165 круглошліфувальна.

Штангельциркуль ШЦ – I – 125 – 0,1 ГОСТ 266 – 80.

Шаблон (72,5) 8718 – 4125.

2.7. Розрахунок граничних режимів різання

Швидкість різання визначаємо за формулою:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} K_v; \quad (2.13)$$

де: C_v – сталий коефіцієнт; D – діаметр обробки (зенкера); T – період стійкості різця; q – показник степені, що характеризує вплив діаметра обробки на швидкість; m – показник степені для стійкості різця; t – глибина різання; x – показник степені, що характеризує вплив глибини різання на швидкість; s – подача; y – показник степені, що характеризує вплив подачі на швидкість; k_v – коефіцієнт, який враховує фактичні умови обробки:

$$k_v = k_{MV} \cdot k_{PIV} \cdot k_{IIV} \quad (2.14)$$

де: k_{MV} – коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу;

k_{PIV} – коефіцієнт, який відображає стан поверхні заготовки;

k_{IIV} – коефіцієнт, який враховує якість матеріалу інструмента

Всі дані для розрахунку заносимо в таблицю:

Таблиця 2.8. – Дані при розрахунку швидкості різання

	C_v	q	T	m	x	y
P6M5	16,3	0,3	30	0,3	0,2	0,5

Таблиця 2.9. – Визначення коефіцієнту k_{MV}

k_{MV}	$k_{MV} = k_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{n_v}$
k_{Γ}	1,0
n_v	0,9

Таблиця 2.10. – Визначення коефіцієнту k_V

k_{MV}	0,94
$k_{ПV}$	1,0
$k_{ИV}$	1,0
k_V	0,94

$$V := \frac{16.3 \cdot 8^{0.3} \cdot 0.94}{30^{0.3} \cdot 1.7^{0.2} \cdot 0.5^{0.5}}$$

$$V = 13.108$$

Тому швидкість різання: $V = 13,11$ м/хв.

Для даної швидкості різання визначаємо частоту обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000V}{\pi D}; \quad (2.15)$$

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 13.11}{\pi \cdot 35} = 119 \text{ об/хв};$$

Визначимо крутний момент:

$$M_{KP} = 10C_M D^q t^x s^y K_P; \quad (2.16)$$

де: $C_M = 0,196$; $q = 0,85$; $x = 0,8$; $y = 0,7$; [2] (табл.32, ст.281); $K_P = 1$; [2].

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,196 \cdot 8^{0,85} \cdot 1,7^{0,8} \cdot 0,5^{0,7} \cdot 1 = 10,8 \text{ Нм.}$$

Визначимо потужність різання:

$$N_e = \frac{M_{KP} \cdot n}{9750} = \frac{10,8 \cdot 119}{9750} = 0.15 \text{ кВт.} \quad (2.17)$$

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1. Розробка структурно-кінематичної схеми верстата

Виділяють такі основні рухи в токарному верстаті:

1. Головний рух різання-обертання заготовки: $\Phi_V(O_1)$;
2. Рух повздовжньої подачі: $\Phi_{S1}(II_2)$;
3. Рух поперечної подачі: $\Phi_{S2}(II_3)$.

Після модернізації основними рухами в токарному верстаті будуть:

1. Головний рух різання-поєднання обертання заготовки з обертанням інструменту: $\Phi_V(O_1O_4)$;
2. Рух повздовжньої подачі: $\Phi_S(II_2)$;
3. Установочний рух на величину ексцентриситету: $V_{cm}(II_3)$.

Допоміжні рухи наступні: поворот різцетримача, поворот під повний кут супорту, затиск-розтиск заготовки установлення і зняття інструменту тощо.

Рухи керування наступні: перемикання муфти і рукояток коробки швидкостей та подач, включення і виключення верстата.

Структурна схема верстата повинна забезпечувати усі рухи, що необхідні для здійснення формоутворення.

Структурно-кінематична схема верстата моделі 1И611П наведена на рисунку 3.1.

1) $\Phi_V(O_1)$:

Зовнішній кінематичний зв'язок (ЗКЗ) – $M - 1 - i_v - 2 - 3$;

Внутрішній кінематичний зв'язок (ВКЗ) - Шпindelь-опори;

Умова угодження рухів (УП): $n_{ze} \rightarrow n_{un}$;

Рівняння кінематичного балансу (РКБ) наступне: $n_{ze} \cdot i_v = n_{un}$.

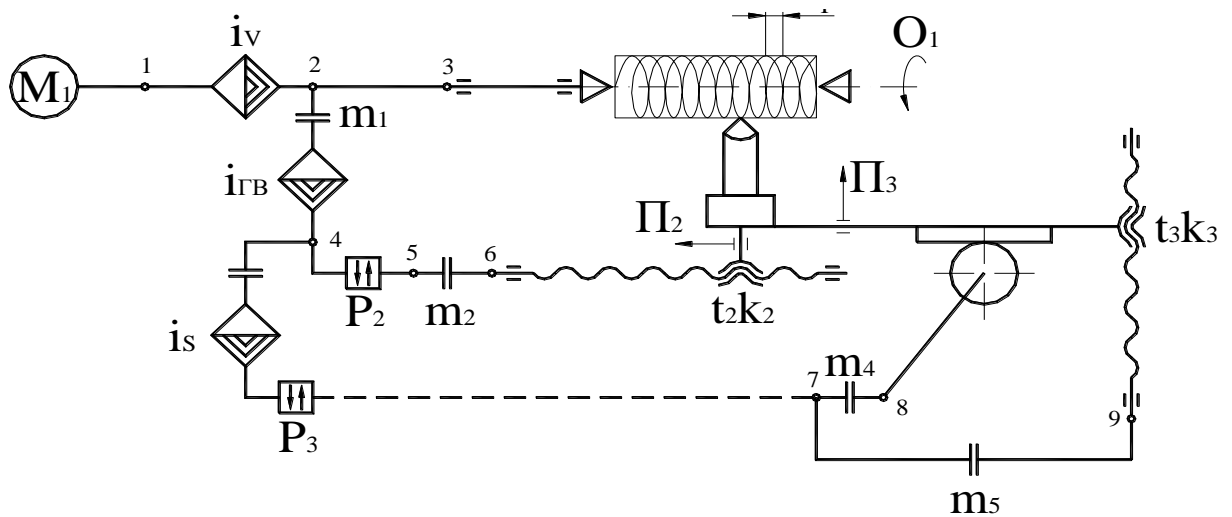


Рисунок 3.1 Структурно-кінематична схема верстата моделі 1ИБ11П

2) $\Phi_S(\Pi_2)$:

$$\text{ВКЗ } 3-2-m_1-i_{2в}-4-m_3-i_s-P_3-7-m_4;$$

$$\text{УП } 1_{об.заг} \rightarrow S_{мм}/об;$$

$$\text{РКБ } 1_{об.заг} \cdot i_{2в} \cdot i_s \cdot \pi m z = S_{мм}/об;$$

3) $\Phi_S(\Pi_3)$:

$$\text{ВКЗ } 3-2-m_1-i_{2в}-4-m_3-i_s-P_3-7-m_5-9;$$

$$\text{УП } 1_{об.шт} \rightarrow S_{мон} мм/об;$$

$$\text{РКБ } 1_{об.шт} \cdot i_{2в} \cdot i_s \cdot t_3 k_3 = S_{мм}/об .$$

4) Різценарізний ланцюг:

$$\text{ВКЗ } 3-2-m_1-i_{2в}-P_2-5-m_2-6;$$

$$\text{УП } 1_{об.заг} \rightarrow S_{мм}/об;$$

$$\text{РКБ } 1_{об.шт} \cdot i_{2в} \cdot t_2 k_2 = T .$$

5) $\Phi_V(O_4)$:

$$\text{ВКЗ } 10-i_{віінс} -11;$$

$$\text{УП } n_{шт.заг.} \rightarrow n_{шт.інст.};$$

$$\text{РКБ } n_{шт.заг.} \cdot i_{віінс} = n_{шт.інст.} .$$

Структурно-кінематична схема верстата тепер буде такого вигляду (рис.

3.2).

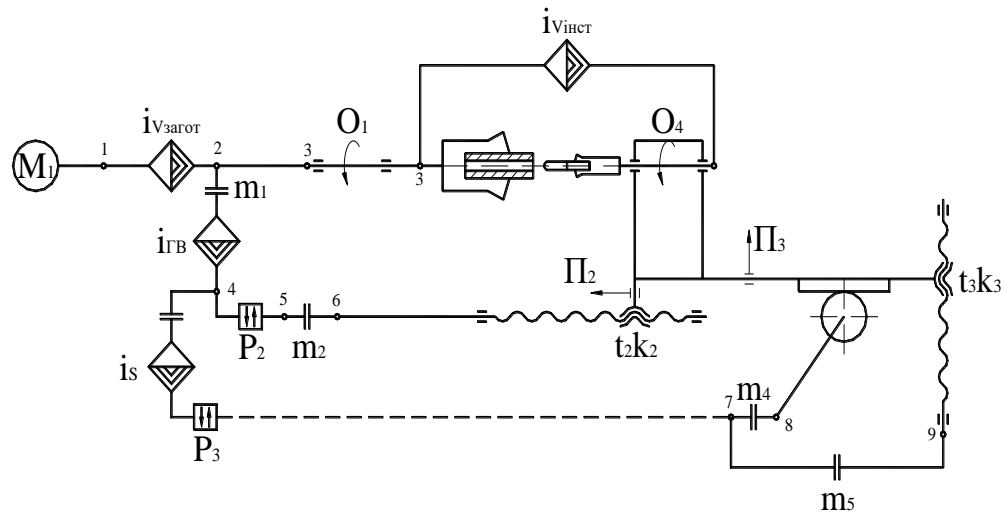


Рисунок 3.2 Структурно-кінематична схема верстата з пристосуванням

3.2. Розробка загальної кінематичної схеми верстата

Згідно наведеної вище структурно-кінематичної схеми розроблено кінематичну схему верстата. Дана схема відрізняється від кінематичної схеми верстата мод. *1И611П* тим, що в ній реалізовано кінематичний ланцюг, що дозволяє здійснювати на верстаті обробку полігональних поверхонь.

Зважаючи на те, що конструкція та принцип роботи даного верстата широко розкритий в літературі, немає необхідності детально спинятись на принципі роботи верстата та порядку передачі руху виконавчим органам через кінематичні ланцюги. Принцип роботи верстата зрозумілий з рис. 3.3, на якому наведена кінематична схема.

3.2.1. Аналіз та вибір компоувальної схеми верстата.

Вихідні умови для вибору компоновки:

1. Оброблювальні деталі – вали циліндричної (подовженої) форми з невеликим діапазоном зміни розмірів діаметрів і розмірів по довжині;
2. Обробка: обточування зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхонь, свердління і розточування неглибоких отворів;
3. Верстат підвищеної точності без силових режимів різання.

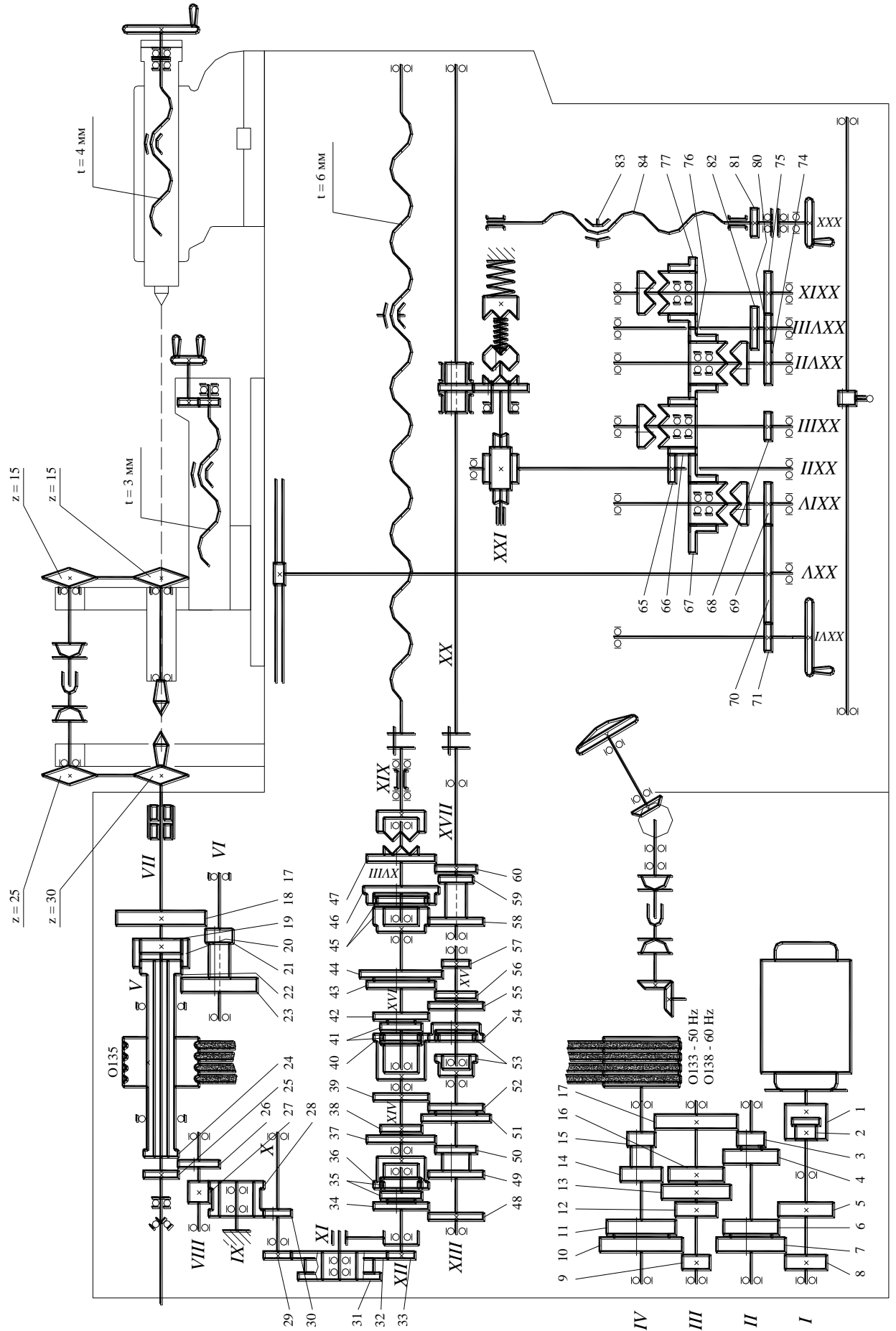


Рисунок 3.3 Кінематична схема верстата

Координатні компоновки попередньо відбираємо математичним способом. Відповідно вихідних даних для відбору компоновок можуть бути використані умови множини: $M1.1, M1.2, M3.6, M4.4$ [1].

Структурні умови при відборі компоновок заносимо в таблицю 3.1.

Проведемо аналіз матриці H можливих компоновок верстатів:

Матриця H можливих компоновок верстатів з горизонтальним шпинделем має такий вигляд:

$$H = \begin{bmatrix} YXZO & YXOZ & YOXZ & OYXZ \\ YZXO & YZOX & YOZX & OYZX \\ ZYXO & ZYOX & ZOYX & OZYX \\ XYZO & XYOZ & XOYZ & OXYZ \\ XZYO & XZOY & XOZY & OXZY \\ ZXYO & ZXOY & ZOXY & OZXY \end{bmatrix}.$$

Таблиця 3.1. - Структурні умови для відбору компоновок

Умова для відбору компоновок	Формулювання структурних ознак	Позначення та формула множин
Виключення впливу маси заготовок при підйомі і опусканні	Заготовка вертикального переміщення немає	$M1.1 = \bar{1}\bar{1}01 + \bar{1}00\bar{0} + 00\bar{0}\bar{0}$
Виключення впливу маси заготовок при підйомі і опусканні	Стіл нерухомий чи рухомий тільки в одному горизонтальному напрямку	$M1.2 = \bar{1}00\bar{0} + 00\bar{0}\bar{0}$
Підвищення стійкості мас за їх розташуванням в компоновці	Чим більший хід має блок, тим ближче він повинен бути розташований до стаціонарного блока 1) при $Z > X > Y$	$M3.6 = YXZO + Y\bar{Y}O\bar{Y} + \bar{Y}O\bar{Y}Y + OZXY$
Можливість використання верстата в автоматичній лінії	Стіл нерухомий	$M4.4 = 00\bar{0}\bar{0}$

Компоновки, які задовольняють першій структурній ознаці:

$$\begin{array}{l}
 M1.1 = \frac{\emptyset \quad \bar{1}\bar{1}01 \quad \bar{1}0\bar{0}\bar{0} \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0}}{\emptyset \quad XZ0Y \quad ZOYX \quad OYXZ} \\
 H = \frac{\emptyset \quad ZX0Y \quad XOYZ \quad OYZX}{\emptyset \quad \emptyset \quad XOZY \quad OZYX} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad ZOXY \quad OXYZ}{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OXZY} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OZXY}{}
 \end{array}$$

Компоновки, що задовольняють другій структурній ознаці:

$$\begin{array}{l}
 M1.1 = \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \bar{1}0\bar{0}\bar{0} \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0}}{\emptyset \quad \emptyset \quad ZOYX \quad OYXZ} \\
 H = \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad XOYZ \quad OYZX}{\emptyset \quad \emptyset \quad XOZY \quad OZYX} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad ZOXY \quad OXYZ}{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OXZY} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OZXY}{}
 \end{array}$$

Компоновки, що задовільняють третій структурній ознаці:

$$\begin{array}{l}
 M3.4 = \frac{YXZO \quad Y\bar{Y}O\bar{Y} \quad \bar{Y}O\bar{Y}Y \quad OZXY}{YXZO \quad YZOX \quad ZOXY \quad OZXY} \\
 H = \frac{\emptyset \quad YXOZ \quad ZOZY \quad \emptyset}{}
 \end{array}$$

Компоновки, що задовільняють четвертій структурній ознаці:

$$\begin{array}{l}
 M4.4 = \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0}}{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OYXZ} \\
 H = \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OYZX}{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OZYX} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OXYZ}{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OXZY} \\
 \frac{\emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OZXY}{}
 \end{array}$$

Математичний метод для відбору здійснений згідно методики, викладеної в [4]:

$$\begin{array}{l}
 M1.1 \quad \emptyset \quad \bar{1}\bar{1}01 \quad \bar{1}0\bar{0}\bar{0} \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\
 M1.2 \quad \emptyset \quad \emptyset \quad \bar{1}0\bar{0}\bar{0} \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\
 M3.6 \quad YXZO \quad Y\bar{Y}O\bar{Y} \quad \bar{Y}O\bar{Y}Y \quad OZXY \\
 M4.4 \quad \emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad \bar{0}\bar{0}\bar{0}\bar{0} \\
 H \quad \emptyset \quad \emptyset \quad \emptyset \quad OZXY
 \end{array}$$

В результаті порозрядного логічного множення узагальнених формул (перетин множин) визначимо координатну компоновку верстата з горизонтальним шпинделем [4]

$$K_1 = C_h OZXY .$$

Структурна формула базової компоновки верстата мод. 1И611П має такий вигляд : $K = C_h(OZX + w)$, а її графічне зображення наведене на рисунку 3.4.

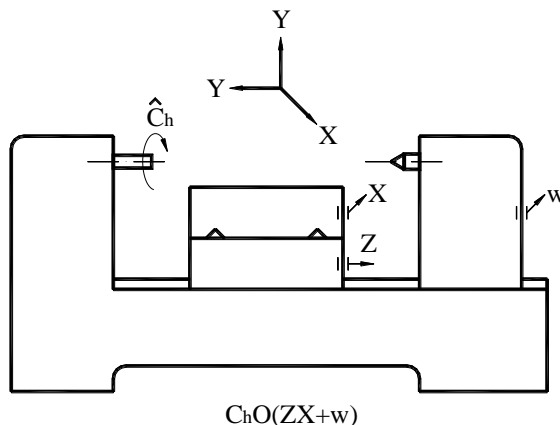


Рисунок 3.4 Базова компоновка верстата

3.3. Кінематичний розрахунок приводу

3.3.1. Розрахунок діапазону регулювання.

Максимальна і мінімальна швидкість різання:

$$V_{\min} = 12,02 \text{ м/хв}, D_{\min} = 6 \text{ мм.} \quad (3.1)$$

$$V_{\max} = 22,71 \text{ м/хв}, D_{\max} = 50 \text{ мм.} \quad (3.2)$$

Для даних швидкостей різання визначимо частоти обертання шпинделя:

$$n_{\min} = \frac{1000 \cdot 12,02}{\pi \cdot 50} = 77 \text{ об/хв}; \quad (3.3)$$

$$n_{\max} = \frac{1000 \cdot 22,71}{\pi \cdot 6} = 1205 \text{ об/хв}; \quad (3.4)$$

Діапазон регулювання буде наступний:

$$D = \frac{n_{\max}}{n_{\min}} = 15,6. \quad (3.5)$$

3.3.2. Розробка структурної формули приводу верстата.

Для верстата 1И611 згідно [4] призначимо знаменник ряду чисел обертів $\varphi = 1,26$.

Число ступенів регулювання складає:

$$Z = \frac{\lg 15,6}{\lg \varphi 1,26} + 1 = 16; \quad (3.6)$$

За відомим значенням числа Z ступенів шпинделя складаємо структурну формулу.

Для побудови структурних варіантів використовуємо 2 правила:

1. Число структурних варіантів P дорівнює числу перестановок із кількості елементарних двох валових передач n , що входять в коробку швидкостей, тобто $P=n!$

В даному випадку: $Z=2*2*4=16$ – ця структура забезпечує оптимальні (мінімальні) розміри коробки швидкостей, а також $n=3$, $P=4$.

2. Для побудови структурних варіантів будемо всі елементарні передачі розбивати на групи: I, II, III, тощо.

В даному випадку $P = 4$ - 4 варіанти і вони відповідають різним випадкам, коли групи I, II, III послідовно застосовуються для елементарних двовалових передач:

$$Z = 2_{(1)} \cdot 2_{(2)} \cdot 4_{(4)};$$

$$\left. \begin{array}{l} I, II, III = 2_{(1)} \cdot 2_{(2)} \cdot 4_{(4)} \\ II, I, III = 2_{(2)} \cdot 2_{(1)} \cdot 4_{(4)} \\ III, I, II = 4_{(4)} \cdot 2_{(1)} \cdot 2_{(2)} \\ III, II, I = 4_{(4)} \cdot 2_{(2)} \cdot 2_{(1)} \end{array} \right\} \text{Варіанти структурних сіток}$$

Згідно другого правила можна записати, що промені групи I в структурній сітці розраховуються на величину φ , а промені в групі II на φ в степені числа променів першої передачі Z , промені групи III розходяться на φ в степені числа променів в другій передачі.

3.3.3. Побудова структурної сітки і графіка чисел обертів.

Для побудови структурної сітки креслимо ряд горизонтальних паралельних прямих із інтервалом $\lg \varphi$, що дорівнює кількості рівних числу ступеней Z швидкості обертання шпинделя і ряд вертикальних ліній на будь-якій відстані.

Для кожної групи передач відводяться поля між двома суцільними вертикалями. На лівій вертикалі ставимо відмітку (0), симетрично розміщено відносно горизонталей. З точки (0) проводимо таку кількість променів, скільки передач має група з відстанню між променями, що рівна характеристиці групи.

Кращим варіантом для коробки швидкостей верстата є варіант з віероподібним графіком, що на рис. 3.5. В коробках швидкостей, переважно, відбувається зменшення чисел обертів від ведучого валу до веденого. При використанні цього варіанту в ділянках високих чисел обертів працює значна кількість шестерень. Високошвидкісні шестерні мають великі габарити, тому що за даної потужності вони передають менші кутні моменти. Тому віероподібний варіант має ближчий вигляд до коробки швидкостей. При проектуванні коробки швидкостей потрібно пам'ятати: на останньому валу знаходиться якомога менше шестерень.

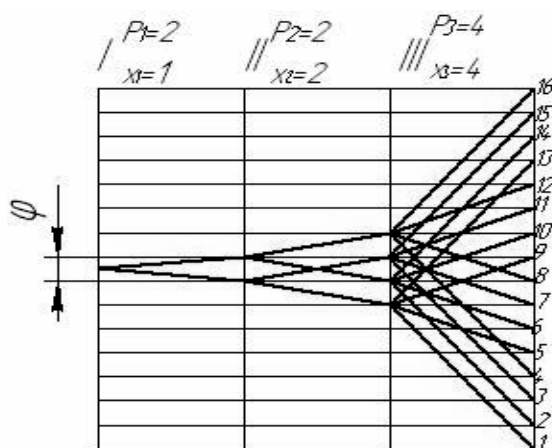


Рисунок 3.5 Структурна сітка для коробки швидкостей $Z=2*2*4$

Конкретні значення величин передатних відношень усіх передач приводу і чисел обертів усіх його валів будемо визначати методом побудови графіка чисел обертів.

Тому будемо графік чисел обертів.

Графік чисел обертів будується відповідно до кінематичної схеми приводу; кожному валу приводу відповідає вертикальна пряма на графіку. На горизонтальних прямих з однаковими інтервалами отримаємо числа обертів, які відповідають даному валу. Наявність передачі, що включена при визначених числах обертів ведучого і веденого валів, виражається на графіку променем, що

з'єднає відмітки аналогічних обертів на лініях валів. Передатне відношення передачі виражається у такому вигляді: φ^m , де m – число інтервалів між горизонтальними прямими перекритих променем.

Якщо число обертів наноситься в порядку зростання, тобто знизу вверх, то для прискорювальної передачі, коли $m > 0$ і промінь направлений знизу вверх, при спаданні $m < 0$ і промінь напрямлений зверху вниз. Якщо число обертів є незмінним, тоді ($i=1$), то $m=0$ і промінь проходить горизонтально.

Відповідно з кінематичною схемою нашого приводу наносимо 5 вертикальних ліній (рис. 3.6) (п'ятий вал наносимо із врахуванням передачі від мотора до валу I).

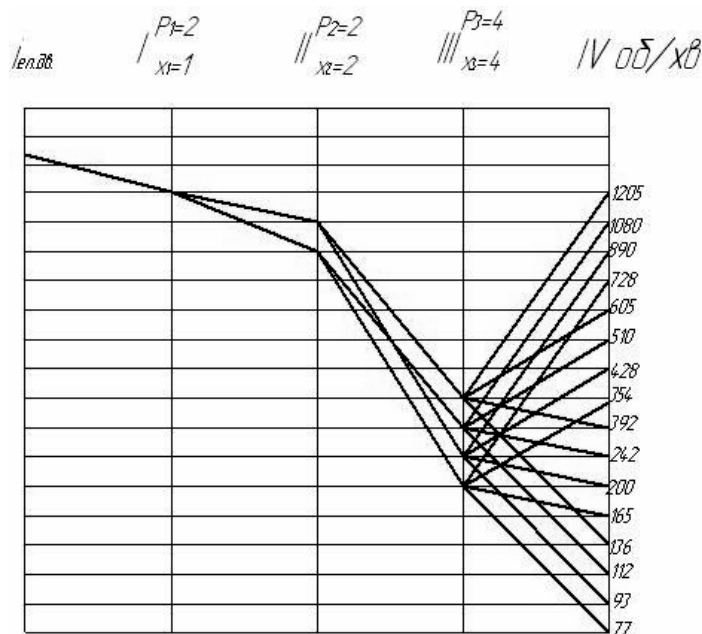


Рисунок 3.6 Графік чисел обертів

Зважаючи на значення граничних передаточних відношень, будемо ланцюг передач для зменшення числа обертів від $n_{\max} = 1205$ об/хв до $n_{\min} = 77$ об/хв. Перший промінь проводимо від валу двигуна з $n_{\text{дв}} = 1430$ об/хв до валу I з $n = 1205$ об/хв.

$$i = \frac{1430}{1205} > 1/4$$

Другий промінь проводимо від валу I до валу II з передаточним відношенням $i = 1/\varphi^3$.

$$\frac{1}{4} < \frac{1}{\varphi^3} < \varphi^3$$

Третій промінь проводимо від валу II з передатним відношенням $i = 1/\varphi^4$:

$$\frac{1}{4} < \frac{1}{\varphi^4} < \varphi^9$$

При побудові потрібно дотримуватись умови: початок кожного наступного променя виходить із місця закінчення попереднього.

Четвертий промінь проводимо від валу III до валу IV з передатним відношенням $i = 1/\varphi^4$: $\frac{1}{4} < \frac{1}{\varphi^4} < 2$

Далі керуючись побудованою нами сіткою будуємо наступні промені. Як головний привід вибираємо двигун серії A₀ з номінальним числом обертів 1430.

Визначимо допустимі проценти відхилення чисел обертів шпинделя:

$$\varphi = 1,26.$$

$$A = 10(\varphi - 1)\% = 10(1,26 - 1)\% = 2,6. \quad (3.7)$$

Розрахункове відхилення обертів шпинделя є більшим допустимого відхилення, тому передача обертів від двигуна до валу I відбувається із використанням клинопасової передачі з передатним числом: $i = \frac{1205}{1430} = \frac{1}{1,26}$.

Згідно умови задачі, використовуючи графік чисел обертів, отримаємо передатні відношення всіх передач:

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{\varphi^{0.5}} = \frac{1}{1.26^{0.5}} = \frac{1}{1.12}; \\
 U_1' &= \frac{1}{\varphi^{1.6}} = \frac{1}{1.26^{1.6}} = \frac{1}{1.447}; \\
 U_2 &= \frac{1}{\varphi^{0.9}} = \frac{1}{1.26^{0.9}} = \frac{1}{1.231}; \\
 U_2' &= \frac{1}{\varphi^3} = \frac{1}{1.26^3} = \frac{1}{2}; \\
 U_3 &= \frac{1}{\varphi^5} = \frac{1}{1.26^5} = \frac{1}{3.176}; \\
 U_3' &= \frac{1}{\varphi^{1.6}} = \frac{1}{1.26^{1.6}} = \frac{1}{1.447}; \\
 U_3'' &= \frac{1}{\varphi^{-2}} = \frac{1}{1.26^{-2}} = \frac{1}{0.63}; \\
 U_3''' &= \frac{1}{\varphi^{-3}} = \frac{1}{1.26^{-3}} = \frac{1}{2}.
 \end{aligned}$$

Визначимо числа зубів коліс.

Керуючись конкретними значеннями передатних відношень для кожної незалежної групи можна визначити числа зубів окремих пар зубчастих коліс, що входять в неї. Виходячи з даної умови, можна записати [6]:

$$\begin{aligned}
 z_1 + z_2 &= \sum z_i \\
 U_1 &= \frac{z_1}{z_2}
 \end{aligned} \tag{3.8}$$

Тому приймаємо $z_{\min}=31$.

Знайдемо кількість зубів другого колеса:

$$z_2 = z_1 \cdot U_1 = 31 \cdot 1.12 = 35;$$

$$\sum z_i = 35 + 31 = 66;$$

$$z_3 = \frac{\sum z_i \cdot U_1'}{1 + 1.12} = \frac{66 \cdot 1.447}{1 + 1.447} = 39;$$

$$z_4 = \sum z_i - z_3 = 66 - 39 = 27;$$

II група

Приймаємо: $z_{\min}=36$.

$$z_6 = z_{\min} \cdot U_2 = 36 \cdot 1.231 = 44;$$

$$\sum z_i = 36 + 44 = 80;$$

$$z_7 = \frac{\sum z_i \cdot U_2'}{1 + 1.231} = \frac{80 \cdot 2}{1 + 2} = 53;$$

$$z_8 = \sum z_i - z_7 = 80 - 53 = 27;$$

III група

Приймаємо: $z_{\min}=19$.

$$z_{10} = z_{\min} \cdot U_3 = 19 \cdot 3,176 = 61;$$

$$\sum z_i = 19 + 61 = 80;$$

$$z_{11} = \frac{\sum z_i \cdot U'_3}{1 + 1,447} = \frac{80 \cdot 1,447}{1 + 1,447} = 49;$$

$$z_{12} = \sum z_i - z_{11} = 80 - 49 = 31;$$

$$z_{13} = \frac{\sum z_i \cdot U''_3}{1 + 1,447} = \frac{80 \cdot 0,63}{1 + 0,63} = 31;$$

$$z_{14} = \sum z_i - z_{13} = 80 - 31 = 49;$$

$$z_{15} = \frac{\sum z_i \cdot U'_3}{1 + 1,447} = \frac{80 \cdot 2}{1 + 2} = 27;$$

$$z_{16} = \sum z_i - z_{15} = 80 - 27 = 53.$$

На основі виконаних розрахунків побудуємо кінематичну схему коробки передач (рис. 3.5).

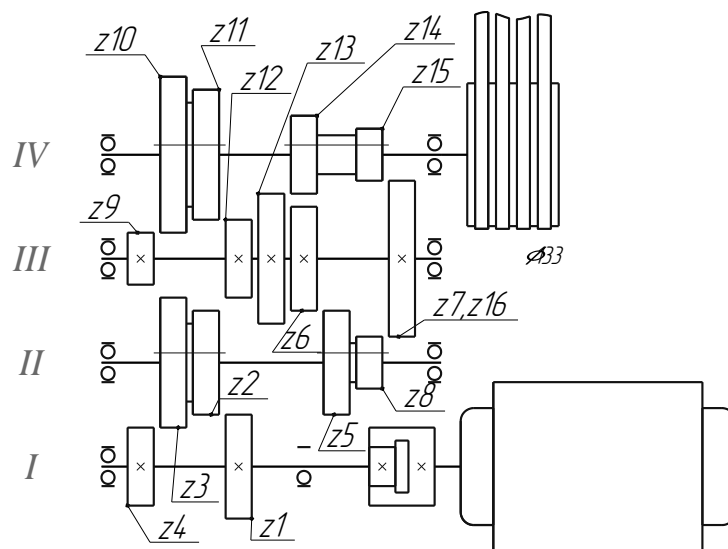


Рисунок 3.7 Кінематична схема розрахункової коробки швидкостей

Знайдемо реальні передатні відношення і порівняємо їх з теоретичними.

Похибка повинна бути не більшою 5%:

$$\varepsilon = \frac{U_n - U'_n}{U'_n} \quad (3.9)$$

Визначимо похибку:

$$U_1 = \frac{31}{35} = \frac{1}{1.125}; \quad \varepsilon = \frac{|1.12 - 1.125|}{1.125} = 0.004 < 0.05;$$

$$U'_1 = \frac{27}{39} = \frac{1}{1.4}; \quad \varepsilon = \frac{|1.4 - 1.447|}{1.447} = 0.032 < 0.05;$$

$$U_2 = \frac{36}{44} = \frac{1}{1.222}; \quad \varepsilon = \frac{|1.22 - 1.231|}{1.231} = 0.007 < 0.05;$$

$$U'_2 = \frac{27}{53} = \frac{1}{1.962}; \quad \varepsilon = \frac{|1.962 - 2|}{1.962} = 0.02 < 0.05;$$

$$U_3 = \frac{19}{61} = \frac{1}{3.2}; \quad \varepsilon = \frac{|3.176 - 3.2|}{3.176} = 0.008 < 0.05;$$

$$U'_3 = \frac{31}{49} = \frac{1}{1.48}; \quad \varepsilon = \frac{|1.447 - 1.48|}{1.447} = 0.023 < 0.05;$$

$$U''_3 = \frac{49}{31} = \frac{1}{0.633}; \quad \varepsilon = \frac{|0.63 - 0.633|}{0.63} = 0.005 < 0.05;$$

$$U'''_3 = \frac{53}{27} = \frac{1}{2.04}; \quad \varepsilon = \frac{|2 - 2.04|}{2} = 0.02 < 0.05;$$

В таблиці 3.2. наведемо реальні передатні відношення коробки.

Таблиця 3.2. – Реальні передаточні відношення

U	I-а група		II-а група		III-я група			
	$U_1 = \frac{1}{1.125}$	$U'_1 = \frac{1}{1.4}$	$U_2 = \frac{1}{1.222}$	$U'_2 = \frac{1}{1.962}$	$U_3 = \frac{1}{3.2}$	$U'_3 = \frac{1}{1.48}$	$U''_3 = \frac{1}{0.633}$	$U'''_3 = \frac{1}{2.04}$
$\frac{z_i}{z_{i+1}}$	$\frac{31}{35}$	$\frac{27}{39}$	$\frac{36}{44}$	$\frac{27}{53}$	$\frac{19}{61}$	$\frac{31}{49}$	$\frac{49}{31}$	$\frac{53}{27}$
$\sum z$	66		80		80			

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОБРОБКИ ПОЛІГОНАЛЬНИХ ПОВЕРХОНЬ

4.1. Опис і обґрунтування обраної конструкції пристрою

Пристрій з обробки полігональних отворів встановлюється на поздовжньому супорті токарно-гвинторізного верстата мод. 1И611П і закріплюється за допомогою Т-подібних тазів.

Шпиндель пристрою встановлюється у двох радіально-упорних шарикопідшипниках, що дозволяє шпинделю сприймати крім радіальних значні осьові навантаження.

В передній частині шпинделя виконано конічний отвір (з конусом Морзе №3), в який встановлюється різальний інструмент або перехідна оправка, наприклад, з цанговим патроном, у якому затискається інструмент. Забезпечення зусилля, що необхідне для надійного закріплення оправки, здійснюється за допомогою спеціального гвинта, який проходить через центральний отвір у тілі шпинделя. Від самовідгвинчування гвинт стопориться пружинною шайбою.

Перехідна оправка є самостійною складальною одиницею і може або входити до складу покупних виробів, або виготовлятися самостійно на ВАТ «Завод Фіолент».

Для підвищення жорсткості шпиндельного вузла створюється попередній натяг підшипників у межах 500...700Н з використанням розрізної гайки із стопорним гвинтом. При загвинчуванні гайка впливає на проміжну втулку а та, у свою чергу, на внутрішнє кільце підшипника задньої опори.

Осьову складову сили різання сприймає підшипник передньої опори. Його зовнішнє кільце дотикається до виступу корпусу пристрою. Зовнішнє кільце підшипника задньої опори дотикається до пружинного розрізного кільця, що встановлене в розточці корпусу.

Підшипникові опори пристрою змащуються консистентною змазкою. Для запобігання витіканню змазки і попадання сторонніх тіл використовуються

безконтактні лабіринтові канавкові ущільнення [6]. Канавки виконуються як на самому шпинделі (для передньої опори), так і на спеціальній шайбі, що напресована на втулку (для задньої опори), також заповнюються консистентною змазкою.

Обертання інструментальний шпиндель пристрою отримує від шпинделя верстата з використанням двох ланцюгових передач, карданного валу, що вільно ковзає в приводній втулці, і спареної шарнірної муфти.

Від карданного валу обертання передається на приводну втулку за допомогою шпонки. Від осевого зсуву муфта фіксується стопорним гвинтом (на кресленні не показаний), для запобігання від самовідгвинчування передбачене пружинне кільце.

Оброблювана заготовка встановлюється в цанговому патроні верстата. Для надійного затиску заготовки застосовується затискна цанга.

4.2. Кінематичний ланцюг для обробки шестигранного отвору в деталі «Вал»

Для приводу пристрою при обробці шестигранного отвору в деталі «Вал» використовується ланцюг головного руху верстата з кінцевою ланкою - шпиндель.

Фрагмент кінематичної схеми модернізованого верстата, що включає в себе кінематичний ланцюг приводу шпинделя верстата і ланцюг, що зв'язує обертання заготовки та інструмента, показаний на рисунку 4.1.

Рівняння кінематичного балансу ланцюга приводу шпинделя верстата:

$$n_{\text{дв1}} \text{ об/хв} \cdot \left\langle \frac{31}{27} \right\rangle \cdot \left\langle \frac{36}{27} \right\rangle \cdot \left\langle \frac{19/61}{49/31} \right\rangle \cdot \frac{D_{133}}{D_{135}} \cdot \eta = n_{\text{шп.верст}} \text{ об/хв}$$

де: $n_{\text{дв1}}$ - частота обертання двигуна, $n_{\text{дв1}} = 1430 \text{ об/хв}$;

$n_{\text{шп.верст}}$ - частота обертання шпинделя верстата, несучого заготовку.

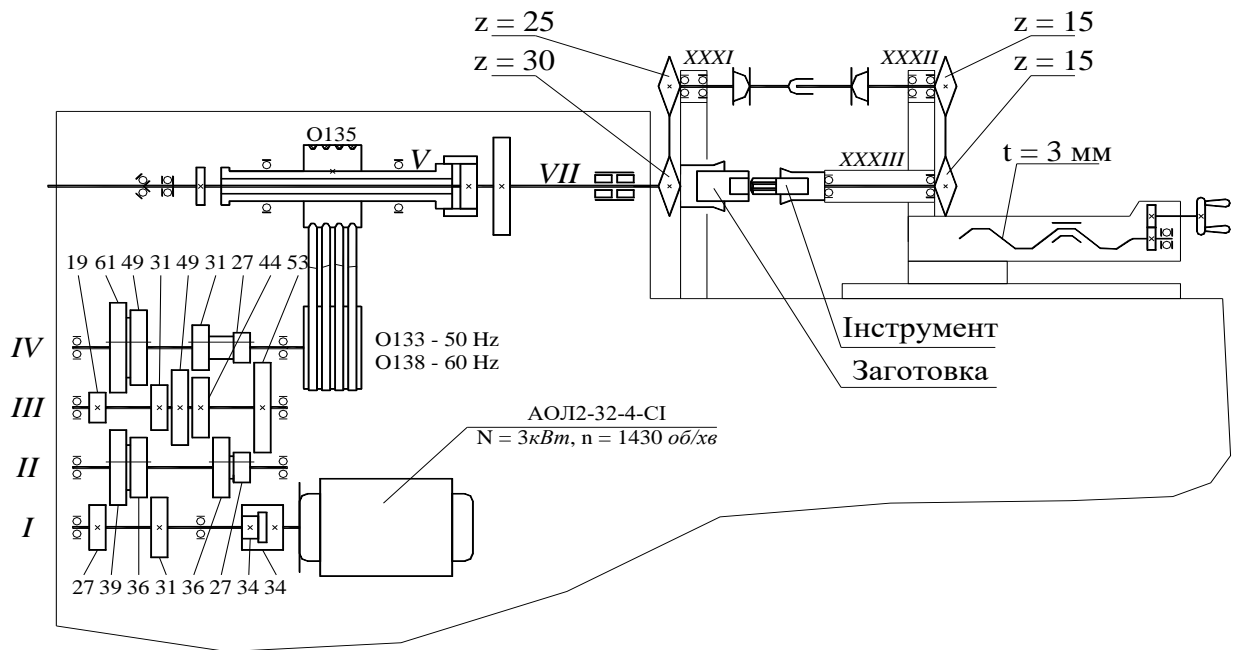


Рисунок 4.1 Фрагмент кінематичної схеми модернізованого верстата

Наведемо рівняння кінематичного балансу пристрою:

$$n_{\text{шп.верст}} \cdot \frac{30}{25} \cdot \frac{15}{15} = n_{\text{шп.інстр}} \text{ об/хв},$$

де: $n_{\text{шп.верст}}$ - частота обертання шпинделя верстата, що містить заготовку;
 $n_{\text{шп.інстр}}$ - частота обертання інструментального шпинделя пристрою,
що містить інструмент, $n_{\text{ИНС}} = 1,2 \cdot n_{\text{шп.}}$.

Вибір кількості зубів коліс ланцюгових передач зроблений з використанням конструктивних вимог для можливості забезпечення мінімальної міжосьової віддалі передач, а тому і габаритів пристрою. Для забезпечення коливального руху при обробці потрібно забезпечити необхідне значення ексцентриситету.

4.3. Попередні розрахунки, які підтверджують працездатність і надійність конструкції пристрою.

4.3.1. Розрахунок сумарного радіального переміщення кінця шпинделя під дією сил різання.

Сумарне радіальне переміщення переднього кінця шпинделя під впливом сил різання визначено згідно [4] за формулою:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{P_{rad}}{3E} \cdot \left[\frac{a}{J_2} + \frac{I(1+\varepsilon)}{J_2} \right] + P_{rad} \left\{ e_1 \left[\frac{a(1-\varepsilon)+I}{I} \right]^2 + e_2 \left(1 - \varepsilon \frac{a^2}{I^2} \right) \right\}$$

де: P_{rad} - максимальне значення радіальної складової сумарної сили різання, при обробленні шестигранного отвору в деталі «Вал» розрахункове максимальне значення $P_{rad} = 667 \text{ МПа}$;

E - модуль пружності, $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$;

a - довжина передньої консолі шпинделя, $a = 32,5 \text{ мм}$;

I - відстань між опорами шпинделя, $I = 205 \text{ мм}$;

J_1 і J_2 - осьові моменти інерції шпинделя відповідно на консолі і між опорами, $J_1 = 868387 \text{ мм}^4$ і $J_2 = 100468 \text{ мм}^4$;

ε - коефіцієнт защемлення в передній опорі, для радіально-упорного шарикопідшипника $\varepsilon = 0,2$;

e_1 і e_2 - піддатливість відповідно передньої і задньої опор, для попередніх розрахунків визначаються по номограмі, приведеної в [6]: $e_1 \approx 8,5 \cdot 10^{-6} \text{ мм/Н}$ і $e_2 \approx 10^{-5} \text{ мм/Н}$.

Відповідно сумарне радіальне переміщення переднього кінця шпинделя буде складати:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{667}{3 \cdot 2 \cdot 10^5} \cdot \left[\frac{32,5}{100468} + \frac{145(1-0,2)}{868387} \right] + 667 \left\{ 8,5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{32,5(1-0,2) + 145}{145} \right]^2 + 10^{-5} \left(1 - 0,2 \frac{32,5^2}{145^2} \right) \right\} \approx 0,024 \text{ мм}$$

Зважаючи на вимогу точності обробки максимальний прогин переднього кінця шпинделя не повинен перевищувати 1/3 поля допуску на граничний розмір:

$$\delta_{\Sigma} \leq \frac{1}{3} \Delta$$

Так як допуск на оброблюваний шестигранний отвір $\Delta = 0,09 \text{ мм}$, тому умова (3.2) виконується:

$$\delta_{\Sigma} \approx 0,024 < \frac{1}{3} \cdot \Delta = \frac{1}{3} \cdot 0,09 = 0,03 \text{ мм}.$$

В попередніх розрахунках не було враховано сумарну податливість системи “шпиндель-патрон-інструмент”, а також вплив попереднього натягу на жорсткість підшипників.

4.3.2. Розрахунок сили затиску інструмента.

Інструмент, що має циліндричний хвостовик, закріплюють в трипелюстковій затискній цанзі з перехідною оправкою.

Мінімальне значення радіальної сили затиску хвостовика інструмента однією губкою цанги визначимо за формулою:

$$T = \frac{2 \cdot M_{рез}}{3 \cdot d_{хв} \cdot f_{Tp}},$$

де: $M_{рез}$ - сумарний момент від сил різання, що діє на інструмент в процесі обробки шестигранного отвору в деталі “Вал”, $M_{рез} = 7200 \text{ Н/мм}$;

$d_{хв}$ - діаметр хвостовика інструмента, $d_{хв} = 8 \text{ мм}$;

f_{Tp} - коефіцієнт тертя між губкою цанги і хвостовиком інструмента, що для пари “загартована сталь - загартована сталь” може бути прийнятий $f_{Tp} = 0,1$. В даному випадку:

$$T = \frac{2 \cdot 7200}{3 \cdot 8 \cdot 0,1} = 6000 \text{ Н}.$$

За малого розведення цанги силами пружності пелюсток можна знехтувати. В цьому випадку осьова сила, що діє на одну пелюстку цанги [2]:

$$S = T \cdot ctg(\alpha + \varphi_{np}),$$

де: α - половина кута зовнішнього конуса цанги, $\alpha = 15^\circ$;

φ_{np} - приведений кут тертя між конусом цанги і шпинделя, його приймають

$$\varphi_{np} = 5^\circ.$$

Тоді:

$$S = 6000 \cdot \operatorname{tg}(15^\circ + 5^\circ) = 2184 \text{ H}.$$

При трьох пелюстках сумарне осьове зусилля, що прикладається до затискної цанги, не повинно бути меншим такого значення:

$$S_{\Sigma} = 3 \cdot S = 3 \cdot 2184 = 6552 \text{ H}$$

4.4. Моделювання радіальної жорсткості інструментального шпинделя пристосування

Радіальну жорсткість інструментального шпинделя (рис. 3.21) будемо визначати за методикою, викладеної в [17].

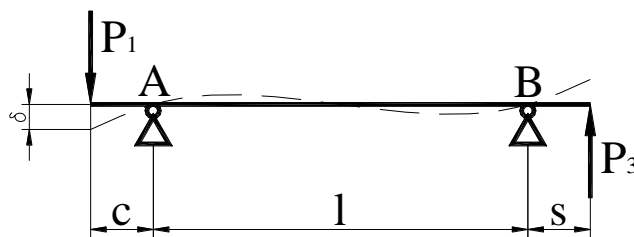


Рисунок 4.2 Схема сил, що діють на шпиндель

Розрахунки будемо проводити в пакеті MathCAD; при цьому вони мають такий вигляд:

Визначаємо реакції в опорах інструментального шпинделя:

$$P_1 := 216.3$$

$$M_{\Sigma 2} := 0.683 \cdot 10^3$$

$$D_e := 66$$

$$P_3 := \frac{M_{\Sigma 2}}{D_e} \quad P_3 = 10.348$$

$$c := 50, \quad l := 207, \quad s := 50$$

$$R_A := P_1 \cdot \frac{(c+l)}{l} + P_3 \cdot \frac{s}{l}, \quad R_A = 271.046$$

$$R_B := P_1 \cdot \frac{c}{l} - P_3 \cdot \frac{(l+s)}{l}, \quad R_B = 39.398$$

Визначаємо радіальну жорсткість підшипника передньої опори інструментального шпинделя:

1. Визначаємо допоміжне відношення: $A_o := 40 \text{ кг}$, $Q_{prA} := 830 \text{ кг}$,

$$\frac{A_o}{Q_{prA}} = 0.048 \text{ ;}$$

2. Згідно графіка знаходимо $K_{AA} := 0.21$;

3. Визначаємо $\frac{R_A}{Q_{prA}} = 0.327 \text{ ;}$

4. Для $K_{AA} := 0.21$ і $\frac{A_o}{Q_{prA}} = 0.048$ знаходимо $K_R := 0.018$;

5. Визначимо величину пружного зближення кілець: $d_{sh} := 6.35 \text{ мм}$,

$$\delta_{r1} := 0.03 \cdot d_{sh} \cdot K_R, \delta_{r1} = 3.429 \times 10^{-3} \text{ мм};$$

6. Визначимо контактну деформацію на поверхнях посадки кілець підшипника: $d := 20 \text{ мм}$, $b := 12 \text{ мм}$, $D := 42 \text{ мм}$,

$$\delta_{r11} := \frac{4 \cdot R_A \cdot 0.015}{\pi \cdot d \cdot b} \cdot \left(1 + \frac{d}{D}\right), \delta_{r11} = 0.032 \text{ мкм};$$

7. Визначимо жорсткість задньої опори, що складає:

$$j_A := \frac{R_A}{\delta_{r1} + \delta_{r11}}, j_A = 7.685 \times 10^3 \text{ кг/мк.}$$

Визначимо радіальну жорсткість підшипника передньої опори інструментального шпинделя:

1. Визначимо допоміжне відношення: $A_o := 40 \text{ кг}$, $Q_{prB} := 571 \text{ кг}$,

$$\frac{A_o}{Q_{prB}} = 0.07 \text{ ;}$$

2. $K_{AB} := 0.18$;

3. $\frac{R_B}{Q_{prB}} = 0.069 \text{ ;}$

4. Для $K_{AB} := 0.18 \cdot \frac{A_0}{Q_{prB}} = 0.07$ знаходимо $K_{RB} := 0.003$;

5. Величина пружного зближення кілець: $d_{sh} := 5.16 \text{ мм}$,

$$\delta_{r1} := 0.03 \cdot d_{sh} \cdot K_{RB}, \delta_{r1} = 4.644 \times 10^{-4} \text{ мм};$$

6. Контактна деформація на поверхнях посадки кілець підшипника:

$$d := 17 \text{ мм}, \quad b := 10 \text{ мм}, \quad D := 35 \text{ мм}, \quad \delta_{r11} := \frac{4 \cdot R_B \cdot 0.015}{\pi \cdot d \cdot b} \cdot \left(1 + \frac{d}{D}\right),$$

$$\delta_{r11} = 6.576 \times 10^{-3} \text{ мкм};$$

7. Жорсткість задньої опори становить:

$$j_B := \frac{R_B}{\delta_{r1} + \delta_{r11}}, \quad j_B = 5.596 \times 10^3 \text{ кг/мк}.$$

Визначимо прогин на кінці інструментального шпинделя:

$$E := 2.1 \cdot 10^5, \quad D_n := 18.5, \quad I := \frac{\pi \cdot D_n^4}{64}.$$

$$Y := -P_1 \cdot \left[\frac{(c+l)^2}{j_A \cdot l^2} + \frac{c^2}{j_B \cdot l^2} + \frac{c^2 \cdot (c+l)}{3 \cdot E \cdot I} \right] + P_3 \cdot \left[\frac{s \cdot (1+c)}{j_A \cdot l^2} + \frac{c \cdot (1+c)}{j_B \cdot l^2} - \frac{1 \cdot c \cdot s}{6 \cdot E \cdot I} \right]$$

$$Y = 0.024 \text{ мкм}.$$

4.5. Моделювання осьової жорсткості інструментального шпиндельного пристосування.

Схема шпиндельного вузла пристосування наведена на рис. 4.3.



Рисунок 4.3 Схема інструментального шпинделя

Осьові навантаження сприймає передня опора (рис. 4.4), що складається з одного радіально-упорного шарикопідшипника, типу 36104.

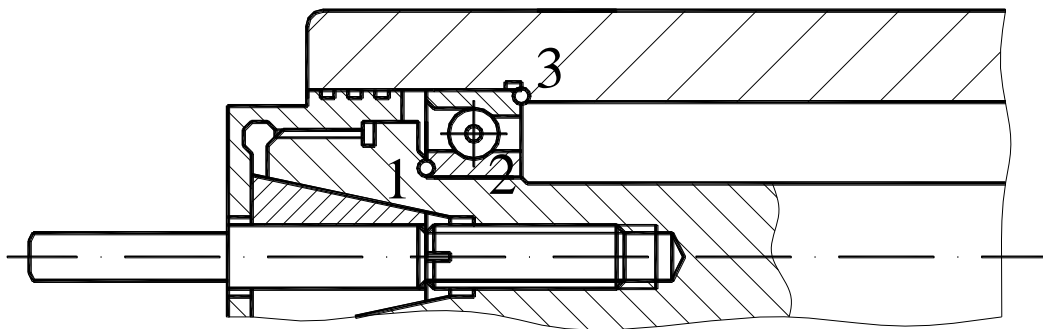


Рисунок 4.4 Конструктивна схема задньої опори

Даній конструктивній схемі відповідає розрахункова схема (рис. 4.5).

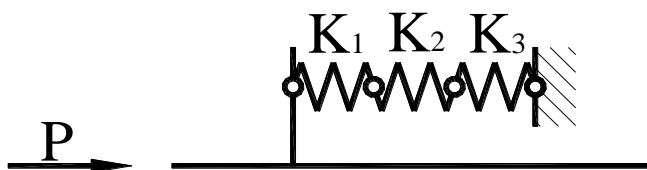


Рис. 4.5. Розрахункова схема

де: $K_1 \dots K_3$ - контактні жорсткості стиків;

K_1, K_3 - плоских стиків;

K_2 - осьова жорсткість радіально-упорного підшипника.

Потрібно спростити розрахункову схему за правилом розрахунку жорсткості послідовно з'єднаних елементів.

Контактні податливості плоских стиків визначаються:

$$e_{\text{л}} = \frac{C\sigma}{2\sqrt{P_0 F}}$$

де: $C\sigma = 1.9 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \cdot \text{Н}^{-\frac{1}{2}}$ для пар «сталь-сталь» і «сталь-чавун»,

$C\sigma = 1.6 \cdot 10^{-9} \text{ м}^2 \cdot \text{Н}^{-\frac{1}{2}}$ для пари «чавун-чавун»; $P_0 = 611.861 \text{ Н}$ – осьове навантаження на стик;

F – площа стику,

$$F_1 = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Жорсткості плоских стиків визначаються: $j = \frac{1}{e}$.

Жорсткість упорного підшипника типу 8100 визначимо згідно методики, викладеної в [8].

Вихідні умови: $d=45$ мм; попередній натяг $A_o=40$ кг.

Визначаємо відношення $\frac{A_o}{d} = 2 \text{ кг/мм}$.

З графіка, що на рис.73 [8] знаходимо: $j_a = 15 \text{ кг/мкм}$.

Всі необхідні розрахунки виконуємо в пакеті MathCAD:

$$i := 1..2, \quad D_i := \begin{array}{|c|} \hline 0.026 \\ \hline 0.042 \\ \hline \end{array}, \quad d_i := \begin{array}{|c|} \hline 0.020 \\ \hline 0.039 \\ \hline \end{array}, \quad C_{\sigma_i} := \begin{array}{|c|} \hline 1.9 \cdot 10^{-9} \\ \hline 1.9 \cdot 10^{-9} \\ \hline \end{array}, \quad P_o := 611.861$$

$$F_i := \frac{\left[\pi \cdot \left[(D_i)^2 - (d_i)^2 \right] \right]}{4}, \quad F_i = \begin{array}{|c|} \hline 2.168 \cdot 10^{-4} \\ \hline 1.909 \cdot 10^{-4} \\ \hline \end{array}$$

$$e_i := \frac{C_{\sigma_i}}{2 \cdot \sqrt{P_o \cdot F_i}}, \quad e_i = \begin{array}{|c|} \hline 2.609 \cdot 10^{-9} \\ \hline 2.78 \cdot 10^{-9} \\ \hline \end{array}$$

$$j_i := \frac{1}{e_i \cdot 10^6}, \quad j_i = \begin{array}{|c|} \hline 383.356 \\ \hline 359.709 \\ \hline \end{array}, \quad j_3 := 150$$

$$K_{12} := \frac{j_1 \cdot j_2}{j_1 + j_2}, \quad K_{12} = 185.578$$

Приведена жорсткість задньої опори складає:

$$K_{13} := \frac{K_{12} \cdot j_3}{K_{12} + j_3}, \quad K_{13} = 82.952$$

Осьове зміщення шпинделя за даного навантаження:

$$\Delta := \frac{P_o}{K_{13}}, \quad \Delta = 7.376$$

4.6. Опис конструкції та принцип роботи задньої бабки

Корпус бабки (див. лист) встановлюється на станині верстата і кріпиться до направляючих станини за допомогою планки 21 гвинтами 17 та 23, один з яких з'єднаний з ексцентриковим механізмом 12 з головкою затискною електромеханічною 48. В корпусі 2 знаходиться піноль 3 з центром 1. Піноль переміщується парою гвинт-гайка 4-6. Нерухомий в осьовому напрямку гвинт 4 зв'язаний з головкою затискною електромеханічною. Положення пінолі фіксується за допомогою повороту рукоятки 5, яка пов'язана із гвинтом. При затиску по гвинту переміщуються дві втулки з відкосами, що контактують із зовнішньою поверхнею.

РОЗДІЛ 5

ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА

Токарно-гвинторізний верстат використовується для обробки циліндричних заготовок, переважно з прокату. Клас точності верстата “П” за ГОСТ 8-82. При проектуванні верстата беремо за основу модель 1И611.

Запозичені складові частини (складальні одиниці), а також основні покупні і комплектуючі вироби та матеріали, що забезпечують працездатність верстата, відповідають розробленому верстату за технічними характеристиками, гарантійними термінами, режимами роботи і умовами експлуатації. Річна програма випуску становить 20000 шт.

Розрахунок показників рівня та якості проектного виробу.

В умовах швидкого технічного прогресу якість засобів виробництва залишається одним з важливих факторів зростання суспільного виробництва. Спостерігають нерозривний зв'язок між науково-технічним прогресом та підвищенням якості продукції.

За кількістю характеризованих властивостей продукції показники якості можна поділити на одиничні і комплексні. Серед показників якості, що характеризують об'єкт експлуатації, виділяють такі основні групи експлуатаційних показників: показники призначення, ергономіки, надійності, екологічні, естетики та патентно-правові.

Показники призначення характеризують ступінь відповідності машини її цільовому призначенню, конструктивне виконання і основні розміри, стійкість до зовнішніх, зокрема механічних, теплових, кліматичних та інших впливів:

$$k_1^{\sigma} = 0,79 \qquad k_1^{\text{пр}} = 1,0$$

До показників надійності відносять довговічність, безвідмовність, ремонтпридатність та збережуваність.

Безвідмовність – властивість машини виконувати певні функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу. Показниками безвідмовності є: ймовірність безвідмовної роботи, середнє напрацювання до першої відмови, інтенсивність відмов та гарантійне обслуговування.

$$k_2^{\text{б}} = 1,1 \quad k_2^{\text{пр}} = 1,2$$

Довговічність машини характеризує терміни її роботи із врахуванням фізичного і морального зношування до моменту першого капітального ремонту, модернізації чи списання. Розрізняють такі показники довговічності: ресурси, середній термін служби, термін служби до першого капітального ремонту, міжремонтний термін служби, термін служби до списання, ресурс до першого капітального ремонту.

$$k_3^{\text{б}} = 1,0 \quad k_3^{\text{пр}} = 1,0$$

Ремонтопридатність – властивість машини, що виражається її пристосуванням до передбачення, виявлення та усунення відмов і несправностей за технічного обслуговування та ремонту. До показників ремонтпридатності можна віднести: ймовірність відновлення в заданий час, середній час на відновлення, середню питому трудомісткість технічного обслуговування та середню трудомісткість ремонтів.

$$k_4^{\text{б}} = 0,9 \quad k_4^{\text{пр}} = 1,0$$

Ергономічні показники характеризують машину в системі людина - машина і враховують її пристосованість до антропометричних, біохімічних, фізіологічних та інженерно-психологічних особливостей людини, що проявляються у виробничих процесах.

$$k_5^{\text{б}} = 1,1 \quad k_5^{\text{пр}} = 1,3$$

Екологічні показники трактують машину з точки зору ймовірного забруднення навколишнього середовища шкідливими відходами при зберіганні, транспортуванні та експлуатації.

$$k_6^6 = 0,93 \quad k_6^{\text{пр}} = 1,22$$

Результати визначеної оцінки технічного рівня та якості спроектованого верстата по відношенню до кращих світових досягнень позначають таким чином:

«П» - перевищує;

«В» - відповідає;

«Н»- не відповідає.

Комплексний показник якості спроектованого верстата визначають за формулою:

$$P_k = P \cdot \prod_{i=1} K_i \cdot D_i,$$

де: P_k - комплексний показник якості спроектованого верстата;

K_i - відносні показники якості, визначені співставленням числових значень одиничних показників якості спроектованого і замінюваного приладу;

D_i - коефіцієнти вагомості i -го одиничного показника якості, який визначає його відносну значимість.

$$\left(\prod_{i=1} D_i = 1 \right)$$

$$P_k = 1,0 \cdot 0,4 + 1,1 \cdot 0,1 + 1,2 \cdot 0,1 + 1,0 \cdot 1,1 + 1,0 \cdot 0,1 + 1,3 \cdot 0,1 + 1,22 \cdot 0,1 = 1.092$$

При виконанні оцінки рівня якості машини розглядають три варіанти:

- за всіма показниками $P_{ki} > 1,0$;
- за одними показниками $P_{ki} > 1,0$, за іншими - $P_{ki} = 1,0$ і за третіми – $P_{ki} < 1,0$.

В нашому випадку згідно виконаних розрахунків $P_{ki} > 1,0$, тому проектування і впровадження модернізованого верстата є доцільним.

Таблиця 4.1. - Показники технічного рівня і якості

Показники	Одиниця вимірювання	Значення показника				Результати диференційованої оцінки технічного рівня проект. верстага
		Проектованого верстага	Базового верстага	Кращих аналогів		
				Вітчизняного	Зарубіжного	
Призначення:						
продуктивність		1,0	0,79	0,9	1,0	0,4
точність обробки зразків деталей		1,1	1,0	1,0	1,0	0,11
Надійності:						
безвідмовність		1,2	1,1	1,1	1,2	0,12
довговічність		1,0	1,0	1,0	1,1	0,1
ремонтпридатність		1,0	0,9	0,9	1,0	0,1
Ергономічні		1,3	1,0	1,0	1,2	0,13
Екологічні		1,22	0,93	1,0	1,1	0,12

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В кваліфікаційній магістерській роботі виконано аналіз завдання та аналіз конструкторсько-технологічних особливостей деталі. Встановлено, що деталь «Вал» може використовуватись в таких електроінструментах: електродрилях, шуруповертах, перфораторах. Матеріал заготовки: сталь 40Х ГОСТ 4543-71.

Здійснено аналіз деталі на технологічність, який показав, що деталь є технологічною. Проведено класифікацію внутрішніх полігональних поверхонь, визначено їх основні переваги. Зокрема перевагою профільних з'єднань є те, що опір втомі порівняно зі шліцьовими з'єднаннями у 3-5 разів вищий, при цьому маса моменто-передатної ступені може бути зменшена на 20-40% внаслідок зменшення поперечного перерізу. Профільні з'єднання також мають більш високий ККД. З'єднання з трьома гранями мають можливість автоматичного центрування та самогальмування під навантаженням.

В технологічній частині роботи встановлено, що при партії деталей 20000 штук тип виробництва є середньосерійний. Маса деталі складає 0,06 кг. Заготовка виготовлена з прокату, а її маса становить 0,11 кг. Визначено економічний ефект від вибору заготовки, який складає 12200 грн.

В роботі розроблено оптимальний технологічний процес обробки деталі «Вал». У зв'язку із заміною операції 070-075 штучний час зменшився з 4,902 хв. до 0,71 хв.

Здійснено, також, вибір і обґрунтування технологічних баз, вибір різального та контрольно-вимірювального інструменту. Проведені розрахунки режимів різання та нормування технологічного процесу. Також встановлено, що потужність різання становить 0,15 кВт.

Виконавши аналіз формоутворення встановлено способи обробки деталі, зокрема: поздовжнє, поперечне і фасонне точіння, відрізання, точіння конічних поверхонь, зенкерування, свердління, нарізання різей, розточування, розгортання.

В конструкторській частині розроблено структурно-кінематичну схему верстата. Здійснено, також, аналіз компоувальної схеми і розроблено базову компоновку верстата.

Спроектовано конструкцію коробки передач, що містить 16 ступенів регулювання. Мінімальна і максимальна швидкість обертання шпинделя при цьому становить 77 об/хв. та 1205 об/хв.

Визначено розрахункову потужність двигуна приводу, що становить 2,88 кВт, тому у верстатів буде застосовано асинхронний трифазний електродвигун короткозамкнутий серії А0Л2-32-4-СІ, що за ГОСТ 19523-74, із синхронною частотою обертання 1500 об/хв. і потужністю 3кВт.

В кваліфікаційній роботі також розроблено конструкцію пристрою для профільного точіння на верстаті мод.1К62. Визначено зусилля затиску інструменту в трипелюстковій цанзі, що становить 6552 Н. Радіальна жорсткість інструментального шпинделя складає 0,024 мкм.

Усі розробки, виконані в кваліфікаційній роботі, можна використовувати на виробництві, де використовуються подібні верстати і технологічні процеси.

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 багатошпindelного 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 шпindelного 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. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р.
7. 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.

8. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компонок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2010. – с. 40-45.

9. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою: Навчальний посібник для ВНЗ. /Під ред. Ю.М. Кузнєцова. – Кіровоград, 2004. – 449 с.

10. Крижанівський В.А., Кузнєцов Ю.М., Валявський І.А., Скляр Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с.

11. Кузнєцов 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.

12. Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О. Візуалізація формоутворюючих рухів механізмами паралельної структури в верстатах нових компонок // Вісник ТДТУ імені Івана Пулюя, 2008, № 1, – с. 61-70.

13. Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О. Моделювання технологічних рухів в верстатах з паралельною кінематикою при обробці складно-профільних поверхонь // Зб. наукових праць НТУ "ХП" "Сучасні технології в машинобудуванні", вип. 1, 2008. – с. 81-89.

14. Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О. Програмно-математичний апарат керування виконавчим органом багатокоординатних верстатів нових компонок // Автоматика, автоматизація, електричні комплекси і системи. – Херсон. Вид. ХНТУ, №1(21), 2008. – с.162-169.

15. Кузнєцов 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.

16. Кузнєцов Ю.М., Самойленко О.В. Обробка полігональних поверхонь: теорія і практика. Монографія. – К.: ТОВ "ГНОЗІС", 2008. – 193 с.
17. Кузнєцов Ю.М., Самойленко О.В. Полігональні поверхні в машинобудуванні та нові способи їх обробки // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". Машинобудування. – 2001. – № 41. – С. 38...46.
18. Кузнєцов Ю.М., Самойленко О.В., Валід Алі Рамадан. Модернізація багатопшпіндельного токарного автомату мод. 1Б240-6 для виготовлення деталі з шестигранним отвором // Технологічні системи. Наукові розробки і результати досліджень. – 2002. – №2 (13). – С. 81...84.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.