

Міністерство освіти і науки України

Луцький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет транспорту та механічної інженерії

(повне найменування факультету)

Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

(повна найменування кафедри)

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

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ
БАГАТОЦІЛЬОВОГО ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА МОД.
1П756Ф4 ДЛЯ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «КРИШКА»**

спеціальність 131 Прикладна механіка

(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»

(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21

Князєв Михайло Ростиславович

(підпис)

Керівник:

к.т.н., доцент

Редько Ростислав Григорович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу

допущено до захисту

«___» _____ 20__ р.

Гарант освітньої програми:

к.т.н., доцент

Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2023 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

_____ Р.Редько

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Князєв Михайло Ростиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи: *Дослідження та модернізація багатоцільового токарного верстата мод. 1П756Ф4 для обробки деталі «Кришка»*
Керівник роботи: *Редько Ростислав Григорович, к.т.н., доцент, затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» січня 2023 р. № 42/01-02*
2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи: 1.12.2023 р.
3. Вихідні дані до роботи: *Робоче креслення деталі «Кришка», базовий технологічний процес виготовлення деталі, річна програма випуску деталей 4800 шт., відгуки підприємств про роботу обладнання, результати аналізу конструктивних і функціональних особливостей багатоцільового верстата*
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):
Анотація. Зміст. Вступ. 1. Аналіз завдання та визначення напрямку розробки. 2. Оптимізація схем формоутворення на проєктованому верстаті. 3. Оптимізація компоувальної схеми проєктованого верстата. 4. Вибір і обґрунтування вихідних даних на розробку проєкту верстатного обладнання. 5. Проєктування конструкції верстатного обладнання. Висновки. Перелік посилань. Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

1. Кришка – 1 ф.А1; 2. Карта технологічного налагодження на операцію 005 - 1 ф.А1. 3. Аналіз схем формоутворення - 1 ф.А1; 4. Компоновки верстата –1 ф. А1; 5. Кінематична та структурно-кінематична схема верстата – 1ф.А1; 6. Загальний вигляд верстата – 1ф.А1; 7. Привод головного руху верстата – 2 ф. А1; 8. Патрон токарний – 1 ф. А1; 9. Пристосування спеціальне контрольне - 1 ф.А1

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

02.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис)

Князєв М.Р.

(прізвище та ініціали)

Редько Р.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Князєв М.Р. Дослідження та модернізація багатоцільового токарного верстата мод. 1П756Ф4 для обробки деталі «Кришка». Рукопис.

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

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

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є багатоцільовий верстат з ЧПК з горизонтально розміщеним шпиндельним вузлом, а також технологічний процес обробки деталі «кришка». Метою роботи є проведення аналізу конструктивних і функціональних особливостей багатоцільового верстата, опис методів формоутворення поверхонь на верстаті, а також конструювання його основних вузлів та розробка технологічного процесу механічної обробки деталі-представника.

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь і вибір раціональних схем оброблення; проведено аналіз деталі на технологічність та вибрано оптимальну заготовку для виготовлення даної деталі; розроблено оптимальний технологічний процес для деталі «кришка» та проведено вибір металообробного обладнання; проведено розрахунок оптимальних режимів різання, норм часу; розроблено структурно-кінематичну та кінематичну схеми верстату для однієї з операцій; проведено повний кінематичний та силовий розрахунок приводу головного руху верстата.

Ключові слова: технологічне обладнання, верстат, багатоцільовий верстат, заготовка, деталь, режими різання, формоутворюючі рухи.

ABSTRACT

Knyazev M.R. Research and modernization of the multi-purpose lathe mod. 1P756F4 for processing the "Cover" part. Manuscript.

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

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

The object of the research of the qualification work is a multi-purpose CNC machine tool with a horizontally placed spindle unit, as well as the technological process of processing the "lid" part. The purpose of the work is to analyze the structural and functional features of the multipurpose machine, describe the methods of forming surfaces on the machine, as well as design its main components and develop the technological process of mechanical processing of the representative part.

In the qualification work, the analysis of the formation of the treated surfaces and the selection of rational treatment schemes were carried out; the analysis of the part for manufacturability was carried out and the optimal workpiece for the manufacture of this part was selected; the optimal technological process for the "lid" part was developed and the selection of metalworking equipment was carried out; the calculation of optimal cutting modes and time norms was carried out; the structural-kinematic and kinematic diagrams of the machine for one of the operations were developed; a complete kinematic and power calculation of the machine's main motion drive was carried out.

Key words: technological equipment, machine, multi-purpose machine, workpiece, part, cutting modes, forming movements.

ЗМІСТ

	Ст.
ВСТУП.....	8
ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ.....	9
1. АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ.....	10
1.1. Призначення деталі і технічна характеристика об'єкту виробництва.....	10
1.2. Відпрацювання деталі на технологічність	11
1.3. Аналіз робіт в області проектування багатоцільових верстатів для обробки тіл обертання	14
1.4. Аналіз розвитку БЦВ для обробки деталей тіл обертання.....	15
1.5. Мета та завдання досліджень	21
2. ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ.....	22
2.1. Вибір комплексу рухів із забезпечення виробничого циклу на верстаті	22
2.2. Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата	27
3. ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА.....	29
3.1. Обґрунтування модулів верстата.....	29
3.2. Побудова загальної матриці компоновок верстату.....	29
3.3. Обґрунтування і вибір можливих варіантів компоновок	31
4. ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОЕКТУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	34
4.1. Обґрунтування та визначення типу організаційної форми виробництва при використанні проектного верстата.....	34
4.2. Вибір та обґрунтування заготовки деталі-представника.....	37
4.3. Особливості розробки технологічного маршруту обробки деталі.....	39

4.4.	Вибір чорнових та чистових баз	40
4.5.	Розробка технологічного процесу обробки деталі	41
4.6.	Обґрунтування та вибір металообробного обладнання.....	46
4.7.	Призначення припусків та міжопераційних розмірів проектування заготовки	48
4.8.	Вибір ріжучого та вимірювального інструменту	52
4.9.	Визначення кількості обладнання, задіяного в технологічному процесі	56
4.10.	Техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі.....	58
5.	ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	64
5.1.	Розрахунок приводу верстата.....	64
5.2.	Розрахунок шпиндельного вузла	74
5.3.	Опис конструкції і принцип роботи револьверної головки	86
	ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ	88
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	89
	ДОДАТКИ.....	93

ВСТУП

На сьогоднішній день на виробництві особлива увага приділяється вдосконаленню структури верстатів, верстатних комплексів і, в першу чергу, верстатів із числовим програмним керуванням, багатоопераційних верстатів типу «оброблювальний центр», гнучких виробничих модулів, важких верстатів, верстатів високої і особливо високої точності. В світовому машинобудуванні велика увага приділяється також удосконаленню структури автоматизованих і робототехнічних комплексів і ліній, гнучких виробничих систем (ГВС).

Головними компонентами сучасних ГВС є багатоцільові токарні автомати, на яких можна виконувати велику кількість технологічних операцій, невластивих токарним верстатам (поперечне свердління, фрезерування, нарізування різьби і т. ін.).

Саме тому тема «Дослідження та модернізація багатоцільового токарного верстата мод. 1П756Ф4 для обробки деталі «Кришка» є актуальною.

Мета та задачі досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є оцінка стану розвитку багатоцільових верстатів для обробки тіл обертання.

Для досягнення мети треба розв'язати такі задачі:

- провести аналіз конструктивних особливостей БЦВ для обробки тіл обертання;
- провести технологічні розрахунки для деталі типу «Кришка»;
- провести розробку основних виконавчих вузлів запропонованого верстата.

Об'єкт дослідження – багатоцільовий верстат, як складна технічна система.

Методи дослідження. Використовується системний підхід як метод дослідження, що дозволяє в роботі представити об'єкт як єдине ціле.

ПРИЙНЯТІ СКОРОЧЕННЯ

АЗІ – автоматична заміна інструменту;
АСНД - автоматизованих систем наукових досліджень;
БЖД – безпека життєдіяльності;
БП - блок перетворень;
БС - блок сигналізації;
БУ - бібліотека уставок;
БФДП - блок формування діагностичних повідомлень;
БФКК - формування команд керування;
БЦВ – багатоцільовий верстат;
ВГ - вимірювальної головки;
ВП - вимірювальні пристрої;
ГВМ – гнучкий виробничий модуль;
ГДК - граничнодопустима концентрація;
ЕРС – електрорушійна сила;
ЗТД - засіб технічної діагностики;
ІС - ідентифікатор станів;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
ПУР - пристрій ухвалення рішень;
ПЧПК – пристрій числового програмного керування;
САПР – система автоматизованого проектування;
ТЕРС - термоелектрорушійна сила;
ТМ – технологічний модуль;
ТП – технологічний процес;
ТС – технічна система;
УЗК – ультразвукові коливання;
ЦО – цивільна оборона;
ЧПК – числове програмне керування.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАВДАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ РОЗРОБКИ

1.1. Призначення деталі і технічна характеристика об'єкту виробництва

Деталь «кришка» відноситься до класу 71 - тіла обертання типу кілець, дисків, шківів, блоків, втулок, стаканів, валів, штоків і ін. [1]. У цьому класі класифікуються деталі - тіла обертання, які діляться на три діапазони по співвідношенню довжини деталі L до найбільшого діаметра D : $L \leq 0.5 D$; $0.5 D < L < 2 D$; $L > 2 D$.

Деталь - кришка (рис. 1.1) входить у конструкцію редуктора, який забезпечує передачу обертів за допомогою зубчастих коліс з постійним передаточним відношенням. У редукторі кришка є центральною шестернею, по якій відбувається обкат сателітів. Редуктор призначений для зменшення кутової швидкості й збільшення обертаючого моменту на вихідному валу. Деталь, обрана в якості об'єкта для проектування, досить трудомістка у виготовленні, містить різноманітні поверхні й конструктивні елементи: отвори, пази, зуби. До багатьох поверхонь пред'являються високі вимоги по точності і якості.

Ця деталь (рис. 1.1) містить у собі всі елементарні поверхні які мають деталі даної групи (точні центральні отвори, кріпильні отвори розташовані поза віссю деталі, пази, зубчастий вінець, канавки, похилі отвори).

Матеріал деталі – сталь 40Х ГОСТ 1050-88 [2]. Цей матеріал належить до хромистих сталей, що характеризуються високою міцністю, добре обробляються різанням.

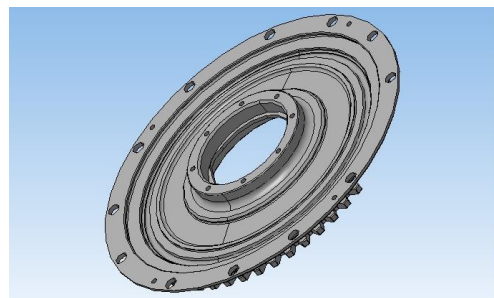
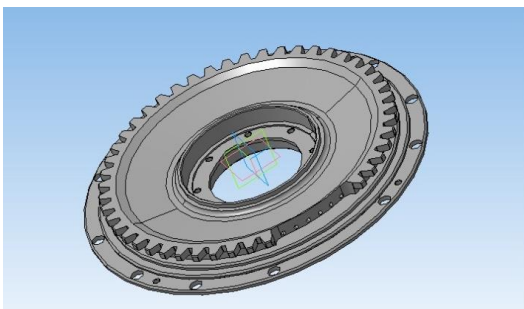


Рисунок 1.1 Загальний вигляд деталі

Механічні та фізичні властивості сталі 40X наведені в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. – Механічні та фізичні властивості сталі 40X ГОСТ 1050-88

Механічні властивості				Фізичні властивості			
межа текучості, σ_T МПа	тимчасовий опір розриву, σ_B МПа	відносне видовження δ , %	ударна в'язкість a_n , Дж/м ²	Твердість, НВ	густина γ , г/см ³	теплопровідність λ , Вт/(м·С°)	коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^6$ 1/С°
786	980	10	6	235—262	7,814	58	11-13

Креслення деталі «кришка» дає повне уявлення про конфігурацію, розміри всіх поверхонь деталі, воно відповідає стандартам, що складають систему ЄСКД. Креслення деталі містить інформацію про основні розміри, вимоги до точності розміщення. Наведених на кресленні видів, розрізів, виносних елементів є достатнім для розуміння конструктивних особливостей деталі. При комп'ютерному проектуванні тривимірної моделі деталі використовувався пакет «Компас-графік». Розміри на кресленні вказані з потрібними допусками, а також наведені допустимі відхилення щодо правильних геометричних форм, вимоги до взаємних розташувань поверхонь. У технічних вимогах на креслення об'єктів надані основні вимоги щодо точності виготовлення деталей, вимоги щодо маркування, матеріалу та маси деталі. На кресленні представлені всі необхідні елементи для проектування технологічного процесу. Вибраний конструктором матеріал відповідає умові роботи деталі, як складової вузла. Є відповідність щодо точності розмірів та параметрів шорсткості.

1.2. Відпрацювання деталі на технологічність

При аналізі деталі на технологічність використовується якісна та кількісна оцінка технологічності конструкції деталі.

Якісна оцінка визначає технологічність конструкції узагальнено згідно досвіду виконавця і є допустимою на усіх стадіях проектування об'єкту як попередня.

Технологічність заготовки визначає можливість її отримання найбільш раціональним для певних виробничих умов способом, тобто з максимальною подібністю її форми і розмірів до форми та розміру отриманої деталі, за умови забезпечення технологічності наступної механічної обробки заготовок [3]. По даному критерію деталь є технологічною.

На основі вивчення робочого креслення деталі та умов її роботи визначаємо: вид заготовки – штамповка; майже всі поверхні деталі оброблюються різанням; поверхні, які призначені для базування – торцеві, зовнішні і внутрішні є циліндричними поверхнями; конструкція деталі містить вільний доступ ріжучого і вимірювального інструмента до оброблювальних поверхонь; можливе проведення безпосереднього контролю розмірів, заданих на кресленні; твердість і жорсткість деталі є достатньою і режими різання при цьому не обмежуються.

Кількісну оцінку технологічності конструкції деталі виражають числовим показником і вона є раціональною в тому випадку, якщо дані показники значно впливають на технологічність розглянутої конструкції ГОСТ 14205-83.

До кількісних характеристик технологічності відносяться [4]:

1) Рівень технологічності за коефіцієнтом використання матеріалу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{G_d}{G_z} \geq 0.75$$

де G_z – маса заготовки, у кг; G_d - маса деталі, у кг.

На існуючому етапі проектування техпроцесу ще не вибраний метод отримання заготовки, тому можна прийняти масу заготовки на 30% більшою ніж масу деталі.

$$K_{\text{вм}} = \frac{G_d}{G_z} = \frac{10.25}{14} = 0.89 \geq 0.75 - \text{деталь технологічна.}$$

2) Рівень технологічності конструкції по точності обробки.

За ступенем уніфікації розмірів згідно креслення показник технологічності визначається за формулою [4]:

$$K_T = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}}$$

де $A_{\text{сер}}$ – середньо арифметичний показник квалітетів на розміри згідно з кресленням;

$$A_{\text{сер}} = \frac{\sum n_i \cdot A_i}{\sum n_i} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 19 \cdot n_{19}}{\sum_1^{19} n_i} = 11,6$$

де n_i – число поверхонь з i -м квалітетом обробки.

$$K_T = 1 - \frac{1}{11,6} = 0,91 > 0,8$$

Оскільки виконується умова $0,91 > 0,8$ то деталь технологічна.

3) Рівень технологічності конструкції по шорсткості обробки [4]:

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

де $B_{\text{сер}}$ – середній арифметичний показник шорсткості на розміри згідно з кресленням:

$$B_{\text{сер}} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1 \cdot n_1 + 2 \cdot n_2 + \dots + 19 \cdot n_{19}}{\sum_1^{19} n_i} = 8,5$$

$$K_T = \frac{1}{8,5} = 0,11 < 0,32 - \text{тому деталь є технологічною.}$$

Згідно аналізу конструкції деталі «кришка» на технологічність за 3-ма вище наведеними показниками видно, що всі 3 одержані коефіцієнти відповідають вказаним у ГОСТ 14.202-73 обмеженням. Тому можна зробити висновок, що ця деталь є технологічною за якісними та кількісними показниками.

1.3. Аналіз робіт в області проектування багатоцільових верстатів для обробки тіл обертання

Багатоцільові верстати (БЦВ) можна представити у вигляді складної технічної системи (ТС). При проведенні проектування складних ТС (верстатів та іншого обладнання) потрібно задовольнити комплексні вимоги, в основі яких лежать процеси різної природи, при аналізі яких можна використати різноманітні підходи.

При пошуку оптимальних рішень конструкції верстата використовують системний підхід до проектування [5, 6, 7], що реалізується в методиці конструювання технічних систем, що відображає множину вимог та способів дій, оснований на наукових знаннях, психології мислення та практичному досвіді, а також теорії систем і ряду інших чинників.

В загальній трудомісткості витрат на розробку нових виробів 80-85% припадає на конструювання і технологічну підготовку виробництва. Тому потрібно проводити раціональне конструювання, що передбачає безперервне поліпшення показників машин та розумне з'єднання уніфікованих вузлів та перспективних рішень.

При виконанні проектування верстата широко використовується системний підхід. Верстат визначають як складний об'єкт, який містить окремі уніфіковані елементи, що взаємодіють між собою певним способом. Ґрунтовні дослідження в цій сфері провели Бушуєв В.В [6], Проніков А.С. [8], Кузнецов Ю.М. [9, 10], та інші вчені.

Системний підхід для проектування по модульному принципу компоновок одно і багатошпindelних токарних автоматів із застосуванням методу морфологічного аналізу і синтезу був запропонований в роботах Ю.М. Кузнецова [9, 10]. Васильєв Г.М. займався автоматизацією проектування металорізальних верстатів.

При проектуванні гнучкого виробничого модуля (ГВМ) використовується комбінаторний файл технологічної системи модуля [12], який включає в себе такі технологічні елементи: верстат, пристосування, інструмент, заготовка.

Синтез структури модуля починається з послідовного аналізу варіантів структур елементів - верстат, пристосування, інструмент. За допомогою морфологічного аналізу виявляється декілька раціональних структур ГВМ із всіх можливих варіантів. Для об'єктивної оцінки вибраного варіанту враховуються реальні умови його роботи, при цьому використовують теорію масового обслуговування.

Важливість аналізу і врахування впливу компоновки на техніко-економічні показники верстата признається в ряді робіт [13, 14], автори яких відмічають вплив компоновки на такі складові якості, як точність, жорсткість, вібростійкість, продуктивність, технологічність і металоємність верстата, що проектується.

Метод, який базується на використанні банку типових структурно-компоновочних рішень пропонується в роботі [15], згідно якого елементи компоновки розміщуються структурованими групами.

В роботах [16-18] розглядаються питання проектування верстатів з використанням агрегатно-модульного принципу. При цьому використовується автоматизований банк даних вузлів верстатів та верстатів з ЧПК. Проведено аналіз використання окремих блоків та вузлів в компоновках верстатів.

1.4. Аналіз розвитку БЦВ для обробки деталей тіл обертання

Розглянемо типові моделі багатоцільових верстатів (БЦВ), що серійно виготовляються та широко використовуються на виробництві.

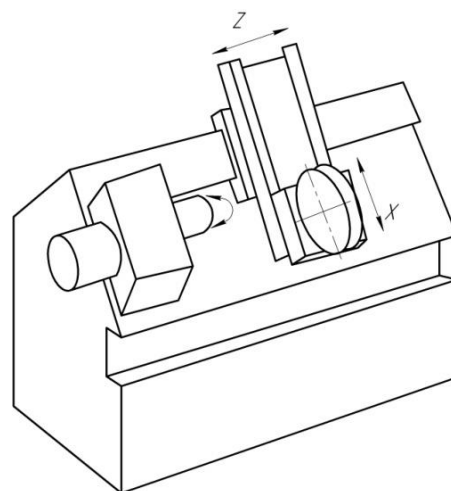
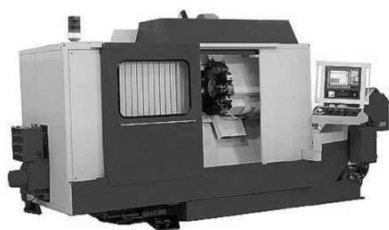
Багатоцільовий токарно-револьверний прутково-патронний напівавтомат моделі 1П756ДФ3. Напівавтомат призначений для токарної обробки по програмі циліндричних, торцевих, ступінчастих, конічних та криволінійних поверхонь деталей, що виготовлені з чорних і кольорових металів і сплавів, а також при свердлінні й розточуванні центральних отворів, нарізання зовнішніх різьб [19]. Розташування дзеркала в напрямних станини на похилій площині забезпечує вільний доступ до оброблюваної деталі. Накладні сталеві загартовані направляючі подовжнього і поперечного переміщень у поєднанні з

опорами кочення та антифрикційні накладками гарантують тривале збереження точності напівавтомата.



Рисунок 1.2 Напівавтомат багатоцільовий токарно-револьверний прутково-патронний 1П756ДФ3

Багатоцільовий токарно-револьверний прутково-патронний напівавтомат моделі 1П420ПФ4. Напівавтомат багатоцільовий токарно-револьверний прутково-патронний 1П420ПФ40. Для обробки штучних заготовок або деталей з каліброваного прутка. Розробник - Ленінградський ОКБ АРС. На верстаті виробляються наступні види токарної обробки: обточування, розточування, підрізка, проточка і розточування канавок, свердління, зенкування, розгортання, фасонне точіння, обробка різьблень мітчики, плашки і різцями.



Загальний вигляд верстата 1П420ПФ40

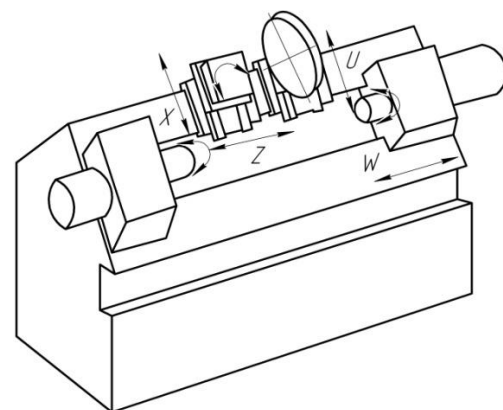
Компоновка верстата 1П420ПФ40

Рисунок 1.3 Напівавтомат прутково-патронний 1П420ПФ40

Багатоцільовий токарний патронно-центровий напівавтомат моделі 1727Ф6. Призначений для токарної обробки деталей (тіл обертання) з виконанням фрезерних, зубообробних, свердлильно-розточувальних операцій. Верстат забезпечує послідовну двосторонню обробку з автоматичною передачею деталі з патрона в патрон двох шпиндельних бабок. Базовий верстат оснащено двома револьверними головками. Багатофункціональність верстата, висока точність (некруглість до 2 мкм) і швидкість обробки дозволяють використовувати його для виготовлення високоточних і складних деталей на підприємствах різних галузей промисловості із застосуванням сучасного інструмента. Похила станина забезпечує вільний схід стружки й зручний доступ до оброблюваної деталі. Верстат може поставлятися у різній комплектації: для прутків, патронних заготовок, з одним або двома супортами, люнетом [20].



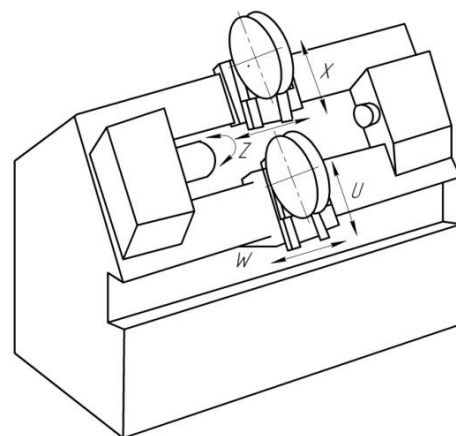
Загальний вигляд верстата 1127Ф6



Компоновка верстата 1172Ф6

Рисунок 1.4 Токарний двохшпиндельний оброблюючий центр моделі 1727Ф6

Напівавтомат токарний патронно-центровий з ЧПК 17А20ПФ40 (РМЦ 1000). Призначений для токарної обробки і нарізання різь на деталях типу тіл обертання в патроні в центрах у автоматичному режимі з контурним формоутворенням. Крім того може використовуватись при обробці нецентрального отворів, що розташовані паралельно чи перпендикулярно осі виробу й фрезерування прямолінійних і криволінійних поверхонь.

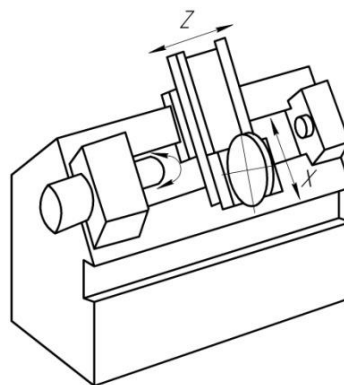


Загальний вигляд верстата 17A20ПФ40

Компоновка верстата 17A20ПФ40

Рисунок 1.5 Напівавтомат токарний патронно-центровий з ЧПК 17A20ПФ40

Верстат токарний напівавтоматичний (патронний) 1П757Ф4. Напівавтомат токарний традиційний призначений для токарної обробки в центрах і патроні деталей з прямолінійним, ступінчастим, криволінійним профілем в умовах дрібносерійного і серійного виробництва. Можна проводити зовнішнє точіння, розточування, свердління центрових отворів, нарізування різі по програмі. Напівавтомат токарний багатоцільовий окрім традиційної токарної обробки дозволяє проводити токарну обробку гладких та різевих отворів, фрезерування радіальних прямолінійних пазів і лисок, торцевих прямолінійних і фасонних пазів. Напівавтомат виготовляється з приводами і пристроями ЧПК різних електротехнічних фірм відповідно до вимог замовника.

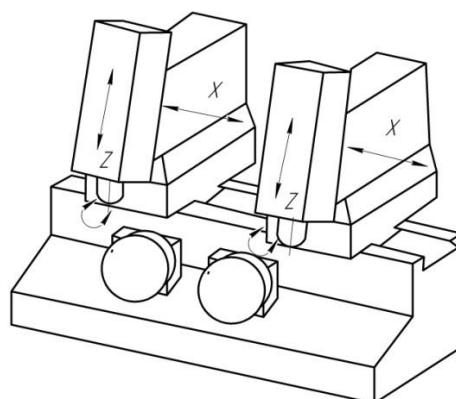


Загальний вигляд верстата 1П757 Ф4

Компоновка верстата 1П757Ф4

Рисунок 1.6 Верстат токарний напівавтоматичний (патронний) 1П757Ф4

Токарно-багатоцільовий верстат МК7130Ф3. Верстат використовують для токарної обробки деталей типу тіл обертання, в патронах в умовах великосерійного і масового виробництва (рис. 2.6).



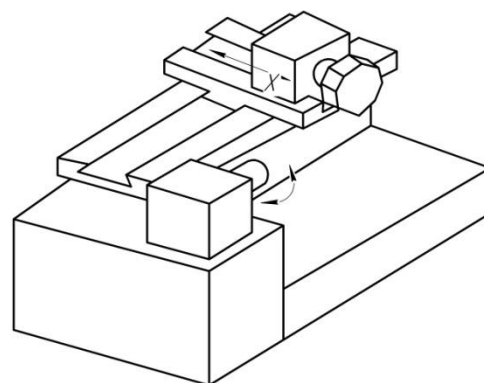
Загальний вигляд верстата МК7130Ф3

Компоновка верстата МК7130Ф3

Рисунок 1.7 Токарно-багатоцільовий верстат МК7130Ф3

Верстат МК7130Ф3 може бути укомплектований різними системами ЧПК і електроприводами вітчизняного і зарубіжного виробництва. Токарно-багатоцільовий верстат оснащується револьверними головками з обертовим інструментом і приводом з полярними координатами шпинделя.

Токарні верстати з ЧПУ серії DL. Вони побудовані з урахуванням сучасних інноваційних технологій, оснащені похилій станиною під кутом 45° і 60° і 2 паралельними осями (рис. 1.8).



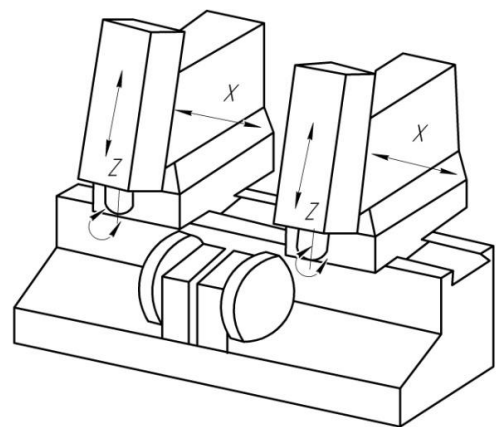
Загальний вигляд верстата DL20

Компоновка верстата DL20

Рисунок 1.8 Верстат моделі DL20

Для управління процесом обробки застосовується система ЧПУ FANUC серії Oi. Замість стандартної системи, на вимогу замовника, верстат може поставлятися з ЧПК Siemens. Приводи електродвигунів змінного струму в поздовжньому і поперечному напрямку мають високі точнісні і моментні характеристики. Оснащений кульковими гвинтами, високоточними низькофрикційними направляючими з полімерним покриттям, що дозволяє здійснювати стабільну обробку з великим зніманням матеріалу і збільшувати швидкість пересування супорта до 30 м/хв на зворотному ході. Верстат має незалежні системи транспорту стружки, подачі МОР і автоматичного змащення перервної дії. Висока жорсткість, продуктивність, невеликий рівень шуму є характерними рисами цього токарного верстата.

Верстат вертикальний токарний двошпindelний з ЧПК моделі 450VT. Верстат призначений для високопродуктивної токарної обробки деталей типу «фланець», «муфта», «втулка», «шестерня» з різних конструкційних матеріалів в умовах серійного виробництва (рис. 1.9).



Загальний вигляд верстата 450VT Компонівка верстата 450VT

Рисунок 1.9 Верстат моделі 450VT

1.5. Мета та завдання досліджень

Метою роботи є оцінка стану розвитку багатоцільових верстатів для обробки тіл обертання.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз конструктивних особливостей БЦВ для обробки тіл обертання;
- провести технологічні розрахунки для деталі типу «Кришка»;
- провести розробку основних виконавчих вузлів запропонованого верстата.

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ СХЕМ ФОРМОУТВОРЕННЯ НА ПРОЕКТОВАНОМУ ВЕРСТАТІ

2.1. Вибір комплексу рухів із забезпечення виробничого циклу на верстаті

Поверхні оброблюваних деталей можна розглядати як неперервна кількість послідовних положень (слідів) відтворюючої лінії, що рухається так званої твірної по другій відтворюючій лінії, що називається напрямною. Узгоджені відносні рухи заготовки та інструменту, які неперервно утворюють відтворюючі лінії називаються формоутворюючими і позначаються Φ . При обробці поверхонь різанням, залежно від виду різального інструменту використовуються чотири методи утворення відтворюючих ліній: копіювання, огинання, сліду і дотику [21].

Метод копіювання заснований на тому, що різальна кромка інструменту по формі співпадає з відтворюючою лінією [21]. Для отримання відтворюючої лінії формоутворюючих рухів не потрібно ($\Phi=0$). Інструмент або заготовки отримують установчий рух врізання (V_p).

Метод обкату полягає в тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді огинаючого ряду послідовних положень, що займає ріжуча кромка інструмента при обкатці нею без ковзання утворюваної лінії ($\Phi=1$) [21].

Метод сліду полягає в тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді сліду ріжучої кромки інструмента при відносному русі інструмента і заготовки ($\Phi=1$) [21].

Метод дотику полягає у тому, що форма відтворюючої лінії утворюється у вигляді огинаючої місць дотику багатьох різальних кромки інструмента, що обертається, в результаті відносних рухів осі обертання інструмента і заготовки ($\Phi=2$) [21].

Отже утворення різних поверхонь зводиться до установки таких формоутворюючих рухів заготовки і інструменту, які утворюють твірні і напрямні лінії.

Тому проведемо аналіз які формоутворюючі рухи необхідно забезпечити, щоб здійснити обробку деталі «кришка».

Група операцій виконується на токарному верстаті.

Розточування проводиться розточним різцем, заготовці надається обертовий рух O_1 , а інструменту поступальний рух Π_2 . На рис. 2.1 показано схему формоутворення при розточуванні.

1. Твірна – коло - за Методом сліду $\Phi_1, \Phi_v(O_1)$.

2. Напрямна – пряма - за Методом сліду $\Phi=1, \Phi_s = (\Pi_2)$.

Сумарний рух $\Phi_s = 2, \Phi_v(O_1), \Phi_s(\Pi_2)$.

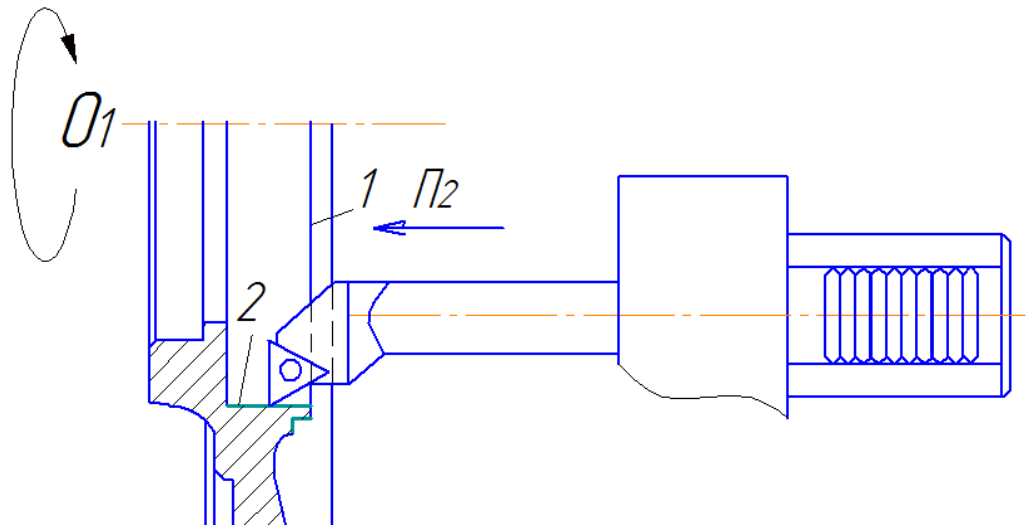


Рисунок 2.1 Формоутворення при розточуванні отвору

Точіння канавки (рис. 2.2). Розглянемо формоутворюючі рухи які при цьому необхідно забезпечити. Умовою є обертальний рух заготовки та поступальний рух інструменту.

1. Твірна – коло - за Методом копіювання $\Phi=0, (\text{Уст } \Pi_2)$.

2. Напрямна – пряма - за Методом сліду $\Phi=1, \Phi_v = (O_1)$.

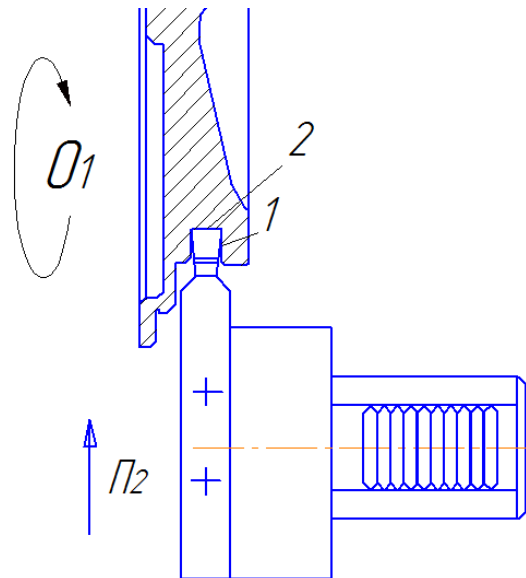


Рисунок 2.2 Формоутворення при точінні канавки

Підрізання торця (рис. 2.3). Розглянемо формоутворюючі рухи які при цьому необхідно забезпечити. Умовою є обертальний рух заготовки та поступальний рух інструменту.

1. Твірна – коло - за Методом сліду $\Phi=1$: $\Phi_v=(O_1)$.
 2. Напрямна – пряма - за Методом сліду $\Phi=1$, $\Phi_s = (\Pi_2)$.
- Сумарний рух $\Phi = 2$, $\Phi_v(O_1)$, $\Phi_s(\Pi_2)$.

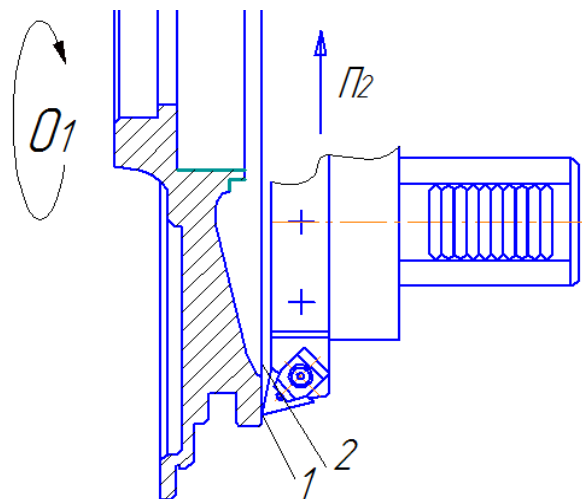


Рисунок 2.3 Формоутворення при підрізанні торця

Центрування (рис. 2.4). Інструменту надають обертальний рух O_1 і поступальний Π_2 . Заготовка нерухома.

1. Твірна лінія – коло Метод копіювання $\Phi_v = 0$.
2. Напрямна лінія – пряма за Методом сліду $\Phi = 1$, $V_r(\Pi_2)$.

Сумарний рух: $\Phi_{\Sigma} = 1, \Phi_v(O_1\Pi_2)$.

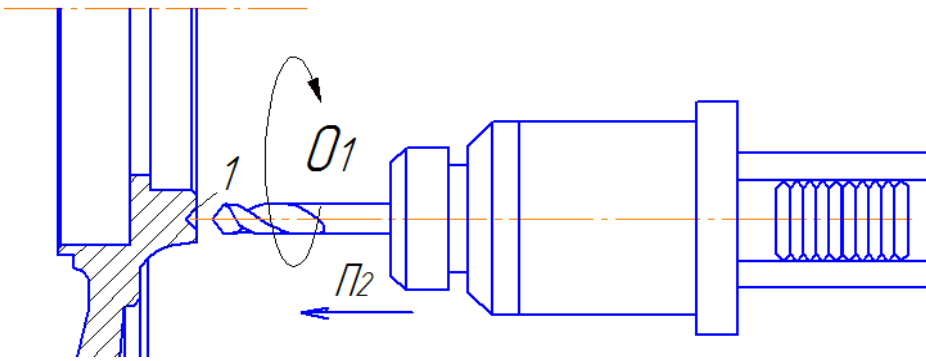


Рисунок 2.4 Формоутворення при центруванні отвору

Обробка отворів кінцевим інструментом (рис. 2.5) - свердлами.

При цьому інструменту надають обертального руху O_1 і поступальний Π_2 .

При цьому заготовка є нерухомою.

1. Твірна – коло - за Методом сліду $\Phi_1, \Phi_v(O_1)$.

2. Направляюча - відтворююча лінія – за Методом сліду $\Phi=1, \Phi_3 = (\Pi_2)$.

Сумарний рух: $\Phi_{\Sigma} = 2, \Phi_v(O_1), \Phi_s(\Pi_2)$.

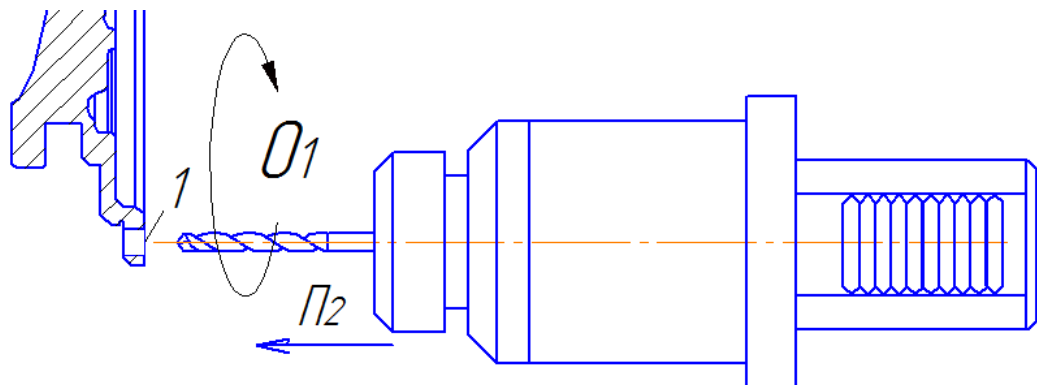


Рисунок 2.5 Схема формоутворення при обробці кінцевим інструментом

Нарізання різи (рис. 2.6). Обертання надається інструменту O_1 а також поступальний рух Π_3 .

1. Твірна лінія – профіль різи - Метод копіювання $\Phi=0$.

2. Направляюча лінія – гвинтова лінія - Метод сліду $\Phi=1, \Phi_v(O_1\Pi_3)$.

Сумарний рух $\Phi_{\Sigma} = 1, \Phi_v(O_1\Pi_3)$. Рух врізання $V_p(\Pi_5)$

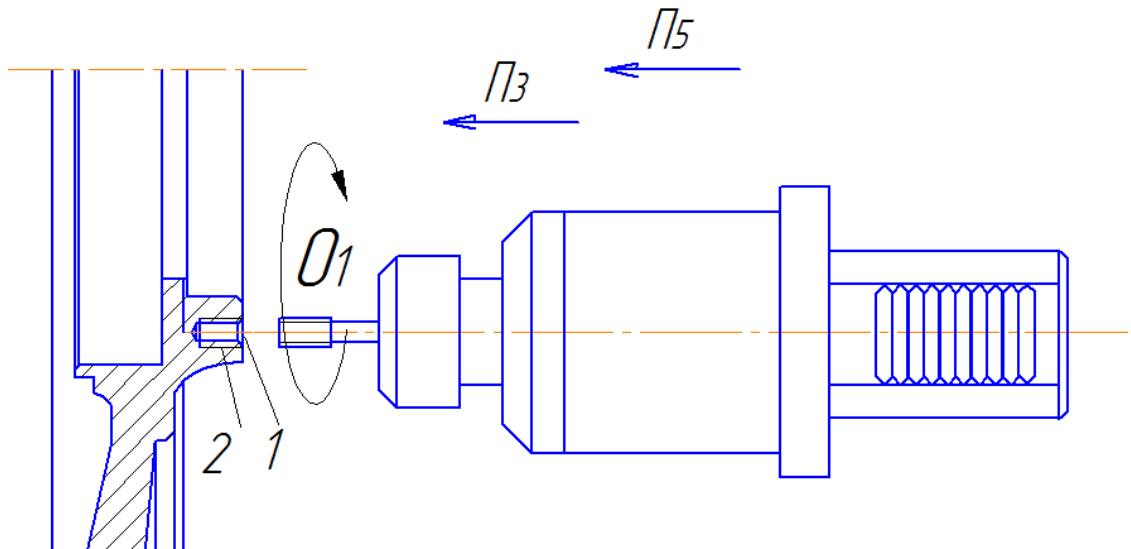


Рисунок 2.6 Схема формоутворення при нарізанні різі мітчиками

При фрезеруванні пазу (рис. 2.7) необхідно забезпечити обертовий рух фрези $\Phi_v(O_1)$ та установчий рух $Уст(П_3)$ та рухи координатних переміщень $\Phi_s(П_2)$.

1. Твірна – коло, за Методом сліду $\Phi=1$, $\Phi_v(O_1)$.
 2. Напрямна – пряма - за Методом дотику $\Phi=1$, $\Phi_s = (П_2)$.
- Сумарний рух $\Phi_{\Sigma} = 2$, $\Phi_v(O_1П_2)+Уст(П_3)$.

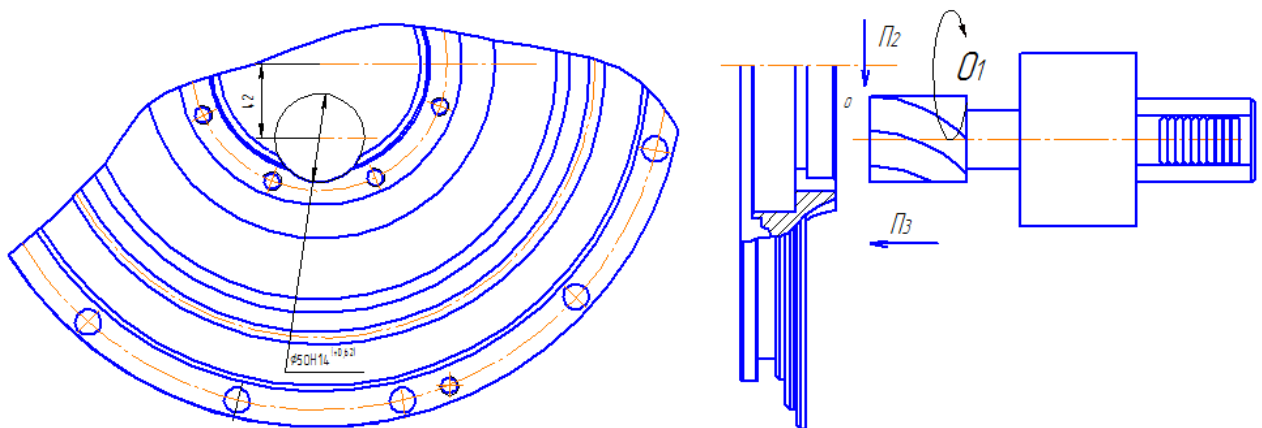


Рисунок 2.7 Обробка пазу фрезею

Розглянувши дані схеми формоутворення можемо зробити такий висновок, що для нашої деталі доцільним є виконання даних операцій на багатоопераційному верстаті та верстатах з ЧПК.

Виходячи з даних схем і потрібних рухів, що показані на них, можемо в подальшому розробляти кінематичну схему верстату.

Для верстатів з ЧПК характерним є одержання всіх рухів від різних джерел енергії - різного виду двигунів, що набагато спрощує кінематичну схему.

2.2. Вибір та обґрунтування структурно-кінематичної схеми верстата

При оформленні кінематичної схеми бажано завжди вибирати прототип, тобто структурно-кінематичну схему верстату аналогічного службового призначення, технологічні характеристики якого близькі до розроблюваних.

Типовими операціями для даного верстату є: точіння, розсвердлювання, свердління і різенарізання.

Для здійснення цих операцій потрібно забезпечити головний обертовий рух шпиндель і рухи подач. На рис. 2.8.приведено структурно-кінематичну схему проектованого верстату.

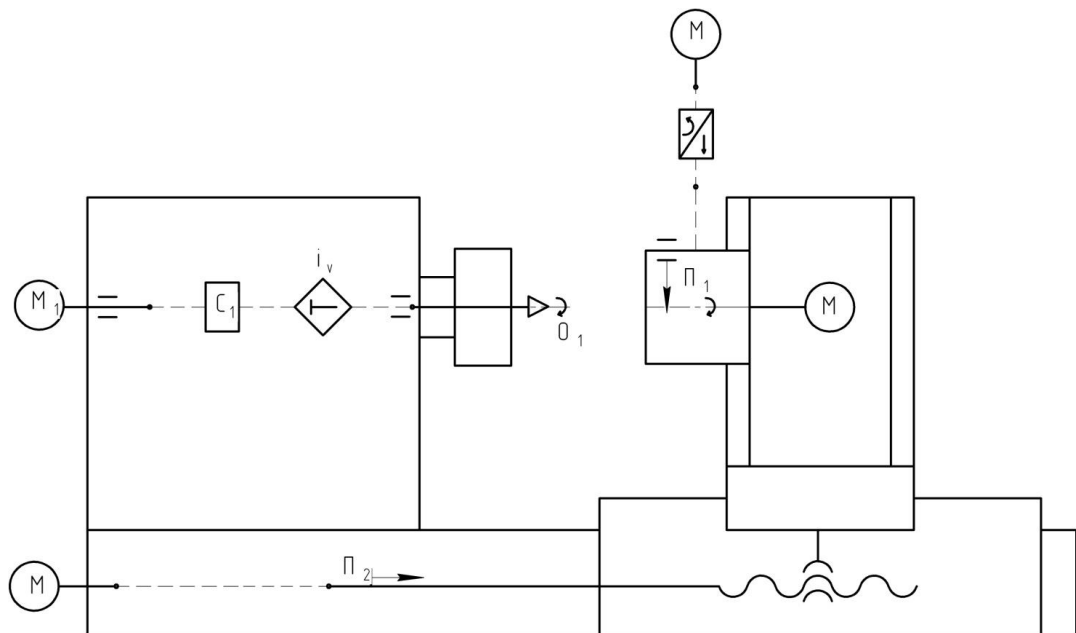


Рисунок 2.8 Структурно-кінематична схема верстата

Структурно-кінематична схема дозволяє нам виявити основні вузли і рухи, що в комплексі забезпечують виконання всіх операцій.

Визначаємо основні контури верстату в виді спереду. Проводимо вісь шпинделя, орієнтовне місце розташування електродвигуна і наносимо всі основні елементи приводу головного руху.

При складанні певної кінематичної схеми крім основних елементів приводів головного руху і рухів подач виникає необхідність введення ряду додаткових кінематичних ланцюгів, які необхідні для забезпечення нормального функціонування верстату.

Вводячи додаткові механізми необхідно слідкувати за забезпечення основних кінематичних характеристик приводу головного руху і руху подач.

Для перевірки правильності їх функціонування використовують рівняння кінематичних балансів.

При остаточному оформленні структурно-кінематичної схеми необхідно дотримуватися умовних позначень по ГОСТ 2.770-68.

РОЗДІЛ 3

ОПТИМІЗАЦІЯ КОМПОНУВАЛЬНОЇ СХЕМИ ПРОЕКТОВАНОГО ВЕРСТАТА

3.1. Обґрунтування модулів верстата

Про схему компоновки можна говорити провівши аналіз можливих компоновок рухів при обробці деталей, а для цього необхідно скласти технологічні модулі.

Технологічний модуль - це найменший склад блоків компоновки необхідних для виготовлення деталі або операції по формоутворенню деталі, тобто включає стаціонарний блок і ряд рухомих блоків, в число яких входять тільки блоки, що виконують формоутворюючі рухи [22].

Для відпрацювання певної характеристики - коефіцієнту використання структури компоновки - потрібно ввести поняття модульного комплекту (МК), що буде враховувати установчі блоки. МК - це найменша кількість блоків для виконання операцій оброблення на універсальному верстаті, куди входять блоки формоутворюючих рухів і доповнюють їх за іншими координатами установчі блоки.

Залежно від всіх даних видів обробки (ТМ) та (МК) рівні між собою і однакові.

$$TM = MK \quad (3.1)$$

Тому:

$$TM = \{OChZX\} \quad (3.2)$$

3.2. Побудова загальної матриці компоновок верстату

Металорізальні верстати найбільш різноманітні із всіх технологічних машин і розрізняють по технологічному призначенні, інструменту, по розмірам, типових різновидах, по системі керування, по системі автоматизації, по компоновках.

Наведемо загальну матрицю можливих компоновок у верстаті:
 $A = \{OChZX\}$

$$\dot{A} = \begin{bmatrix} ZXCO & ZXOC & ZOXC & OZXC \\ XCXO & ZCOX & ZOCX & OZCX \\ CZXO & CZOX & ZOCX & OCXZ \\ XZCO & XZOC & XOZC & OXZC \\ XCZO & XCOZ & XOCZ & OXCZ \\ CXZO & CXOZ & COXZ & OCXZ \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

По призначенню токарні верстати з ЧПК поділяються на патронні токарні автомати та напівавтомати – для обробки порівняно коротких деталей при їх консольному закріпленні в затискному патроні, центрові, оснащені задньою бабкою, для обробки валів в центрах і патронно-центрові.

Досить суттєвою рисою в компоновці верстата є розміщення направляючих супорта: горизонтальне з збереженням зовнішньої подібності з універсальними токарними і револьверними верстатами, вертикальне або нахилене, для яких характерною ознакою є зручність обслуговування, полегшення сходу і вилучення стружки, розміщення ходового гвинта між направляючими, що забезпечує підвищення точності переміщення супорта.

Токарні верстати з ЧПК мають як мінімум дві керованих координати [22]: Z - переміщення каретки вздовж осі шпинделя; X - переміщення поперечних салазок перпендикулярно цій вісі. На поперечних салазках встановлено або різцетримач (при зміні інструмента з магазину), або револьверна поворотна інструментальна головка (РГ), яка може мати два різних положення вісі повороту: співпадаючу по напрямку з віссю Z і перпендикулярну площині ZY.

Таким чином основною тенденцією в створенні токарних верстатів з ЧПК є використання агрегатно-модульного принципу побудови з уніфікованих вузлів. Вузли верстату, такі як: салазки, опорна задня бабка, верхні салаки, привід шпинделя і стружкоприбиральний транспортер можна застосовувати до всіх типів верстатів.

По мірі необхідності поставляються салазки в лівому або правому виконанні, а інструментальні системи - в формі багато різцевої державки або РГ.

3.3. Обґрунтування і вибір можливих варіантів компоновок

Велика кількість можливих варіантів компоновок і необхідна об'єктивність при відборі робить бажаним застосування математизованих методів відбору, для цього необхідно формалізувати, з одної сторони, компоновок, а з другої умов відбору. Умови для попереднього відбору компоновок можуть бути технологічні і конструктивні міркування, основані на умовах експлуатації в загальних вимогах підвищення якості роботи верстату.

Сформулюємо і запишемо у формалізованому вигляді структурні ознаки відбору компоновок [22].

M_1 : Блок обертового руху є кінцевим блоком компоновки.

$$M_1 = C\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}CO\bar{O} + OO\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C \quad (3.4)$$

M_2 : Підвищення стійкості мас.

Чим більше переміщення має блок, тим ближче він розміщений до стаціонарного вузла $Z > X$.

$$M_2 = \bar{Z}\bar{Z}ZO + \bar{Z}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z} \quad (3.5)$$

M_3 : Підвищення жорсткості системи ВПД.

Обертовий рух надається заготовці.

$$M_3 = \bar{O}\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}\bar{O}O\bar{C} + CO\bar{C}\bar{C} + \emptyset \quad (3.6)$$

M_4 : Покращення динамічних характеристик.

Рухомі блоки розділяються між гілками компоновок.

$$M_4 = \emptyset + \bar{O}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{O} + \emptyset \quad (3.7)$$

Визначасмо структурні формули компоновок, що задовольняє всім структурним ознакам з використанням математичного методу відбору компоновок.

$$M_1 = C\bar{O}\bar{O}O + \bar{O}CO\bar{O} + OO\bar{C}\bar{O} + O\bar{O}\bar{O}C$$

$$M_2 = \bar{Z}\bar{Z}ZO + \bar{Z}\bar{O}O\bar{O} + \bar{O}O\bar{O}\bar{Z} + OZ\bar{Z}\bar{Z}$$

$$M_3 = \bar{0}\bar{0}\bar{0}0 + \bar{0}\bar{0}0\bar{c} + c0\bar{c}\bar{c} + \emptyset \quad (3.8)$$

$$M_4 = \emptyset + \bar{0}\bar{0}0\bar{0} + \bar{0}0\bar{0}\bar{0} + \emptyset$$

$$\Sigma M = \emptyset + CZOX + COZX + \emptyset$$

В результаті ми отримуємо набір базових компонок верстата, приклади їх реалізації представлено на рис. 3.1-3.6.

$$ChZO(Xe+W)$$

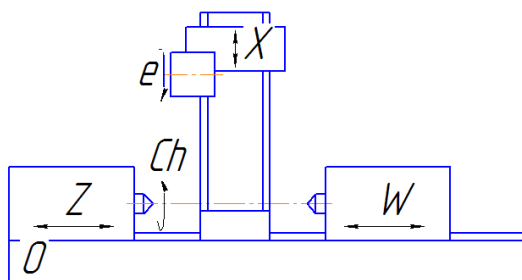


Рисунок 3.1 Компоновка токарного верстату за формулою $ChZO(Xe + W)$

$$ChZOXe$$

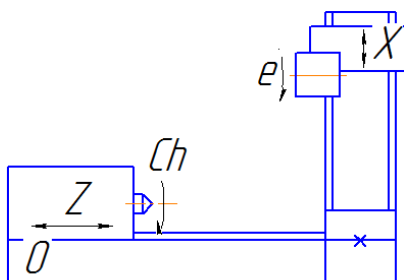


Рисунок 3.2 Компоновка токарного верстату за формулою $ChZOXe$

$$ChXOZe$$

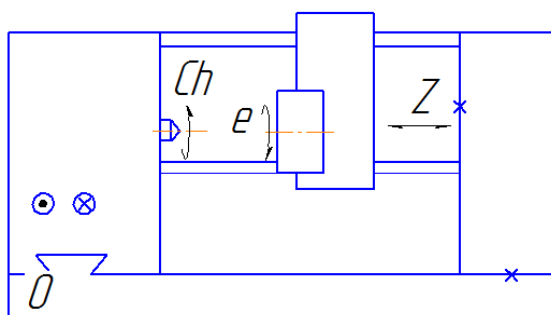


Рисунок 3.3 Компоновка токарного верстату за формулою $ChXOZe$

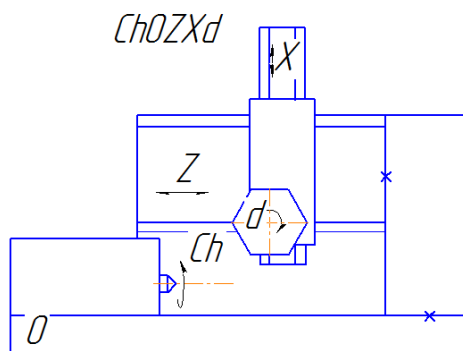


Рисунок 3.4 Компонівка токарного верстату за формулою $ChOZXd$

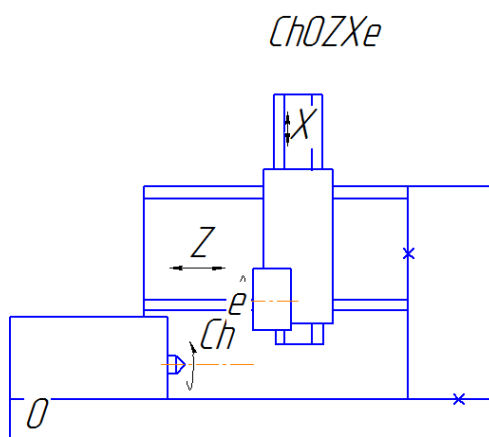


Рисунок 3.5 Компонівка токарного верстату за формулою $ChOZXe$

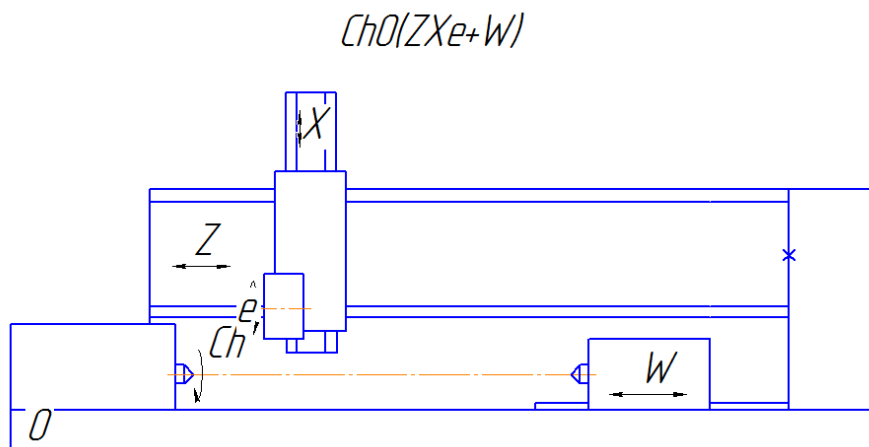


Рисунок 3.6 Компонівка токарного верстату за формулою $ChO(ZXe + W)$

Як базу приймаємо компоівку патронного токарного верстату за формулою $ChOZXe$. Дана компоівочна схема дозволить реалізувати на верстаті необхідні формоутворюючі рухи.

РОЗДІЛ 4

ВИБІР І ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРОБКИ
ПРОЕКТУ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

4.1. Обґрунтування та визначення типу організаційної форми виробництва при використанні проектного верстата

Вибір типу виробництва проводимо згідно методичних рекомендацій ДСТУ, за коефіцієнтом закріплення операцій [4]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P},$$

де O – число операцій, що виконуються на робочих місцях,

P – число робочих місць на дільниці.

Для визначення типу виробництва встановлюємо наближено штучно-калькуляційний час $T_{ум-к}$, хв., за формулою [4]:

$$T_{ум-к} = \varphi_k \cdot T_o,$$

де φ_k – коефіцієнт, що враховує тип виробництва і тип верстата [4]

T_o – основний час виконання технологічної операції [4].

Штучний час будемо визначати на основі розрахунку основного часу, по наближеним формулам. Розрахунок наведено у таблиці 3.1.

Число верстатів для кожної з операцій розраховуємо за формулою [4]:

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

де $N= 4800$ шт./рік - річна програма випуску;

$F_d = 4029$ год. - дійсний річний фонд часу при роботі обладнання;

$\eta_n = 0,75$ - нормативний коефіцієнт при завантаженні обладнання.

S_i – прийнята кількість обладнання.

Кількість операцій, що виконується на одному робочому місці визначається за формулою [4]:

$$O = \frac{\eta_n}{\eta_{з.ф.}},$$

де $\eta_n = 0,8$ - нормативний коефіцієнт при завантаженні обладнання;

$\eta_{з.ф.}$ - фактичний коефіцієнт при завантаженні обладнання.

Таблиця 4.1. - Укрупнене нормування базового ТП обробки деталі «Кришка»

	Операції	Обладнання	$T_{шт-к}$, хв	m_p	S_i	$\eta_{з.ф.}$	O
005	Токарна з ЧПК	1П732РФ3	12,8	0,27	1	0,27	2,96
010	Токарна з ЧПК	1П732РФ3	8,93	0,19	1	0,19	4,21
015	Токарна з ЧПК	1П732РФ3	35,81	0,77	1	0,77	1,04
020	Токарна з ЧПК	1П732РФ3	34,05	0,73	1	0,73	1,1
025	Токарна	1К62	5,8	0,11	1	0,11	7,27
030	Токарна	1К62	5,96	0,11	1	0,11	7,27
035	Токарна	1К62	6,12	0,12	1	0,12	6,66
055	Комбінована	МА655С630	31,49	0,67	1	0,67	1,2
060	Зубодовбальна	5М150	22,7	0,44	1	0,44	1,81
065	Комбінована	МА655С630	7,04	0,17	1	0,17	4,7
070	Свердлильна	2А55	12,02	0,23	1	0,23	3,47
075	Токарна	1К62	1,48	0,02	1	0,02	40
	Всього		184,2				81,69

Тоді :

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{81,69}{12} = 6,81$$

За ГОСТ 3.1108-74, якщо $1 < K_{з.о.} \leq 10$, то тип виробництва є крупносерійним.

Визначаємо організаційну форму виробництва. Попередньо виконаємо перевірку можливості застосування потокової форми організації виробництва за застосування однономенклатурної потокової лінії, тобто перевіряється можливість завантаження лінії не менше ніж на 60%. При цьому визначимо добовий випуск деталей та добову продуктивність лінії.

Добовий випуск деталей визначимо за формулою [4]:

$$N_o = \frac{N}{254} = \frac{4800}{254} = 18,9$$

де N – це річна програма виготовлення виробів;

254 – число робочих днів у році.

Добову продуктивність визначимо за формулою [4]:

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-к.с.} \cdot \eta},$$

де $F_d = 952$ хв. – це добовий фонд роботи верстатів у дві зміни;

$T_{шт-к.с.}$ - середня трудомісткість основних операцій, у хв.

Середня трудомісткість основних операцій визначається за формулою [4]:

$$T_{шт-к.с.} = \frac{\sum_i^n T_{шт-к}}{n} = \frac{184,2}{12} = 15,35$$

де $T_{шт-к}$ – штучний час для i -ої операції, у хв;

n – число основних операцій.

$$Q_d = \frac{F_d}{T_{шт-к.с.} \cdot \eta} = \frac{952}{15,35 \cdot 0,8} = 77,5$$

Оскільки умова застосування потокової форми не виконується, то приймається групова форма організації виробництва.

Розрахуємо розмір партії деталей, що одночасно заходять у виробництво за формулою [4]:

$$n = \frac{N \cdot a}{254} = \frac{4800 \cdot 3}{254} = 57 \text{ шт}$$

де $a = 3$ дні - періодичність запуску виробів на виготовлення.

Визначимо число змін, що необхідна для обробки даної партії деталей за формулою [4]:

$$C = \frac{T_{шт-к.с.} \cdot n}{476 \cdot 0,8} = \frac{15,35 \cdot 57}{476 \cdot 0,8} = 2,29$$

Приймаємо 2 зміни, відповідно кількість деталей у партії, що обробляється за дві зміни, складає [4]:

$$n_{пр} = \frac{C_{пр} \cdot 476 \cdot 0,8}{T_{шт-к.с.}} = \frac{2 \cdot 476 \cdot 0,8}{15,35} = 50 \text{ шт}$$

4.2. Вибір та обґрунтування заготовки деталі-представника

Отже визначимо основні коефіцієнти для даної заготовки:

Група сталі – М2 ([4] табл. 1);

Ступінь складності – С3 ([4] стор. 30);

Клас точності – Т2 ([4] табл. 19);

Вихідний індекс – 11 ([4] табл. 11);

Зміщення по поверхні роз'єднання штампів – 0,1 ([4] табл. 4);

Допустима величина зміщення по поверхні роз'єднання штампів – 0,3 ([4] табл. 9);

Допустима величина залишкового облою – 0,5 ([4] табл. 10);

Допустима величина заусенця по контуру пуансона – 4,0 ([4] табл. 10);

Штампувальні кути не повинні перевищувати:

по зовнішній поверхні – 10;

- по внутрішній поверхні – 22;

Отже враховуючи все вищезгадане розробляємо ескіз поковки (рис.

4.1).

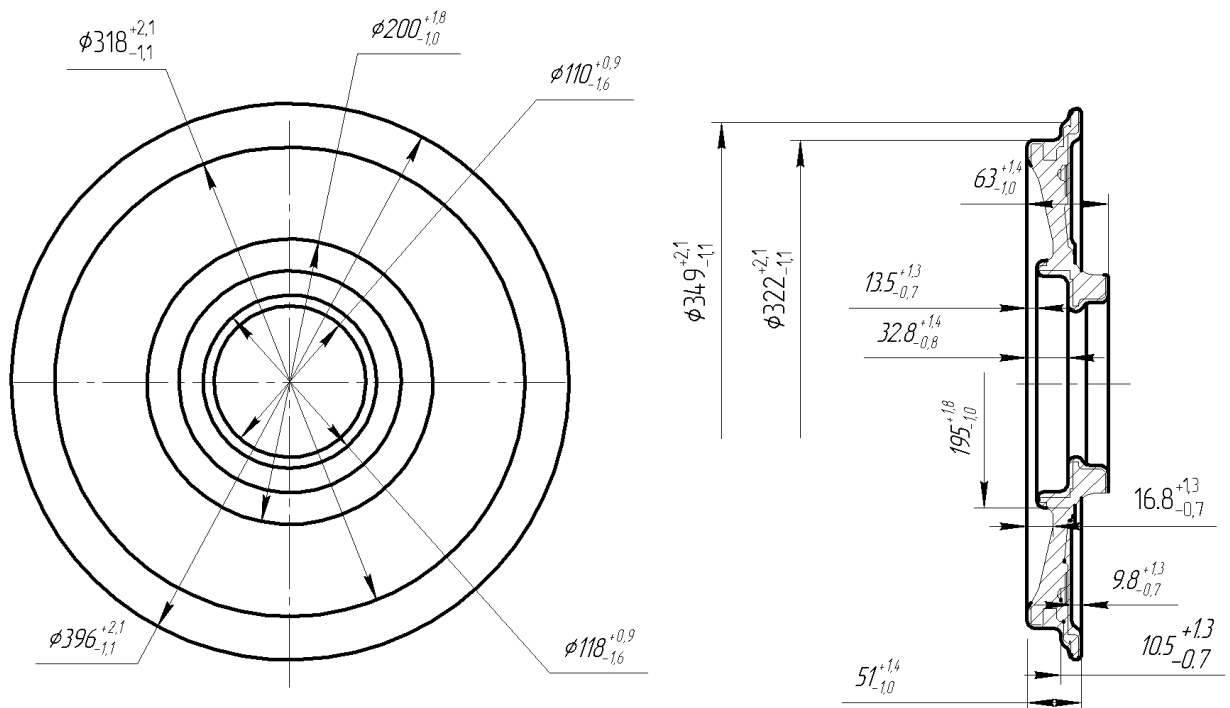


Рисунок 4.1 Ескіз заготовки деталі «Кришка»

При економічному обґрунтуванні доцільності вибору заготовки, необхідно визначити технологічну собівартість.

Вартість заготовки розраховуємо по узагальнених показниках за формулою [4]:

$$C_3 = \frac{C}{1000} \cdot Q_3 \cdot K_T \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_M \cdot K_{II} - (Q_3 - q) \frac{C_{\text{ВІДХ}}}{1000}$$

$K_C = 1,0$ (для Сталі 40Х та третього ступеня складності (табл.4.1 [4]));

$K_T = 1,0$ (для нормальної точності (стор. 32 [4]));

$K_B = 0,8$ (для маси штамповки 10...20 кг (табл.4.2 [4]));

$K_M = 1,13$ (для хромистих сталей (стор. 33 [4]));

$K_{II} = 1,0$ (для хромистих сталей (табл. 4.3 [4]));

Вартість заготовки, що отримана штампуванням на КГШП в закритих штампах:

$$S_{\text{ЗАГ}} = \left(\frac{10500}{1000} \cdot 14 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \right) - (14 - 10,25) \frac{4000}{1000} = 117,90 \text{ грн.}$$

Таким способом можна отримати заготовку, що найбільш наближена формою до готової деталі. Це дозволить значно підвищити коефіцієнт використання матеріалу, та надасть можливість зменшити собівартість.

Але дану заготовку можна отримати і багатьма іншими способами штампування, наприклад штампуванням на КГШП в відкритих штампах. В цьому випадку значно зменшиться коефіцієнт використання матеріалу тому, що значна кількість металу буде видавлюватись в облой, а потім видаляться. Але використання відкритих штамів позбавляє потреби в точному дозуванні металу, що в деяких випадках також може відбитися на собівартості заготовки. При штампуванні в відкритих штампах з'явиться потреба в більш складній механічній обробці, що звичайно підвищить собівартість виготовлення деталі в цілому. Вага заготовки збільшиться на 15...20%, отже виходячи з цього розрахуємо вартість:

$$S_{\text{ЗАГ}} = \left(\frac{10500}{1000} \cdot 16,5 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,13 \cdot 1,0 \right) - (16,5 - 10,25) \frac{4000}{1000} = 131,62 \text{ грн.}$$

Виходячи з проведених розрахунків зауважимо, що найбільш дешевий і менш матеріаломісткий спосіб одержання заготовки – штампування на

КГШП в закритих штампах. Такий метод дозволить отримувати заготовки з найменшими припусками на мехобробку.

4.3. Особливості розробки технологічного маршруту обробки деталі

При розробці технологічного процесу необхідно керуватися методами, при додержанні яких можливе досягнення найбільшої раціональності та економічності при виготовленні деталі [24]:

- кожна послідуєча операція повинна зменшувати похибки обробки, збільшувати якість поверхні;
- в першу чергу будуть оброблюватися поверхні, які, в подальшому, слугуватимуть технологічними базами для наступних операцій;
- операції, при яких можливе виникнення браку через внутрішні дефекти заготовки (відливки), виконуються на ранніх стадіях;
- обробка інших поверхонь буде вестися в послідовності зворотній рівню їх точності;
- отвори будуть свердлитися в кінці технологічного процесу;
- технічний контроль намітимо після тих етапів обробки, де найбільш вірогідна більша частина браку.

Визначення технологічних баз є досить відповідальним етапом проектування технологічного процесу мехобробки, що тісно пов'язаний з побудовою процесу оброблення заготовки [24].

Основні принципи, яких дотримуються при визначенні баз:

- принцип суміщення баз;
- принцип постійності баз;
- принцип єдності баз.

При визначенні базових поверхонь потрібно, щоб вони забезпечували належну стійкість і надійність встановлення заготовок, тобто щоб були достатньо розвинуті.

4.4. Вибір чорнових та чистових баз

Проводимо класифікацію поверхонь деталі «Кришка» - рис. 4.2, де нумерація поверхонь відповідає їх службовому призначенню.

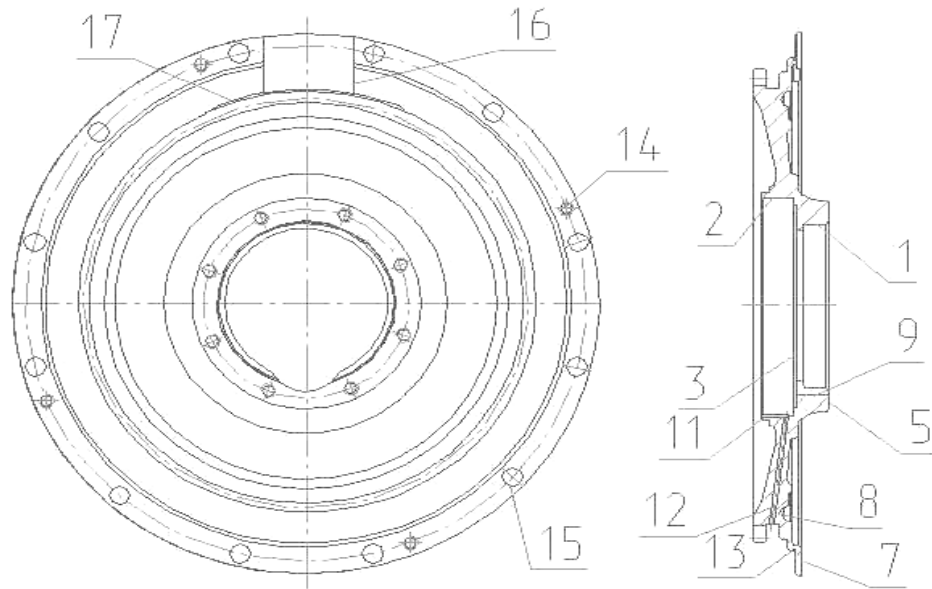


Рисунок 4.2 Класифікація поверхонь деталі

Основними базами даної кришки є: циліндрична поверхня 2 и торець 3. Перший комплект допоміжних баз - циліндрична поверхня 13 и торець 5. Другий комплект допоміжних баз – циліндрична поверхня 1 и торець 5. Допоміжні робочі поверхні даного корпусу – зубчастий вінець. Пази 9, 16, 17 – допоміжні поверхні. Канавка 8 – є сепаратором, в неї вставляються накатом підшипники. Отвори 12 використовуються для підводу змащування. Отвори 15, 14 – є кріпильними суміжними поверхнями.

У відповідності із службовим призначенням поверхонь о них висуваються відповідні вимоги взаємного розміщення, точності та шорсткості.

Основні бази: пов.2 – Ra2.5, допуск торцевого биття 0,05.

Перший комплект допоміжних баз: пов.13 - Ra2.5; пов.3 – Rz20.

Другий комплект допоміжних баз: пов.1 - Ra2.5, допуск торцевого биття до поверхонь 2 і 3 0,05мм.

Основні робочі поверхні: пов.8 - Ra1.25, допуск співвісності до поверхні 2 0,1мм. Пов.7 – Rz20, допуск площинності 0,1мм.

Інші поверхні – IT12, Ra12.5.

При розробці технологічного маршруту обробки деталі необхідно прагнути до того, щоби більшість її поверхонь оброблялись з одного установа.

4.5. Розробка технологічного процесу обробки деталі

4.5.1. Аналіз базового технологічного процесу.

Базовий технологічний процес наведений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2. - Базовий маршрутний технологічний процес

№	Назва операції	Верстат, обладнання
1	2	3
000	Заготівельна – штамповка	
005	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
010	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
015	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
020	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
025	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
030	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
035	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
040	Слюсарна	Верстак
045	Промивка	МКП 0620
050	Контрольна	Стіл контрольний
055	Комбінована	Обробл. центр МА655С630
060	Зубодовбальна	Зубодовбальний н/а 5М150
065	Комбінована	Обробл. центр МА655С630
070	Свердлильна	Радіально-свердлильний 2А55
075	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
080	Слюсарна	Верстак
085	Промивка	МКП 0620
090	Контрольна	Стіл контрольний
095	Транспортування	Електрокара

Заготовка деталі – штамповка на гарячекатаних машинах. В даних умовах виробництва, при даній формі деталі і її розмірах штамповка - це найбільш оптимальний спосіб отримання заготовки.

Матеріал деталі - сталь 38ХС ГОСТ 4543-71. Вона задовольняє вимогам службового призначення і має добрі властивості пластичної деформації.

В технології виробництва деталі доцільно дотримуватись принципу постійності баз, так як при зміні баз в ході технологічного процесу точність обробки знижується через похибки взаємного розміщення нових і задіяних раніше технологічних баз. Але в базовому технологічному процесі використовувалось декілька комплектів технологічних баз.

Для обробки деталі використовують спеціальний і стандартний ріжучий інструмент (різці, фрези, свердла, зенкери и ін.); стандартний и спеціальний контрольний інструмент (штангенциркуль, калібри-пробки, шаблони, контрольні пристосування). Для ріжучого інструменту використовуються швидкорізальні сталі і деякі марки твердих сплавів групи ТК.

Призначені режими різання забезпечують необхідну точність обробки, але не є економічно-вигідними, що обумовлено використанням швидкорізальних сталей в ріжучих інструментах.

В базовому технологічному процесі використовуються наступні моделі верстатів:

Токарно-гвинторізний	1К62
Токарний з ЧПК	1П732РФ3
Оброблюючий центр	МА655С630
Радіально-свердлильний	2А55
Зубодовбальний н/а	5М150
Мийна машина	МКП-0620

Слід відмітити, що в базовому технологічному процесі використовуються верстати з ручним керуванням і верстати з ЧПК. По потужності і точності обладнання задовольняє вимогам, які необхідно виконати при обробці певних операцій, але досягнення заданої точності на

верстатах з ручним управлінням вимагає робітників високої кваліфікації. Контрольні засоби відповідають даному типу виробництва і вимогам точності.

4.5.2. Розробка маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі.

Маршрутний опис технологічного процесу полягає в скороченому описі всіх технологічних операцій в маршрутній карті в послідовності їх виконання без вказування переходів и технологічних режимів [26].

Всю механічну обробку розбивають по операціях і виявляють послідовність виконання операцій та їх кількість. Для кожної операції вибирається обладнання і визначається конструктивна схема пристосування.

Задачею кожного попереднього переходу є підготовка поверхні заготовки під наступну обробку і кожен наступний метод (операція або перехід) повинен бути точнішим від попереднього, тобто забезпечувати більш високе значення показників якості деталі.

Побудова технологічного маршруту обробки здебільшого визначається конструктивно-технологічними особливостями деталі. Вибір маршрутної технології суттєво залежить від типу виробництва, рівня автоматизації і обладнання, яке використовується.

В основі розроблюваного маршрутного технологічного процесу лежить базовий варіант. На основі аналізу базового варіанту були внесені наступні пропозиції по вдосконаленню процесу виготовлення даної деталі:

- 1) оскільки більшість операцій в базовому варіанті є однотипними (точіння, свердління, фрезерування), то враховуючи форму деталі і тип виробництва (серійне) є зміст використати принцип концентрації операцій, тобто виконати необхідну обробку на токарних багатоцільових верстатах з ЧПК;

- 2) необхідно провести максимально можливу заміну ріжучого інструменту на прогресивний, який відповідає вимогам високої продуктивності і економічної ефективності, крім того, використання стандартного ріжучого

інструменту дозволяє скоротити номенклатуру використовуваного інструменту.

З врахуванням перелічених пропозицій було розроблено проектний варіант маршрутного технологічного процесу, який приведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. - Проектований маршрутний технологічний процес

№	Назва операції	Верстат, обладнання
000	Заготівельна - штамповка на ГKM	
005	Комбінована з ЧПК	Багатоцільовий токарний н/а 1П756Ф4
010	Комбінована з ЧПК	Багатоцільовий токарний н/а 1П756Ф4
015	Зубодовбальна	Зубодовбальний н/а 5М150
020	Фрезерна з ЧПК	Фрезерний з ЧПК 6P11Ф3-01
025	Слюсарна	Стіл слюсарний
030	Мийна	МКП-0620
035	Контрольна	Стіл контрольний

4.5.3. Зміст і послідовність виконання технологічних переходів.

Послідовність виконання технологічних переходів повинна забезпечувати досягнення заданої точності і економію допоміжного часу. Використання принципу концентрацій операцій, багатоцільових верстатів з автоматичною заміною інструмента дозволяє досягнути вказаних вимог.

Аналіз конструкції деталі на технологічність, обладнання, яке використовується і базового технологічного процесу показує, що обробку даної кришки можливо провести за чотири установи. По кількості необхідного інструменту і пристосувань обробку кришки виконуємо за чотири операції.

Всі оброблювані поверхні деталі приведені на рис. 4.1.

Операція 005. Установ на чорнові бази. Обробка деталі с однієї сторони.

На даній операції технологічні переходи будуть наступними:

- 1) точіння торця кришки (пов.1);
- 2) точіння торця кришки (пов.4);
- 3) точіння торцевої канавки (пов.3);

- 4) чорнове розточування отвору (пов.2);
- 5) чистове розточування отвору (пов.2);
- 6) тонке розточування отвору (пов.2);
- 7) точіння поверхні 10;
- 8) точіння поверхні 7;
- 9) точіння канавки (пов.5);
- 10) точіння поверхні 6;
- 11) фрезерування пазу (пов.9);
- 12) фрезерування пазу (пов.8);

Операція 010. Установ на оброблений отвір діаметром 180 мм і торець. Обробка деталі з іншої сторони. На даній операції технологічні переходи будуть наступні:

- 1) точіння торця кришки (пов.2);
- 2) точіння торця кришки (пов.5);
- 3) розточування отвору (пов.3);
- 4) чорнове розточування отвору (пов.1);
- 5) чистове розточування отвору (пов.1);
- 6) тонке розточування отвору (пов.1);
- 7) чорнове точіння поверхні 7;
- 8) чистове точіння поверхні 7;
- 9) тонке точіння поверхні 7;
- 10) точіння циліндричної поверхні 10;
- 11) точіння канавки (пов. 8);
- 12) точіння торцевої канавки (пов.4);
- 13) точіння торцевої канавки (пов.4);
- 14) точіння торцевої канавки (пов.6);
- 15) чорнове точіння канавки (пов.6);
- 16) чистове точіння канавки (пов.6);
- 17) центрування всіх кріпильних отворів;
- 18) свердління 12 отворів $\text{Ø}7\text{H}14$;

- 19) нарізання різі в 12-и отворах М8-7Н;
- 20) свердління 12 отворів Ø15Н14;
- 21) фрезерування пазу (пов.9);
- 22) фрезерування пазу (пов.8 и 10);

Операція 015. Установ на оброблений отвір діаметром 180 мм і торець. На даній операції здійснюють довбання зубів.

- 1) Довбати зубя (пов.1);

Операція 020. Установ на оброблений отвір діаметром 180 мм і торець. Обробка шести похилих отворів деталі. На даній операції технологічні переходи будуть наступними:

- 1) центрування шести отворів;
- 2) свердління шести отворів.

4.6. Обґрунтування та вибір металообробного обладнання

Багатоцільові верстати найбільш повно відповідають вимогам принципу концентрації операцій. Багатоцільові верстати токарної групи дозволяють об'єднати на одному робочому місці токарну, свердлильну, фрезерну обробку, нарізання різі. Автоматична заміна інструменту дозволяє значно скоротити допоміжний час. Особливо ефективні такі верстати в серійному і мілкосерійному виробництвах, в умовах широкої номенклатури оброблюваних деталей. Виходячи з цих переваг вибираємо багатоцільовий токарний напівавтомат 1П756Ф4. При цьому враховувалась відповідність габаритних розмірів заготовок по відношенню до розмірів робочої зони обладнання, вимоги забезпечення точності і якості оброблюваної поверхні [27].

Верстати моделі 1П756Ф4 призначені для комплексної обробки в автоматичному режимі складних деталей із чорних, кольорових металів и легких сплавів, верстати оснащені пристроями ЧПК, інструментальними магазинами, механізмами заміни інструменту, заміни деталей і пристроями видалення стружки.

Верстати моделі 1П756Ф4 призначені для роботи як в режимі автоматичного функціонування, так и для роботи в складі ГВС. Верстати забезпечують можливість високопродуктивного виконання основних технологічних операцій металообробки: точіння різних поверхонь, включаючи криволінійні і складні просторові форми; центрування, свердління, розсвердлювання, зенкерування і развертування точних отворів; розточування отворів з точним координатним розміщенням; нарізання різі мітчиками і різцями.

До необхідного технологічного оснащення відносяться: верстатні пристосування для закріплення деталі, ріжучий і допоміжний інструмент.

В таблиці 4.4 приведені технічні характеристики запропонованого для проектного технологічного процесу верстату.

Таблиця 4.4. - Технічні характеристики верстату 1П756Ф4

<i>Параметр</i>	<i>значення</i>
найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм	320
найбільша глибина розточування, мм	120
найбільший діаметр заготовки, мм	
встановлений над станиною	630
оброблюваний в патроні	500
найбільший крок нарізання різі, мм	39,999
максимальна частота обертання шпинделя, об/хв	8-1600, 10-2000*
максимальне поздовжнє і поперечне переміщення робочих подач супортів, мм/хв	1-4000
прискорення поздовжньої і поперечної подач супорта, мм/хв	8000
дискретність звіту по осям координат, мм	0,001
кількість позицій інструменту на верхні револьверні головці	8
кількість позицій інструменту на нижні револьверні головці	4
кінець шпинделя	
по ГОСТ12523-76	11M
кількість револьверних головок на верстаті	2
потужність головного приводу, кВт	22-30
габаритні розміри, мм:	
довжина	4600
ширина	2400
висота	2600
маса, кг	8600

4.7. Призначення припусків та між операційних розмірів проектування заготовки

При проектуванні технологічних процесів механічної обробки заготовок необхідно встановити оптимальні припуски, які б забезпечили задану точність і якість оброблюваних поверхонь.

Для отвору $\varnothing 125G7(+0.054;+0.014)$ і зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 345(+0,061;+0.004)$ розрахунок припусків, операційних розмірів и розмірів заготовки проведемо розрахунково-аналітичним методом. Для інших поверхонь розрахунок табличним методом.

4.7.1. Розрахунок припусків аналітичним методом.

4.7.1.1. Розрахунок припусків на діаметр $\varnothing 345k7(+0.061;+0.004)$.

Проведемо розрахунок припусків на обробку і проміжних граничних розмірів для поверхні з розмірами $\varnothing 345k7(+0.061;+0.004)$ по методиці [4].

1) Обробка даної поверхні складається з чорнового, чистового і тонкого точіння. Записуємо переходи обробки в таблицю 3.4. В таблицю також записуємо відповідні значення елементів припуску Rz и h, які відповідають заготовці і кожному технологічному переходу.

2) Відхилення розміщення.

Відхилення розміщення розраховується за формулою:

$$\Delta_z = \sqrt{\Delta_{\text{кор}}^2 + \Delta_{\text{зм}}^2}$$

де $\Delta_{\text{зм}}$ – зміщення, приймаємо 750мкм; $\Delta_{\text{кор}}$ - короблення, приймаємо 500мкм;

$$\Delta_z = \sqrt{750^2 + 500^2} = 810 \text{ мкм}$$

Залишкове відхилення розміщення заготовки визначають за формулою:

$$\Delta_{\text{зал}} = \Delta_z k_y$$

де k_y - коефіцієнт уточнення (після чоргової обробки 0,06)

$$\Delta_{\text{зал}} = 810 \cdot 0.06 = 40 \text{ мкм}$$

В зв'язку з закономірним зменшенням відхилень розміщення поверхонь при обробці за декілька переходів, на стадіях чистової і фінішної ними нехтують.

3) Похибки встановлення $\varepsilon_{\text{вст}}$ визначається за формулою:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{б}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{пр}}^2}$$

де $\varepsilon_{\text{б}}$ - похибка базування; $\varepsilon_{\text{з}}$ - похибка закріплення; $\varepsilon_{\text{пр}}$ - похибка пристосування.

Похибка встановлення, при укрупнених розрахунках можна визначити по довідковій літературі в залежності від схеми закріплення заготовки, діаметру бази, якості обробки бази. По [28] вона складає 300 мкм.

Залишкова похибка встановлення:

$$\varepsilon_{\text{вст зал}} = \varepsilon_{\text{вст}} \cdot k_y$$

де k_y – коефіцієнт уточнення (після чорнової обробки 0,06).

$$\varepsilon_{\text{вст зал}} = 300 \cdot 0,06 = 15 \text{ мкм}$$

В зв'язку з закономірним зменшенням похибки при обробці за декілька переходів, на стадіях чистової і фінішної обробки ними нехтують.

4) Розраховуємо мінімальні припуски $2 \cdot z_{\text{min}}$ по формулі [20]:

$$2 \cdot z_{\text{min}} = 2 \left[(R_z + h)_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_{y_i}^2} \right]$$

де $R_{z(i-1)}$ - висота мікронерівностей, що залишаються після проведення попередньої операції чи переходу, мкм; h_{i-1} - глибина дефектного шару, що залишається після попередньої операції чи переходу, мкм; $\Delta_{\Sigma i-1}$ - сумарні просторові відхилення, що залишаються після проведення попередньої операції або переходу, мкм; ε_{y_i} - похибка встановлення заготовки у пристосуванні на цій операції, мкм;

Висота мікронерівностей $R_{z(i-1)}$ та глибина дефектного шару h_{i-1} вибирається за таблицями [20], ст.190.

5) Розраховуємо значення d_p за формулою:

$$d_{pi-1} = d_{pi} - 2 \cdot z_{\min i}$$

б) призначаємо допуски:

заготовка	3200 мкм;	чорнове точіння	570 мкм
чистове точіння	140 мкм;	тонке точіння	65 мкм

7) Записуємо значення d_{\min} заокруглюючи значення d_p .

8) Розраховуємо d_{\max} по формулі

$$d_{\max i-1} = d_{\min i} + Td_i$$

9) Визначаємо припуски на механічну обробку по формулі:

$$2 \cdot z_{\max i} = d_{\max i-1} - d_{\max i}$$

$$2 \cdot z_{\min i} = d_{\min i-1} - d_{\min i}$$

Таблиця 4.5. - Розрахунок припусків на обробку і граничних розмірів на розмір $\varnothing 345k7(+0.061; +0.014)$

Маршрут обробки	Елементи припуску				Розрах. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрах. розмір d_p , мм	Допуск T_d , мкм	Граничні розміри по переходам		Граничні припуски	
	R_z , мкм	h , мкм	Δ , мкм	ε , мкм				d_{\max}	d_{\min}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Заготовка	150	250	810			347,941	3200	348,000	351,200		
Чорнове точіння	50	50	40	300	2528	345,413	570	345,500	346,070	2500	5130
Чистове точіння	30	30	2	15	285	345,128	140	345,200	345,340	300	730
Тонке точіння	20	25			124	345,004	57	345,004	345,061	196	279
Перевірка розрахунку:											
$Td_s - Td_d + \sum 2 \cdot z_{\max} - \sum 2 \cdot z_{\min} = 3200 - 57 + 2996 - 6139 = 0$											

4.7.1.2. Розрахунок припусків на діаметр $\varnothing 125G7(+0.054; +0.014)$

Проведемо розрахунок припусків на обробку і проміжних граничних розмірів для поверхні с розмірами $\varnothing 125G7(+0.054; +0.014)$.

1) Обробка даної поверхні складається з чорнового, чистового і тонкого розточування. Записуємо переходи обробки в таблицю 3.5. В таблицю також

записуємо відповідні значення елементів припуску Rz и h, які відповідають заготовці і кожному технологічному переходу.

2) Відхилення розміщення

Відхилення розміщення розраховуємо за формулою:

$$\Delta_z = \sqrt{\Delta_{\text{екс}}^2 + \Delta_{\text{зм}}^2}$$

де $\Delta_{\text{екс}}$ - ексцентриситет, приймаємо 1400 мкм; $\Delta_{\text{зм}}$ – зміщення, приймаємо 500 мкм;

$$\Delta_z = \sqrt{1400^2 + 500^2} = 1480 \text{ мкм}$$

Визначаємо залишкове відхилення розміщення заготовки:

$$\Delta_{\text{зал}} = 1480 \cdot 0.06 = 74 \text{ мкм}$$

В зв'язку з закономірним зменшенням відхилень розміщення поверхонь при обробці за декілька переходів, на стадіях чистової і фінішної ними нехтують.

3) Визначаємо похибки встановлення $\varepsilon_{\text{вст}}$. Похибки установки, визначаємо по довідниковій літературі [27], в залежності від схеми закріплення заготовки, діаметру бази, якості обробки бази, ця похибка складає 60 мкм.

$$\text{Залишкові похибки встановлення: } \varepsilon_{\text{вст зал}} = 60 \cdot 0,06 = 3 \text{ мкм}$$

В зв'язку з закономірним зменшенням похибки при обробці за декілька переходів, на стадіях чистової і фінішної обробки ними нехтують.

4) Розраховуємо мінімальні припуски $2 \cdot z_{\text{min}}$;

5) Розраховуємо значення d_p ;

6) призначаємо допуски:

заготовка	2500 мкм;	чорнове точіння	400 мкм;
чистове точіння	100 мкм;	тонке точіння	40 мкм;

7) Записуємо значення d_{min} заокруглюючи значення d_p .

8) Розраховуємо d_{max} ;

9) Визначаємо припуски на механічну обробку.

Таблиця 4.6. - Розрахунок припусків на обробку і граничних розмірів на розмір
 $\varnothing 125G7(+0.054;+0.014)$

Маршрут обробки	Елементи припуску				Розрах. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Розрах. розмір d_p , мм	Допуск T_d , мкм	Граничні розміри по переходам		Граничні припуски	
	R_z , мкм	h , мкм	Δ , мкм	ϵ , мкм				d_{\max}	d_{\min}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
Заготовка	150	250	148 0			120,815	2500	117,500	120,000		
Чорнове точіння	50	50	74	60	3762	124,578	400	124,100	124,500	4500	6600
Чистове точіння	30	30	4	3	348	124,926	100	124,800	124,900	400	700
Тонке точіння	20	25			128	125,054	40	125,014	125,054	154	214
Перевірка розрахунку:											
$Td_z - Td_d + \sum 2 \cdot z_{\max} - \sum 2 \cdot z_{\min} = 2500 - 40 + 5054 - 7514 = 0$											

4.8. Вибір ріжучого та вимірювального інструменту

4.8.1. Обґрунтування та вибір різального інструменту.

Інструментальна оснастка для верстатів з ЧПК являє собою комплекс ріжучого та допоміжного інструментів, а також приладів для їх розмірної наладки поза обладнанням [19].

До різальних інструментів відносяться розточувальні різці, свердла, зенкери, зенківки, розвертки, фрези, мітчики, які встановлюють на багатоопераційних верстатах з ЧПК.

Допоміжний інструмент призначений для точної, надійної за розміром установки, кріплення на верстаті і швидкої заміни різального інструменту, уніфікації приєднувальних поверхонь розмірного переміщення (під наладки) положення інструменту, а також його кодування у випадку автоматичного пошуку в магазині. Для цих цілей використовується спеціальна конструкція посадочних і приєднувальних поверхонь інструменту, механізми регулювання і настройки інструменту на розмір та інше.

До допоміжного інструменту для свердлильно-фрезерно-розточувальних верстатів відносяться: конічні і циліндричні перехідні втулки, регульовані оправки, цангові і різенарізні патрони та інші.

Прилади для розмірної настройки різальних інструментів поза верстатом призначені для забезпечення необхідної точності заданого положення різальних кромки в системі координат допоміжного інструменту.

При виборі типу і конструкції ріжучого інструменту необхідно врахувати метод обробки, тип верстата, розмір, конфігурацію та матеріал оброблюваної деталі, потрібну якість поверхні, точність оброблення, характер виробництва.

Для обробки отворів на верстатах з ЧПК застосовуються спіральні свердла з циліндричним і конічним хвостовиком. Довжина свердла вибирається в залежності від розмірів деталі. Для забезпечення достатньої жорсткості доцільно вибирати найменшу з довжин. Свердла, призначені для верстатів з ЧПК, повинні задовольняти підвищеним технічним вимогам і забезпечувати високу надійність, стійкість і точність [19].

Для розвертання отворів 7-го квалітету точності рекомендуються цільні швидкорізальні і твердосплавні машинні розвертки з підвищеними вимогами до точності виготовлення. Для напівчистої обробки на верстатах з ЧПК попередньо просвердлених отворів використовуються цільні зенкери з циліндричними і конічними хвостовиками.

Для обробки посадочних місць під головки кріпильних гвинтів використовують цільні швидкорізальні і твердосплавні зенківки з напрямною цапфою.

Для обробки на верстатах з ЧПК використовуються торцеві, циліндричні, кінцеві, дискові та інші фрези, виготовленні з різних інструментальних матеріалів, в тому числі із швидкорізальної сталі, оснащені твердосплавними пластинками, як напаяними, так і механічно закріпленими.

Торцеві та циліндричні фрези використовуються для обробки плоских поверхонь. Кінцеві фрези різної конструкції використовують для фрезерування пазів, уступів і контурної обробки поверхонь.

Для нарізання різі в отворах використовуються машинні мітчики.

Дані про необхідний для виготовлення деталі «кришка» набір інструментів [21] наведені в табл. 4.7.

Таблиця 4.7. - Інструментальне оснащення для обробки деталі «кришка» по операціях

Найменування операції і назва інструменту по переходу	Оснащення
<p>005. Комбінована з ЧПК (1П756Ф4)</p> <p>1,2,8) різець прохідний</p> <p>3,4,5,6,7) різець розточний</p> <p>9) різець відрізний</p> <p>10) різець підрізний</p> <p>11) фреза кінцева</p> <p>12) фреза кінцева</p>	<p>SSSCR88D06 T15K6 ТУ 19-4206-95-83</p> <p>K014980.000-00 T15K6 ТУ 2-035-1040-86;3.</p> <p>2177-0005 T15K6 ГОСТ 18892-73;</p> <p>2112-0005 T15K6 ГОСТ 18880-73</p> <p>T15K6 Ø 16 z=6 ГОСТ 6396-78;</p> <p>T15K6 Ø 16 z=6 ГОСТ 6396-78;</p>
<p>010. Комбінована з ЧПК (1П756Ф4)</p> <p>1,2,10) різець прохідний</p> <p>4,5,6,13,15,16) різець розточний</p> <p>7,8,9) різець підрізний</p> <p>11) різець спеціальний</p> <p>12,14) різець відрізний</p> <p>17) свердло центрувальне</p> <p>18) свердло</p> <p>19) мітчик М8Н2</p> <p>20) свердло</p> <p>21) фреза кінцева</p> <p>22) фреза кінцева</p>	<p>SSSCR88D06 T15K6 ТУ 19-4206-95-83;</p> <p>K014980.000-00 T15K6 ТУ 2-035-1040-86;</p> <p>2112-0005 T15K6 ГОСТ 18880-73;</p> <p>T15K6</p> <p>2177-0005 T15K6 ГОСТ 18892-73;</p> <p>035-2317-0102 ОСТ 24-20-5-80;</p> <p>2300-6983 ГОСТ 886-77;</p> <p>2219-0044 ГОСТ 3266-81</p> <p>6113-0852 ГОСТ 22627-77</p> <p>01.03.0036.000-04 ТУ 2-035-812-81</p> <p>01.03.0036.000-03 ТУ 2-035-812-81</p>
<p>015. Зубодовбальна (5М150)</p> <p>Довб'як</p>	<p>m6*z211A 2530-0268 ГОСТ 9323-79</p>
<p>025. Фрезерна з ЧПК (6Р11Ф3-01)</p> <p>1) свердло центрувальне</p> <p>2) свердло</p>	<p>035-2317-0102 ОСТ 24-20-5-80;</p> <p>2300-6983 ГОСТ 886-77;</p>

Допоміжний інструмент вибираємо для відповідного ріжучого інструменту по [27].

- 1) Різцетримач з циліндричним хвостовиком з перпендикулярним відкритим пазом 1-30 ОСТ2 П15-3-84;
- 2) Різцетримач видовжений з циліндричним хвостовиком з перпендикулярним і паралельним відкритими пазами 1-30 ОСТ2 П15-5-84
- 3) Втулка перехідна з циліндричним хвостовиком 30-16 ОСТ2 П12-12-84;
- 4) Втулка перехідна з циліндричним хвостовиком 80-40 ОСТ2 П12-12-84;
- 5) патрон цанговий з діапазоном затиску 5-25 мм 19-11 ГОСТ 17201-71;
- 6) патрон регульований резенарізний МЗ-М10 6161-0173 ГОСТ 22627-77;
- 7) патрон цанговий 191113040 ТУ 2-035-986-85

4.8.2. Обґрунтування та призначення контрольно-вимірною інструменту.

При виборі типу і конструкції вимірювального інструменту враховують характер виготовлення, метод обробки, тип верстата, розмір та конфігурацію і матеріал оброблювальної заготовки, потрібну якість обробленої поверхні та точність обробки. Нижче приведено відомості про вибраний нами контрольно-вимірний інструмент [17].

Вимірювальний інструмент:

- штангенциркуль ШЦ-1 ГОСТ 166-80;
- нутромір ТУ 3-3-1396-76;
- пробка-калібр 15Н14 ПР ГОСТ 14815-69;
- пробка-калібр 15Н14 НЕ ГОСТ 14816-69;
- штанген-глибиномір ШГ-200 ГОСТ 162-80;
- пробка-калібр М8-7Н 221-3036 ГОСТ 14821-69;
- пробка-калібр 7Н12 ГОСТ 14810-69;
- індикатор ИЧ10 кл0 ГОСТ 577-68;
- штатив Ш-11Н-8 ГОСТ 10197-70;
- пристосування спеціальне;
- зразки шорсткості поверхонь ГОСТ 2789-73.

Детальніше про застосований контрольно-вимірюваний інструмент дивись в додатках (карти наладок по окремих операціях та переходах).

4.9. Визначення кількості обладнання, задіяного в технологічному процесі

Для кожного робочого місця в технологічному процесі повинно бути розраховано кількість обладнання, яке забезпечить виготовлення заданої програми випуску деталей в рік, а також визначені коефіцієнти завантаження обладнання та використання обладнання по часу і по потужності. Розрахункова кількість верстатів визначається по формулі [4]:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{штк}}{60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{zn}};$$

де: $N = 4800$ шт. – програма виготовлення деталей;

$F_{\partial} = 3979$ год. – реальний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_{zn} = 0,8$ - нормативний коефіцієнт завантаження верстатів для серійного виробництва.

Операція 005.

$$T_{штк} = 5.68 \text{ хв}$$

$$m_{p1} = \frac{4800 \cdot 5.68}{60 \cdot 3979 \cdot 0,8} = 0.142.$$

Приймається кількість обладнання рівною $m_n = 1$.

Визначаємо коефіцієнти завантаження верстатів по операціях техпроцесу за формулою [4]:

$$\eta_z = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\%;$$

де m_n – прийнята кількість обладнання;

Операція 005.

$$\eta_z = \frac{0,141}{1} 100\% = 14,1 \%$$

Розрахунки за цими формулами для решти операцій зводимо у табл. 4.8.

Таблиця 4.8. - Визначення кількості верстатів за операціями

№ опер.	Назва операції	$T_{шт-к, хв}$	$m_p, шт$	$m_{пр, шт}$	η_ϕ	η_z
005	Комбінована з ЧПК	5.6	0.141	1	0.141	14.1
010	Комбінована з ЧПК	16.3	0.410	1	0.410	41.0
015	Зубодовбальна	19.57	0.492	1	0.492	49.2
020	Фрезерна з ЧПК	12.32	0.310	1	0.310	31.0
	Всього	53.79				135.2

Середній коефіцієнт завантаження обладнання буде складати:

$$\eta_{z_c} = \frac{\sum \eta_{z_i}}{i};$$

$$\eta_{z_c} = \frac{135.2}{4} = 33.8\%$$

Такий низький коефіцієнт завантаження обладнання пояснюється тим, що обробляється мала партія деталей. На даному обладнанні після випуску малої партії відбувається переналагодження на інші види продукції.

Коефіцієнт використання обладнання по основному часу буде визначатись по формулі:

$$\eta_0 = \frac{T_0}{T_{шт.к}} \cdot 100\%.$$

$$\eta_{0_1} = \frac{3.93}{5.63} \cdot 100\% = 66.56\%; \quad \eta_{0_2} = \frac{12.81}{16.3} \cdot 100\% = 78.60\%;$$

$$\eta_{0_3} = \frac{17.5}{19.57} \cdot 100\% = 89.42\%; \quad \eta_{0_4} = \frac{10.71}{12.32} \cdot 100\% = 86.93\%;$$

Середній коефіцієнт використання обладнання по основному часу [3]:

$$\eta_0 = \frac{\sum \eta_{0_i}}{i};$$

$$\eta_0 = \frac{321.54\%}{4} = 80.37\%$$

На основі визначених коефіцієнтів завантаження та використання обладнання будемо графіки завантаження та використання обладнання та представляємо їх на рис. 4.3, 4.4.

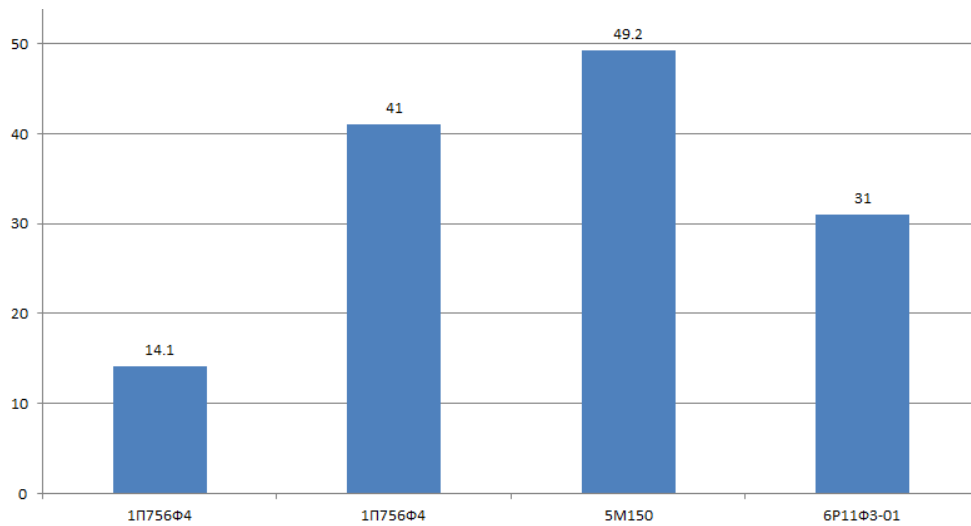


Рисунок 4.3 Графік завантаження обладнання

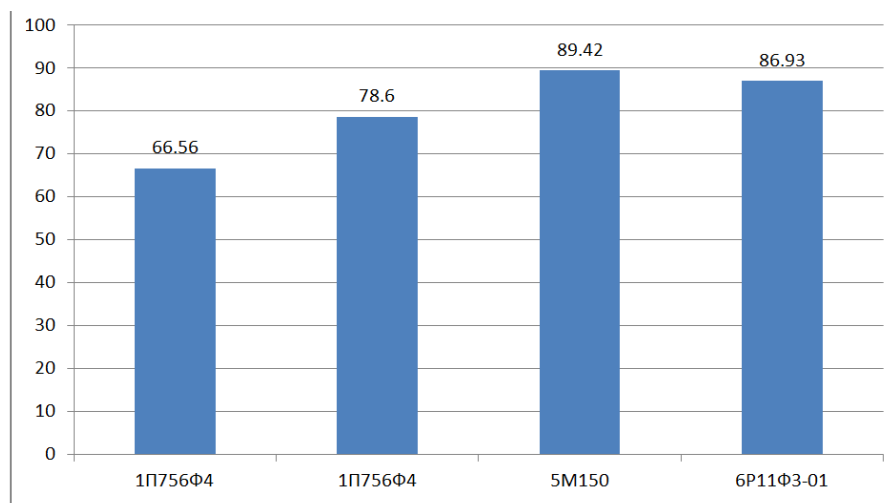


Рисунок 4.4 Графік використання обладнання по основному часу

4.10. Техніко-економічне обґрунтування раціонального технологічного маршруту обробки деталі

Загальні правила проектування ТП мехобробки встановлює ГОСТ 14.301-83. Кожний варіант техпроцесу відрізняється техніко-економічними параметрами, а тому ставиться задача вибору найкращого з них, що забезпечить одержання деталі необхідної якості, заданої кількості за мінімально можливих витрат. Такий ТП можна назвати оптимальним для конкретних умов виробництва по прийнятому критерію [24].

Визначимо технологічну собівартість виготовлення деталі за базовим та проектним варіантами за методикою [4], ст. 39.

Приведені часові витрати, грн/год, визначаємо за формулою:

$$C_{п.з.} = \frac{C_з.}{M} + C_{ч.з.} + E_n(K_c + K_з)$$

де $C_з$ - основна та додаткова зарплата, у грн/год;

$M=1$ - коефіцієнт багатостатного обслуговування;

$C_{ч.з.}$ - часові витрати щодо експлуатації робочого місця, грн/год;

$E_n=0,15$ - нормативний коефіцієнт економічності капітальних вкладень;

K_c - питомі часові капітальні вкладення у верстат, грн/год;

$K_з$ - питомі часові капвкладення у будівлю, грн/год.

Основну і допоміжну зарплати визначимо за формулою:

$$C_з = C_{т.ф} \cdot 1,53 \cdot k$$

де $C_{т.ф}$ - годинна тарифна ставка верстатника, грн/год,

$k=1$ - коефіцієнт врахування зарплати наладчика (для серійного виробництва).

$$C_{ч.з.} = C_{ч.з.}^{\bar{}} \cdot k_m \text{ грн/год}$$

$C_{ч.з.}^{\bar{}}$ - практично спроектовані часові затрати на базовому робочому місці

$$C_{ч.з.}^{\bar{}} = 9,80 \text{ грн/год.}$$

k_m - машино-коефіцієнт, який показує в скільки разів затрати пов'язані із роботою даного верстату більші, ніж аналогічні витрати з базового верстату.

$$k_m = 1,3 \text{ [3, ст.173].}$$

$$C_{ч.з.} = 9,80 \cdot 1,3 = 12,74 \text{ грн/год.}$$

Капітальні вкладення в обладнання і будівлю для серійного виробництва визначимо за формулами:

K_c - питомі годинні капіталовкладення в верстат, *грн/год*. [4, ст.44]:

$$K_c = \frac{Ц}{3200}$$

де $Ц$ - балансова вартість обладнання.

$K_з$ - питомі годинні капіталовкладення в будівлю, *грн/год*. [4, ст.44]:

$$K_3 = \frac{F \cdot 7500}{3200};$$

де C - балансова вартість обладнання, грн;

F - виробнича площа, що займає обладнання із врахуванням проходів, м².

$$F = f \cdot k_f$$

де f - площа верстату в плані, м²;

k_f – коефіцієнт, що враховує додаткову виробничу площу;

$F\partial = 4029$ год – реальний річний фонд часу роботи обладнання;

$\eta_3 = 0,8$ – коефіцієнт завантаження обладнання.

Вартість механічної обробки на розглядуваних операціях визначаємо за формулою [4]:

$$C_0 = \frac{C_{п.з.} \cdot T_{шт}}{60 \cdot K_B}$$

$K_B = 1,3$ – коефіцієнт виконання норм.

Так згідно базового технологічного процесу використовується токарно-гвинторізні верстати 1К62, токарні верстати з ЧПК 1П732РФ3, оброблювані центри МА655С630 та радіально-свердлильний верстат 2А55.

В запропонованому технологічному процесі використовуються багатоцільові токарні н/а 1П756Ф4 та фрезерний верстат з ЧПК 6Р11Ф3-01.

Сформуємо вихідні дані для розрахунку економічної ефективності від впровадження розробленого технологічного процесу

Об'єм річного випуску деталей	4800 шт
Кількість відмінних верстатних операцій в базовому варіанті	11
Кількість відмінних операцій в проектному варіанті	3
Коефіцієнт виконання норм для верстатів:	
з ручним керуванням	1,3
з ЧПК	1

Відмінні операції та обладнання в базовому технологічному процесі:

005	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
010	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
015	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
020	Токарна	Токарний з ЧПП 1П732РФ3
025	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
030	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
035	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62
055	Комбінована	Оброблювальний центр МА655С630
065	Комбінована	Оброблювальний центр МА655С630
070	Свердлильна	Радіально-свердлильний 2А55
075	Токарна	Токарно-гвинторізний 1К62

Відмінні операції та обладнання в проектуваному техпроцесі:

005	Комбінована з ЧПК	Багатоцільовий токарний н/а 1П756Ф4
010	Комбінована з ЧПК	Багатоцільовий токарний н/а 1П756Ф4
020	Фрезерна з ЧПК	Фрезерний з ЧПК 6Р11Ф3-01

Для операції 070 «Свердлильна» базового та 020 «Фрезерна з ЧПК» проектуваного технологічного процесу проведемо розрахунок технологічної собівартості.

$$C_3 = 16 \cdot 1,53 \cdot 1 = 24,48 \text{ грн/год.}$$

$$k_{м.пр} = 0,7; k_{м.б} = 1,2;$$

$$C_{ч.з.пр.} = 12,74 \cdot 0,7 = 8,92 \text{ грн/год} \quad C_{ч.з.б.} = 12,74 \cdot 1,2 = 15,29 \text{ грн/год}$$

$$Ц_{пр} = 256000 \text{ грн.} \quad Ц_б = 96000 \text{ грн.}$$

$$f_{пр} = 4,0 \cdot 2,0 = 8,00 \text{ м}^2; k_{f_{пр}} = 3,5; F_{пр} = 8 \cdot 3,5 = 28,00 \text{ м}^2$$

Приймаємо 28 м².

$$f_б = 2,85 \cdot 1,03 = 2,94 \text{ м}^2; k_{f_б} = 2,5; F_{пр} = 2,94 \cdot 2,5 = 7,34 \text{ м}^2$$

Приймаємо 8 м².

$$K_{с.пр} = \frac{256000}{3200} = 80,00 \text{ грн;}$$

$$K_{з.пр} = \frac{28 \cdot 7500}{3200} = 65,63 \text{ грн;}$$

$$K_{с.б} = \frac{96000}{3200} = 30,0 \text{ грн;}$$

$$K_{з.б} = \frac{8 \cdot 7500}{3200} = 18,75 \text{ грн;}$$

Визначаємо значення $C_{п.з.}$:

$$C_{п.з.пр} = \frac{C_{з.пр}}{M} + C_{ч.з.пр} + E_n (K_{с.пр} + K_{з.пр})$$

$$C_{п.з.пр} = \frac{24,48}{1} + 8,92 + 0,15(80,00 + 65,63) = 61,61 \text{ грн/год}$$

$$C_{п.з.б} = \frac{C_{з.б}}{M} + C_{ч.з.б} + E_H(K_{с.б} + K_{з.б})$$

$$C_{п.з.б} = \frac{24.48}{1} + 15.29 + 0.15(30.0 + 18.75) = 47.98 \text{ грн/год}$$

$$C_{о.пр} = \frac{C_{п.з.пр} \cdot T_{шт.пр}}{60 \cdot K_B} = \frac{61.61 \cdot 12.32}{60 \cdot 1} = 9.73 \text{ грн}$$

$$C_{о.б} = \frac{C_{п.з.б} \cdot T_{шт.б}}{60 \cdot K_B} = \frac{47.98 \cdot 14.8}{60 \cdot 1.3} = 8.93 \text{ грн}$$

Результати розрахунків за операціями, що відрізняються, заносимо для базового варіанту в таблицю 4.9, а для проектного – в таблицю 4.10.

Таблиця 4.9. - Технологічна собівартість для базового варіанту

№ п/п	Назва операції та її зміст	Тшт-к, хв.	Кількість	Обладнання		Собівартість, грн.
				модель	ціна, грн	
1.	005 Токарна	15.9	1	1П732РФ3	280000	13.15
2.	010 Токарна	42.5	1	1П732РФ3	280000	35.14
3.	015 Токарна	8.7	1	1П732РФ3	280000	7.19
4.	020 Токарна	11.1	1	1П732РФ3	280000	9.18
5	025 Токарна	7.2	1	1К62	110000	4.41
6	030 Токарна	7.6	1	1К62	110000	4.65
7	035 Токарна	7.4	1	1К62	110000	4.53
8	055 Комбінована	44.7	1	МА665С630	240000	34.68
9	065 Комбінована	39.3	1	МА665С630	240000	30.49
10	070 Свердлильна	14.8	1	2А55	96000	8.93
11	075 Токарна	1.8	1	1К62	110000	1.1
	Всього	201	11		2136000	153.45

Таблиця 4.10. - Технологічна собівартість для проектного варіанту

№ п/п	Назва операції та її зміст	Тшт-к, хв	Кількість	Обладнання		Собівартість, грн
				модель	ціна, грн	
1.	005 Комбінована з ЧПК	5.6	1	1П756Ф4	766000	7.97
2.	010 Комбінована з ЧПК	16.3	1	1П756Ф4	766000	23.20
3.	020 Фрезерна з ЧПК	12.32	1	6Р11Ф3-01	256000	9.73
	Всього	34.22	5		1376000	40.90

Визначаємо величину приведеної річної економії [4]:

$$E_M = (C_{о.б} - C_{о.пр}) \cdot N, \text{ грн.}$$

де $C_{o.б.}$, $C_{o.пр}$ - вартість механічної обробки порівнювальних варіантів, грн.

$$E_m = (153.45 - 40.90) \cdot 4800 = 540240 \text{ грн.}$$

З представлених результатів розрахунку видно, що технологічна собівартість механічної обробки за проектним варіантом є меншою, ніж за базовим. Це було досягнуто за рахунок підвищення продуктивності обробки, а також за рахунок скорочення трудомісткості порівняно із базовим варіантом техпроцесу механічної обробки. Згідно проведеного розрахунку собівартості приймемо проектний варіант техпроцесу як оптимальний.

РОЗДІЛ 5

ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ

5.1. Розрахунок приводу верстата

5.1.1. Розрахунок ефективної потужності верстата.

Згідно розробленої структурно-кінематичної схеми верстата розробляємо його кінематичну схему. При цьому враховуємо те, що в приводі верстата використовуються високомоментні приводи постійного струму. Таких приводів використовується сім.

На верстаті можна обробляти як деталі із важкооброблювальних сталей, так і з легких, алюмінієвих сплавів.

Визначаємо показники наступних параметрів:

$N_{\text{еф}}$ - ефективна потужність привода головного руху, у кВт; $M_{\text{кр}}$ - крутний момент шпинделя, у Нм; $P_{\text{ос}}$ - осьове зусилля на приводі подач, Н; n - частота обертання шпинделя, в об/хв; S - подача шпинделя на 1 оберт, в мм/об.

Для $N_{\text{еф}}$, $M_{\text{кр}}$, $P_{\text{ос}}$ визначимо їх максимальні значення, для n і S – їх максимальні значення, також мінімальні значення та діапазон регулювання.

Основні технологічні операції, які виконуються на верстатах:

- точіння
- свердління;
- розсвердлювання;
- зенкерування;
- нарізання різі.

Силкові параметри визначають, виходячи із розрахунку чорнових режимів різання. Кінематичні параметри визначають, виходячи із розрахунку режимів різання при чистовій обробці.

При цьому розрахунки показали, що найбільше значення ефективної потужності при обробці на проектованому верстаті становить $N_{\text{еф}}=8,1$ кВт.

5.1.2. Визначення діапазону регулювання приводу.

Порівняно з головними приводами універсального обладнання приводи шпинделів багатоопераційних верстатів мають більш високу потужність, що можна пояснити із бажанням забезпечити більше зняття металу за одиницю часу і, відповідно, скоротити машинний час обробки деталі. Діапазон швидкостей обертання головних приводів багатоопераційних верстатів, як правило, відповідає діапазону швидкостей приводів аналогічного універсального обладнання, а його вибір проводиться відомими методами. Регулювання швидкості шпинделя здійснюється звичайно безступенево, однак часто застосовується й ступеневе регулювання. В останньому випадку коефіцієнт ряду швидкостей не перевищує величини 1,41 [26].

Для безступеневого регулювання швидкості використовують двигуни постійного струму з тиристорною системою керування [18]. В приводах таких верстатів можна використати двозонне регулювання, при цьому діапазон регулювання за постійного моменту рівний $R_{\partial M}$, за постійної потужності дорівнює $R_{\partial P}$, а діапазон регулювання механічної коробки швидкостей - R_M .

В такому випадку загальна величина приводу визначається:

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

При цьому діапазон регулювання приводу:

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

Звідси визначаємо:

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

Відповідно до способу регулювання електродвигуна відбувається регулювання частоти обертання шпинделя при постійному моменті або при постійній потужності

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

Діапазон регулювання визначаємо по вихідних даних:

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

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

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

Оскільки діапазон регулювання z -ступеневої коробки швидкостей визначається по залежності:

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

тому для забезпечення безступеневого регулювання частоти обертання шпинделя на усьому діапазоні приймають $\varphi_1 = R_{\partial P}$. з цього випливає впливає, що:

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

Звідси визначаємо необхідне число ступенів коробки швидкостей:

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

Кількість ступенів коробки і число піддіапазонів приводу оптимізують. Коли двигун забезпечує безступеневе регулювання частоти обертання вихідного валу коробки швидкостей за постійної потужності в інтервалі від m_{min} до m_{max} , і шпинделя за такого ж регулювання в інтервалі від n_{min} до n_{max} , тому діапазон регулювання визначається [18]:

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

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

Якщо k_m і k - кількість інтервалів, що відповідають R_M і R на графіку частот обертів, то

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

Якщо s_∂ і s – число частот обертання електродвигуна та шпинделя за регулювання з постійною потужністю,

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

В загальному випадку двома суміжними діапазонами регулювання можуть перекритися k' інтервалів. Тоді потрібна кількість ступенів коробки швидкостей (піддіапазонів регулювання):

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

Найменше значення z_{min} отримують за відсутності перекриття $k' = -1$

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

При $z_{min} \leq 2$ потрібно використати двоступеневу коробку швидкостей. За $z_{min} > 2$ допускають «провал» регулювання за постійної потужності між двома піддіапазонами, також треба використати двоступеневу коробку швидкостей.

У верстатах з ЧПК часто застосовують приводи з двигунами постійного струму та ступінчатим регулюванням частоти обертання шпинделя. Для цього використовують ряд частот з невеликим знаменником φ , що переважно дорівнює 1,12 (набагато рідше 1,06). У цьому випадку $\varphi = \sqrt[l]{\varphi_1}$, де l - кількість поділів інтервалу $\lg \varphi_1$.

Згідно з попередніми розрахунками привод повинен забезпечити наступний діапазон регулювання: зміна частоти обертання шпинделя від 2000 до 3000 об/хв. при постійній потужності та від 21 до 3000 об/хв за постійного моменту.

Враховуючи це діапазон регулювання:

для приводу:
$$R = \frac{n_{max}}{n_{min}} = \frac{2000}{10} = 200;$$

для двигуна:
$$R_{\partial} = \frac{n_{\partial max}}{n_{\partial min}} = \frac{3000}{315} = 9,52;$$

двигуна за постійної потужності:
$$R_{\partial P} = \frac{n_{\partial max}}{n_{\partial н.}} = \frac{3000}{1500} = 2;$$

двигуна за постійного моменту:
$$R_{\partial M} = \frac{R_{\partial}}{R_{\partial P}} = \frac{9,52}{2} = 4,76 \approx 5$$

шпинделя за постійної потужності:
$$R_P = \frac{R}{R_{\partial M}} = \frac{200}{5} \approx 40.$$

Щоб забезпечити безступеневе регулювання частоти обертання шпинделя при постійній потужності знаменник ряду передаточних відношень коробки швидкостей φ_1 приймаємо рівним $R_{\partial P}$. Тоді необхідне число ступенів коробки швидкостей (число піддіапазонів регулювання частоти обертання шпинделя) [18].

$$z = \frac{\lg R_p}{\lg \varphi_1} = \frac{\lg 40}{\lg 2} = \frac{1.6}{0.301} = 5$$

Прийmemo $z = 5$

Тому потрібно використати двоступеневу коробку швидкостей.

Діапазон регулювання цієї коробки швидкостей:

$$R_M = \varphi^{z-1} = 1,12^{5-1} = 1,57;$$

діапазон електричного регулювання приводу:

$$R_e = \frac{R}{R_M} = \frac{200}{1,57} = 127$$

При будуємо коробку швидкостей з одиночною і груповою передачами.

Будуємо структурну сітку (рис. 5.1).

Графік частот обертання шпинделя ($\varphi=1,12$)

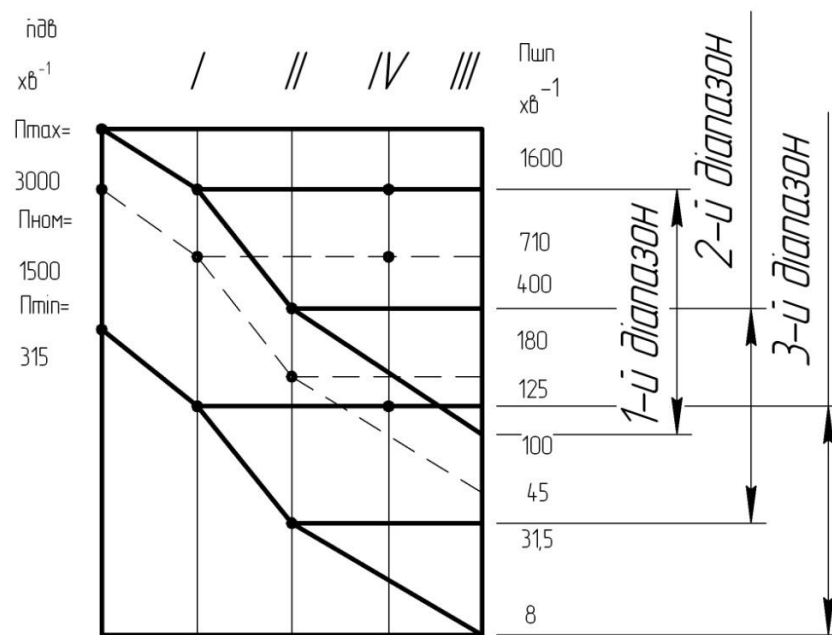


Рисунок 5.1 Графік чисел обертів розрахованого приводу

Визначаємо мінімальні частоти обертів для кожного із діапазонів регулювання: $n_{1min} = 8 \text{ об/хв}$; $n_{2min} = n_{1min} \cdot \varphi_1 = 8 \cdot 5 = 40 \text{ об/хв}$.

При постійній потужності діапазон регулювання швидкості

$$R_p = R_{\partial p} \cdot R_M = 9,52 \cdot 1,57 = 15$$

У цьому випадку мінімальна частота обертання

$$n_{Pmin} = \frac{n_{max}}{R_p} = \frac{3000}{15} = 200 \text{ об/хв}$$

Максимальні кількості обертів шпинделя визначаються для кожного із піддіапазонів регулювання, їх визначають як члени геометричної прогресії із знаменником φ_1 : $n_{1max} = n_{Pmin} \cdot \varphi_1 = 200 \cdot 2 = 400 \text{ об/хв}$

$$n_{2max} = n_{1max} \cdot \varphi_1 = 400 \cdot 2 = 800 \text{ об/хв}$$

Приймаємо $\varphi = 1,12$

Визначимо числа зубів для приводу головного руху. Результати зводимо в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1. - Значення чисел зубів для приводу головного руху

№ колеса	φ	Число зубів
Z_1	1,12	22
Z_2	1,12	88
Z_3	1,12	60
Z_4	1,12	24
Z_5	1,12	60
Z_6	1,12	96

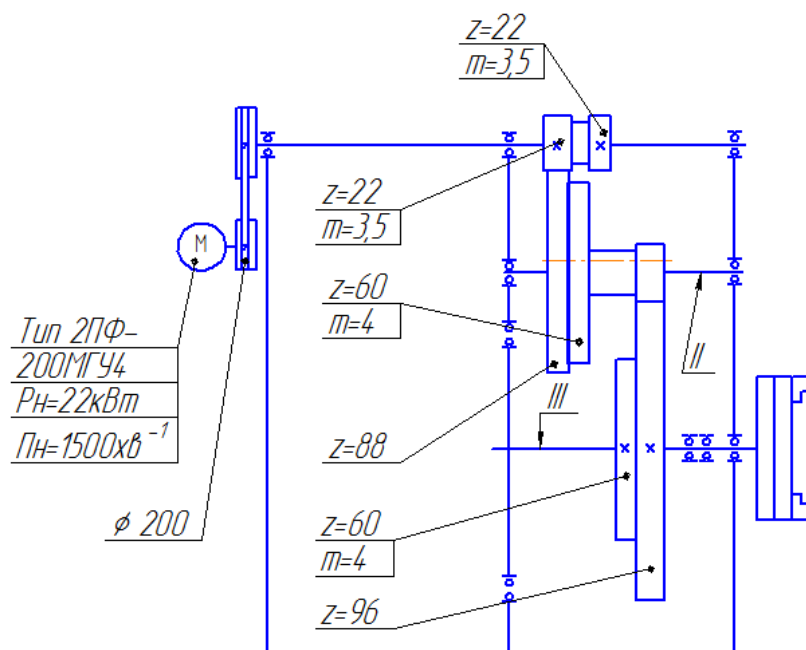


Рисунок 5.2 Розроблена кінематична схема приводу головного руху

5.1.3. Розрахунок потужності приводу головного руху.

За ефективною потужністю різання і коефіцієнтом корисної дії верстата підбирають потужність електродвигуна [19].

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta \cdot 0.8} + N_{\text{х.х.}}, \text{ кВт.}$$

Ефективна потужність різання $N_{\text{эф}} = 8,1$ кВт

ККД приводу головного руху:

$$\eta = \eta_{\text{зн}}^2 \cdot \eta_{\text{підш}}^3 = 0,99^2 \cdot 0,985^3 = 0,934$$

де $\eta_{\text{зн}} = 0,99$ – ККД для зубчастої передачі,

$\eta_{\text{п.}} = 0,985$ – ККД для підшипників кочення.

Визначимо втрати потужності для холостого ходу:

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot d_{\text{ср}} (n_I + n_{II} + \dots + c \frac{d_{\text{шп}}}{d_{\text{ср}}} n_{\text{шп}}),$$

де $d_{\text{ср}} \approx 56$ мм - середнє арифметичне діаметрів усіх опорних шийок валів при виключенні шпинделя, мм.

$d_{\text{шп}}$ - середнє арифметичне число діаметрів опорних шийок шпинделя,

$$d_{\text{шп}} = 140 \text{ мм.}$$

c – коефіцієнт, що дорівнює 4 для шпинделя, змонтованого на підшипниках кочення, $n_I, n_{II}, \dots, n_{\text{шп}}$ - частоти обертання валів (об/хв.) і шпинделя.

$$n_I = n_{\text{дв}} = 3000 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{шп}} = 2000 \text{ об/хв}$$

$$N_{\text{х.х.}} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 56(3000 + 40 + 4 \cdot \frac{140}{56} \cdot 2000) = 5,16 \text{ кВт.}$$

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_{\text{эф}}}{\eta} + N_{\text{х.х.}} = \frac{8,1}{0,934 \cdot 0,8} + 5,16 = 16,00 \text{ кВт}$$

Вибираємо двигун із ряду найближчих значень.

Приймаємо $N_{\text{дв}} = 22 \text{ кВт}$

5.1.4. Визначення оптимального крутного моменту та швидкостей на валах кінематичного ланцюга приводу.

Визначення крутного моменту для всіх валів кінематичного ланцюга приводу проводимо за формулою [19]:

$$T_{np} = 9930 \frac{N_{ef.}}{n_{розр}}$$

де $n_{розр}$ - мінімальна частота обертання валу, що розраховується, за якої може бути повною силою реалізована потужність електродвигуна.

Розрахунки ведемо для вітки, що забезпечує

$$n_{розр_1} = 170 \text{ об/хв}$$

$$n_{розр_2} = n_{розр_1} \cdot i_1 = 170 \cdot \frac{88}{22} = 680 \text{ об/хв}$$

$$n_{розр_3} = n_{розр_1} \cdot i_2 = 170 \cdot \frac{60}{60} = 170 \text{ об/хв}$$

$$n_{розр_{шп}} = n_{розр_2} \cdot i_2 = 170 \cdot \frac{96}{24} = 680 \text{ об/хв}$$

Найвищий крутний момент на вхідному валі в коробці швидкостей становить:

$$T_{np_1} = 9930 \cdot \frac{16,5}{170} = 964 \text{ Нм}$$

Найбільший крутний момент на другому валу коробки швидкостей становить:

$$T_{np_2} = 9930 \cdot \frac{16,5}{680} = 241 \text{ Нм}$$

$$T_{np_3} = 9930 \cdot \frac{16,5}{170} = 964 \text{ Нм}$$

Найвищий крутний момент на шпинделі складає:

$$T_{np_{шп}} = 9930 \cdot \frac{16,5}{680} = 241 \text{ Нм}$$

Кутові швидкості на валах в кінематичному ланцюзі визначимо за формулою:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

де n - частота обертання певного валу, об/хв.

Тому кутова швидкість вхідного валу в коробці швидкостей складає:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3.14 \cdot 170}{30} = 18 \text{ 1/с}$$

Кутова швидкість, яка найвища на другому валі коробки швидкостей:

$$\omega_2 = \frac{3.14 \cdot 680}{30} = 72 \text{ 1/с}$$

$$\omega_2 = \frac{3.14 \cdot 170}{30} = 18 \text{ 1/с}$$

Кутова швидкість, найвища на шпинделі:

$$\omega_{\text{шп}} = \frac{3.14 \cdot 680}{30} = 72 \text{ 1/с}$$

5.1.5. Розрахунок модуля передач (в останній групі) і конструктивних параметрів зубчатих коліс.

Розрахунок проведемо для останньої передачі коробки швидкостей (ведеться по вітці, що знаходиться на 1/3 від нижньої вітки в графіку чисел обертів).

Крутний момент на шестерні дорівнює: $T = 241 \text{ Нм}$

Допустимі контактні напруги становлять: $\sigma = 350 \text{ МПа}$

Число зубів шестерні складає: $Z_1 = 22$

Число зубів колеса становить: $Z_2 = 88$

Кількість обертів шестерні становить: $n = 670 \text{ об/хв.}$

Визначаємо модуль передачі за умови міцності при згині [18]:

$$m = 12,6 \sqrt[3]{\frac{T_{об} K_n}{y Z_k \psi_m [\sigma]_n}}$$

Приймаємо:

$K_n = 1,1$; $y = 0,284$; $\psi_m = 6$

Тоді:

$$m = 12,6 \sqrt[3]{\frac{964 \cdot 1,1}{0,284 \cdot 84 \cdot 6 \cdot 350}} = 4$$

Згідно стандартного ряду модулів зубчастих коліс приймаємо модуль передачі рівний $m = 4$.

Визначимо міжосьову відстань з умов поверхневої міцності:

$$A = 10(U+1) \sqrt[3]{\left(\frac{332}{U \cdot [\sigma]_{nod}}\right)^2 \frac{T_{об}}{\psi_m}}$$

де: $[\sigma]_{nod} = \sigma_{к.д} \cdot K_{к.реж}$

$$\sigma_{к.д} = 900 \text{ МПа}$$

$$K_{к.реж} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{K_N \cdot N_0 \cdot P}{60 \cdot T_p \cdot n_p}} = 1,2 \cdot \sqrt[6]{\frac{1,7 \cdot 10^8 \cdot 8,34}{60 \cdot 241 \cdot 680}} = 2,3$$

$$[\sigma]_{nod} = 900 \cdot 2,3 = 2070 \text{ МПа}$$

Знаходимо міжосьову відстань $A_{розр}$:

$$A_{розр} = A = 10(4+1) \sqrt[3]{\left(\frac{332}{4 \cdot 2070}\right)^2 \frac{241}{0,15}} = 74 \text{ мм}$$

Визначимо величину міжосьової відстані, отриману з модуля передачі:

$$A = \frac{m(Z_1 + Z_2)}{2} = \frac{4 \cdot (22 + 88)}{2} = 220 \text{ мм}$$

Оскільки отримана величина « A » більша « $A_{розр}$ », то вибране значення модуля забезпечить працездатність передачі на згині і контактній міцності. Модулі всіх інших передач коробки передач з технологічних міркувань приймаємо такими ж. Міжосьові відстані між другими валами знаходимо з одержаного модуля.

$$A = \frac{m(Z_2 + Z_3)}{2} = \frac{4 \cdot (60 + 24)}{2} = 168 \text{ мм}$$

5.2. Розрахунок шпindelного вузла

5.2.1. Характеристика шпindelного вузла.

5.2.1.1. Вимоги до шпindelного вузла.

Шпindel є завершальною ланкою приводу головного руху та призначений для закріплення інструменту та здійснює значний вплив на шорсткість, продуктивність, точність та надійність усієї системи. Шпindelний вузол (ШВ) відповідно до поставлених до нього вимог повинен забезпечувати точність, жорсткість, вібростійкість, теплостійкість та швидкохідність.

Точність обертання, що визначається радіальним і осьовим биттям переднього кінця шпинделя для обладнання загального призначення залежно від класу точності верстата повинна відповідати стандартним значенням.

Жорсткість визначається за деформацією шпинделя під навантаженням, виходячи з нормальної роботи підшипників.

Вібростійкість визначається амплітудою коливань переднього кінця шпинделя, а також частотою власних коливань.

Швидкохідність. Цей параметр визначається добутком $d \cdot n$, $\text{мм} \cdot \text{хв}^{-1}$, в залежно від компоновки опор шпинделя.

Швидке та точне закріплення інструменту та мінімальні витрати на виготовлення, складання та експлуатацію шпindelного вузла.

5.2.1.2. Вихідні дані розрахунку.

Для проведення розрахунку основних силових критеріїв шпindelного вузла потрібний комплекс певних вихідних даних, зокрема: вибір розрахункової схеми; сил різання P_Z та P_Y ; колове зусилля P_O ; діаметр на кінці шпинделя D_M ; діаметр отвору шпинделя D_{OT} ; величина діаметра шпинделя в міжопорній частині D_K ; значення модуля пружності матеріалу шпинделя, E ; величина кута між зусиллям різання та коловим зусиллям.

5.2.1.3. Вибір компоновочної схеми ШВ.

Спочатку вибираємо вид кінця шпindelного вузла (ШВ), який

визначається типом верстату. Тому для токарних верстатів згідно [20] вибираємо кінець ШВ, який приведено на рис. 5.3.

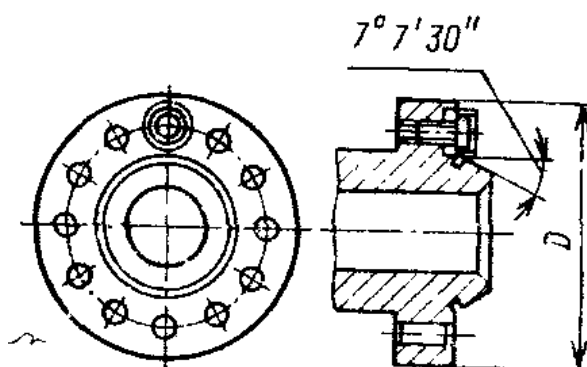


Рисунок 5.3 Вибір кінця шпindelного вузла верстата

Залежно від швидкохідності і діапазону робочих частот обертання вибирають компоновочну схему ШВ. Для цього використовуємо дані [20]. Згідно приведених рекомендацій існує 10 схем для вибору конструкції ШВ. Шпindel даного токарного верстата відноситься до верстатів, наведено на рис. 5.4.

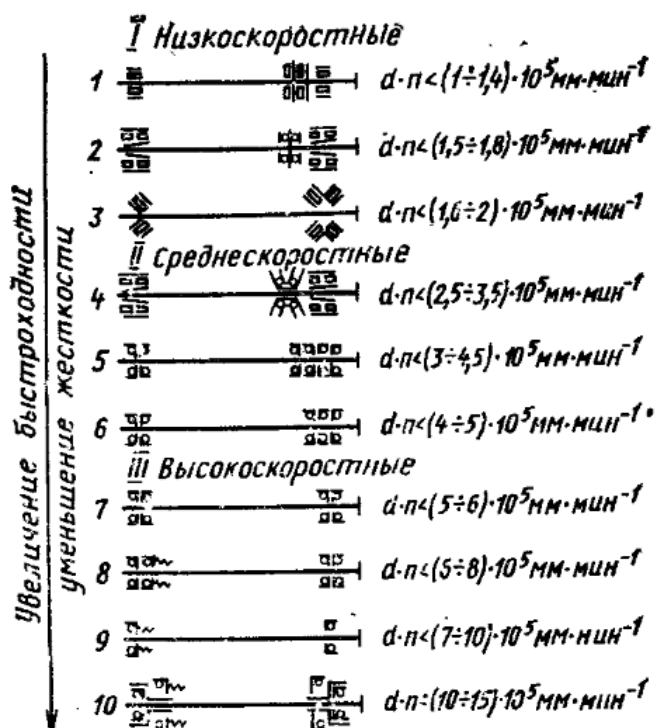


Рисунок 5.4 Типові конструктивні схеми ШВ на підшипниках кочення та галузі їх використання

Залежно від призначення верстата та коефіцієнта швидкохідності вибираємо 4 компоновочну схему шпindelного вузла (рис. 5.5) [22].



Рисунок 5.5 Компоновочна схема шпиндельного вузла

Якщо в якості опор ШВ використовувати упорнорадіальні підшипники серії 178800 або 178900, то тоді параметр швидкохідності буде становити $d \cdot n < (4 - 5) \cdot 10^5 \text{ мм} \cdot \text{хв}^{-1}$. Швидкохідність підшипників цього типу наближено в 2-2,5 рази вища від швидкохідності звичайних підшипників [21, с. 154].

Значення сил різання були розраховані в третьому розділі. Згідно цих розрахунків приймаємо $P_Z \approx 6800 \text{ Н}$; $P_Y = 3400 \text{ Н}$; $P_X = 1020 \text{ Н}$.

Величина колового зусилля $F_t = 2545 \text{ Н}$; $F_r = 985 \text{ Н}$ (на основі автоматизованого розрахунку коробки (див. рис. 5.6)

Проведемо розрахунки геометричних параметрів ШВ [21].

Діаметр шпинделя визначається із формули:

$$d = \frac{(d \cdot n)_{\text{табл.}}}{n_{\text{max}}}, \text{ мм}$$

n_{max} – максимальна частота обертання шпинделя.

Оскільки верстат не буде працювати в постійному режимі на граничній частоті, то приймаємо для розрахунків $n_{\text{max}} = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

$$d = \frac{(4.6 \cdot 10^5)}{3000} = 153.3, \text{ мм}$$

Попередньо приймаємо 160 мм.

Міжопорна відстань визначається:

$$l = (3 \pm 6) d_{\text{ном}}, \text{ мм.}$$

$$l = 3.75 \times 160 = 600 \text{ мм.}$$

Діаметр на передньому кінці шпинделя визначаємо за формулою:

$$d_n = (1 \pm 1.2) d, \text{ мм.}$$

$$d_n = 1.0 \times 160 = 160 \text{ мм.}$$

Попередньо приймаємо $d_n = 160 \text{ мм}$.

Діаметр шпинделя на задній опорі:

$$d_3 = (1 \pm 0.8) d, \text{ мм.}$$

$$d_3 = 0.8 \times 160 = 128 \text{ мм.}$$

Попередньо приймаємо $d_3 = 120$ мм.

Визначимо діаметр шпинделя між опорами:

$$d_M = (1 \pm 0.9) d, \text{ мм.}$$

$$d_M = 0.9 \times 160 = 144 \text{ мм.}$$

Попередньо приймаємо $d_M = 140$ мм.

Виліт кінця шпинделя:

$$C = (1 \dots 2.1) d.$$

$$C = 1.0d = 1.15 \times 160 = 160 \text{ мм.}$$

Подальші розрахунки ШВ можна провести з використанням спеціального пакету прикладних програм.

5.2.1.4. Характеристика опор шпиндельного вузла.

Для передньої опори шпиндельного вузла приймаємо радіальний дворядний підшипник з короткими циліндричними роликами. Внутрішнє кільце підшипника зроблене з конусністю 1:12. Прийmemo підшипник марки 3182132 ГОСТ 7634-75 [18].

Зовнішній діаметр підшипника $D=240$ мм.

Внутрішній діаметр підшипника $d=160$ мм.

Ширина підшипника $B=60$ мм

Діаметр і довжина роликів підшипника $D_r=14$ мм і $L_r=14$ мм.

Кількість роликів підшипника $Z=26$.

Статична вантажопідйомність підшипника $C_o=276$ кН .

В якості другого підшипника передньої опори приймаємо упорний марки 178832 ГОСТ 20821-75 [18].

Діаметр внутрішнього кільця підшипника $d=160$ мм;

Діаметр зовнішнього кільця підшипника $D=240$ мм;

Ширина підшипника $H=95$ мм;

Статична вантажопідйомність підшипника $C_o=233$ кН

В якості підшипника задньої опори приймаємо радіальний дворядний роликовий підшипник марки упорний марки 3182124 ГОСТ 20821-75 [18].

Діаметр внутрішнього кільця підшипника $d=120$ mm.

Діаметр зовнішнього кільця підшипника $D=180$ mm.

Ширина підшипника $H=46$ мм;

Статична вантажопідйомність підшипника $C_o=204$ кН.

5.2.2. Оптимізація параметрів шпиндельного вузла.

Оптимізацію основних параметрів ШВ слід проводити в наступному порядку:

1. Уточнити довжину консолі i , виходячи із цільового призначення верстату, спосіб закріплення інструменту.
2. Вибрати тип підшипників та їх жорсткості.
3. Провести попередній вибір діаметрів шийок шпинделів.
4. Провести розрахунок основних характеристик шпиндельних опор: навантажувальну здатність та температурні режими.
5. Оптимізація відстані між опорами.
6. Виконати перевірку жорсткості міжопорної частини за граничними умовами забезпечення нормальної роботи ШВ.

Конструктивні параметри ШВ значною мірою впливають на його жорсткість. Раціональний вибір даних параметрів дозволить отримати оптимальні жорсткісні характеристики вузла. При наближених проектних розрахунках шпиндель заміняють балкою на двох опорах з силою F , прикладеної на консолі, тобто на відстані c від середини передньої опори (рис. 5.6).

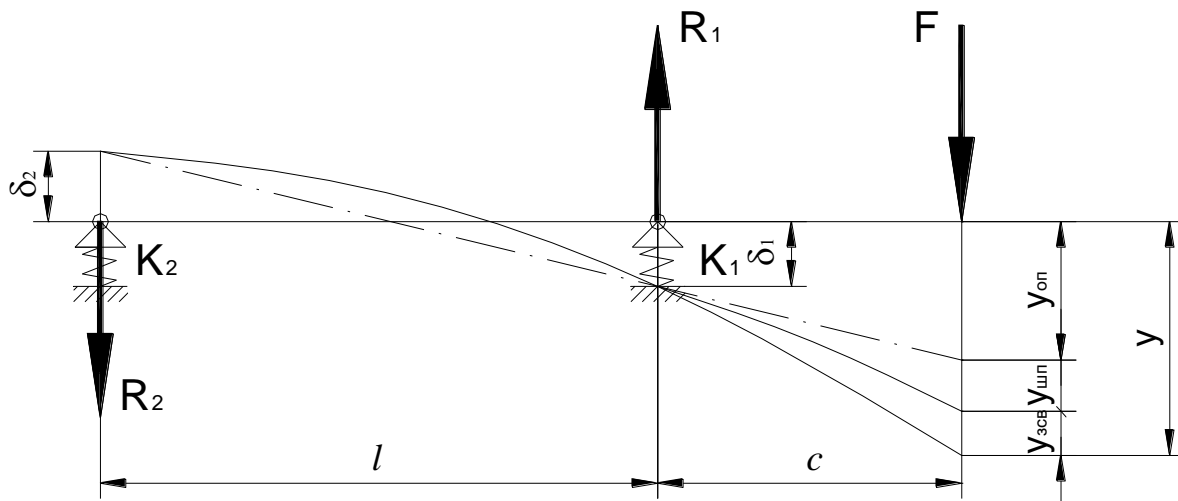


Рисунок 5.6 Розрахункова схема

Радіальну деформацію на робочому кінці шпинделя можна представити у вигляді:

$$y = y_{шп} + y_{оп} + y_{зсв}$$

де $y_{шп}$ – переміщення, яке викликане згином тіла шпинделя;

$y_{оп}$ – деформація кінця шпинделя, яка обумовлена податливістю опор;

$y_{зсв}$ – зміщення, яке викликане зсувом від дії поперечних сил.

Величиною $y_{зсв}$ можна знехтувати, оскільки її величина не перевищує $(0,03 \dots 0,06)y$.

Величину y можна визначити із залежності:

$$y = \frac{Fc^2}{3E} \left[\frac{c}{J_2} + \frac{l(1-\xi_3)}{J_1} \right] + F \left\{ k_1 \left[\frac{c(1-\xi_3) + l}{l} \right]^2 + k_2(1-\xi_3) \frac{c^2}{l^2} \right\}$$

де E – модуль пружності матеріалу шпинделя; J_2, J_1 – осьові моменти інерції перерізу шпинделя на робочому кінці і між опорами; k_1 і k_2 – податливості відповідно передньої і задньої опор шпинделя; ξ_3 – коефіцієнт, який враховує наявність в передній опорі заземлюючого моменту.

Відповідно загальна податливість шпиндельного вузла визначається:

$$k = \frac{c^2}{3E} \left[\frac{c}{J_2} + \frac{l(1 - \xi_3)}{J_1} \right] + \left\{ k_1 \left[\frac{c(1 - \xi_3) + l}{l} \right]^2 + k_2(1 - \xi_3) \frac{c^2}{l^2} \right\}$$

Після вибору діаметра D шийки шпинделя і попереднього ескізного відпрацювання шпиндельного вузла оптимізують міжопорну відстань l .

Міжосьову відстань між опорами вузла визначають за формулою:

$$l^3 - \left(\frac{6E \cdot I_i \cdot k_1}{c} \cdot l + 6E \cdot I_i \cdot [k_1 \cdot (1 - \xi_3) + k_2] \right) = 0$$

При визначенні відстані переважно враховують її вплив на точність обертання шпинделя. Рівняння розв'язують за допомогою формул Кардано. Дана методика реалізована в програмі «Вибір і розрахунок параметрів ШВ», вітальне вікно якої наведене на рис. 5.7. Дана програма розроблена в 2001 році в «ЕНІМС», і дозволяє провести вибір геометричних параметрів шпинделів, опор та виконати розрахунки основних характеристик.

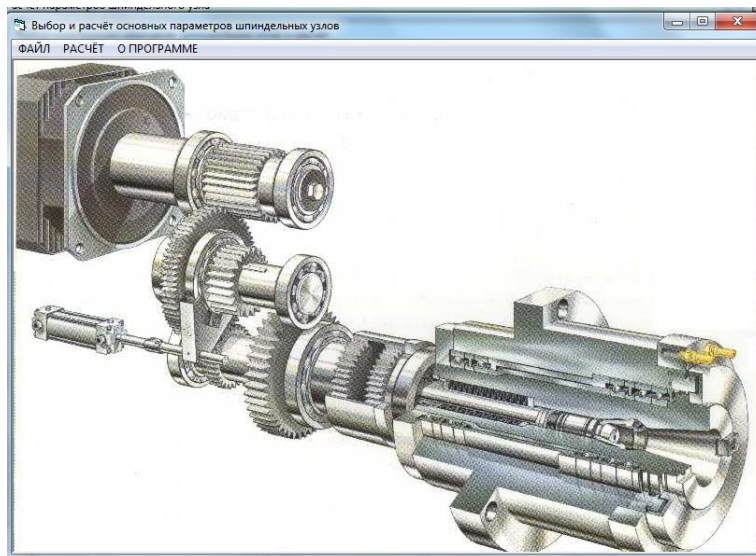


Рисунок 5.7 Стартове вікно програми

Спочатку відбувається вибір типу кінця шпинделя верстату (рис. 5.8).

Выбор переднего конца шпинделя

Выберите тип переднего конца из списка

Для ток. ст.(с фланцевым концом) ▾

Для ток. ст.(с фланцевым концом)

Для ток. ст.(с резьбовым концом)

Для ток.-рев. ст.(с фланцевым концом)

Для ток.-винт. ст.(с резьбовым концом)

Для сверлильных станков

Для расточных станков

Для шлиф. ст. (с фланцевым концом)

Для фрезерных станков

Рисунок 5.8 Вікно вибору переднього кінця шпиндельного вузла

Після чого вказується дані верстату, в нашому випадку (згідно паспортних даних верстату 1П756ДФ3). На основі цих даних відбувається попередній вибір кінця шпинделя і наводяться діаметри шпинделя в передній та задній опорах (див. рис. 5.9).

Выбор конструкции шпинделя, шпиндельных опор и расчёт

ВЫБОР ОПОР ВЫХОД

Выбор переднего конца шпинделя

Выберите тип переднего конца из списка

Для ток. ст.(с фланцевым концом) ▾

Концы шпинделей фланцевые под поворотную шайбу
ГОСТ 12593-72

Максимальный диаметр обработки, мм **500**

Выбор размеров шпинделя

Размеры шпинделя, мм

D	D1	D2	D3	конус	d1	d2
400	285,77	330,2	220	120	35	M12

d3	V	ℓ	H	h
43	42	19	8	12

Выбор опор шпинделя

Д-тр шпинделя под перед. опорой, мм	160
Д-тр шпинделя под задней опорой, мм	120
Макс. частота вращения, об/мин	3000

Расчёт быстроходности

Расчётная быстроходность, мм/мин **480000**

Схемы опор

Рад. 2-ряд. рол. и уп.-рад. 2-ряд. шар.

Быстроходность до 5×10^5 мм/мин

Рисунок 5.9 Вікно програми вибору і розрахунку основних параметрів шпиндельних вузлів

Спочатку нам необхідно вказати, яка максимальна частота обертання шпинделя передбачена на верстаті. При розрахунку приводу коробки швидкостей потрібно попередньо прийняти $n_{max} = 3000 \text{ хв}^{-1}$.

Після введення цих даних відбувається розрахунок параметрів швидкохідності ШВ. На основі цього розрахунку було вибрано схему опор, що буде реалізована в конструкції ШВ.

Наступним кроком розрахунку є вибір підшипників для передньої та задньої опор. Згідно цього вибору відбувається рекомендований підбір підшипників для даних опор та розраховується радіальна жорсткість (рис. 5.10).

Выбор опор шпинделя
РАСЧЁТ ЖЁСТКОСТИ Выход

Опора	Диаметр, мм	Тип подшипников	Серия подшипников	Радиальная жёсткость, ДаН/мкм
передняя	160	Рад. 2-рядный роликовый и упорно-рад. 2-рядный шариковый	3182132 и 178832	225
задняя	120	Радиальный 2-рядный роликовый	3182124	173

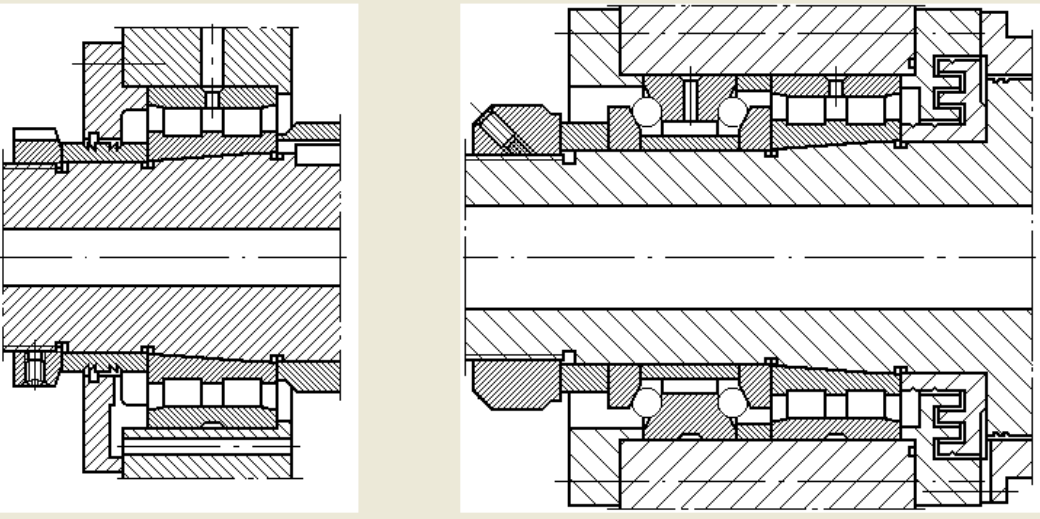


Рисунок 5.10 Вибір опор та розрахунок жорсткості шпинделя

Після цього в черговому вікні потрібно ввести величину консолі кінця шпинделя (рис. 5.11).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД

Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160	Оптимальное межопорное расстояние, мм	
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000		
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		

Расчёт жёсткости шпинделя с учётом схемы

Расчётная схема шпинделя	Исходные данные	Результаты расчёта	
	Составляющие силы резания, Н	Момент инерции сечения шпинделя под опорами, мм ⁴	
	F1 по оси y		передней
	F1 по оси z		задней
	Сила в зубчатом зацеплении, Н		Перемещение по осям, мкм
	F2 по оси y		y
	F2 по оси z		z
	Сила от ремённой передачи, Н		Суммарные значения
	F3 по оси y		силы резания, Н
	F3 по оси z		перемещения, мкм
	Расстояние L, мм		Жёсткость шпинделя, Н/мкм
Расстояние b, мм		на переднем конце	
Расстояние a, мм			

Расчёт жёсткости

Рисунок 5.11 Ввід величини консолі шпинделя

Це дозволить провести розрахунок оптимальної міжопорної відстані в запропонованій конструкції ШВ (рис. 5.12).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД

Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160	Оптимальное межопорное расстояние, мм	
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000		
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		


Оптимальное межопорное расстояние, мм: 414

Рисунок 5.12 Вибір кінця шпиндельного вузла та схеми його опор

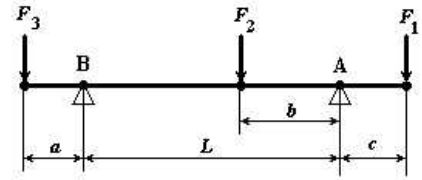
Після цього потрібно ввести значення силових факторів, що діють на ШВ. Це дозволить виконати розрахунок моменту інерції перерізу шпинделя під опорами, переміщення шпинделя уздовж осей X та Y, і визначити сумарні значення сили різання, прогину і жорсткості шпинделя (рис. 5.13).

Расчёт параметров шпиндельного узла

ВЫХОД

Диаметр шпинделя под передней опорой, мм	160		Определение оптимального межопорного расстояния
Диаметр шпинделя под задней опорой, мм	120		
Величина консоли, мм	160	Оптимальное межопорное расстояние, мм	
Рад. жёсткость передней опоры, ДаН/мкм	225,000	414	
Рад. жёсткость задней опоры, ДаН/мкм	173,000		

Расчёт жёсткости шпинделя с учётом схемы

Расчётная схема шпинделя	Исходные данные	Результаты расчёта		
	Составляющие силы резания, Н			
	F1 по оси y	3400	Момент инерции сечения шпинделя под опорами, мм⁴	
	F1 по оси z	6800		
	Сила в зубчатом зацеплении, Н		передней	
	F2 по оси y	2450		2,58E+07
	F2 по оси z	985	задней	3,44E+06
	Сила от ремённой передачи, Н		Перемещение по осям, мкм	
	F3 по оси y	0	y	11,0116
	F3 по оси z	0	z	21,1586
	Расстояние L, мм		Суммарные значения	
	Расстояние L, мм	600	силы резания, Н	7602,6
	Расстояние b, мм	350	перемещения, мкм	23,8525
	Расстояние a, мм	0	Жёсткость шпинделя, Н/мкм	
			на переднем конце	318,74


 **Расчёт жёсткости**

Рисунок 5.13 Розрахунок жорсткості шпинделя

Розраховане значення жорсткості ШВ повинно знаходитись в межах від 200 до 400 Н/мкм [18, с.136]. Умова виконується.

5.2.3. Будова та принцип роботи шпиндельного вузла.

Конструкція шпиндельної коробки верстата приведена на рис. 5.14.

Корпус 1 кріпиться на станині гвинтами у передній частині верстата. Шпиндель 2 встановлено на двох опорах: дворядному роликовому підшипнику, що працює в парі з упорно-радіальним підшипником в передній опорі, і дворядному роликпідшипники в задній опорі. Передній кінець шпинделя - фланцевий з можливістю швидкозмінної установки патрона. На задньому кінці шпинделя присутній посадочний пояс для кріплення затискного пристрою патрона Вхідний вал 3 механізму привода з'єднаний зі шпинделем 2 через один з двох проміжних валів – 4 або 5, на яких встановлено пересувні блоки 6 і 7 зубчатих коліс.

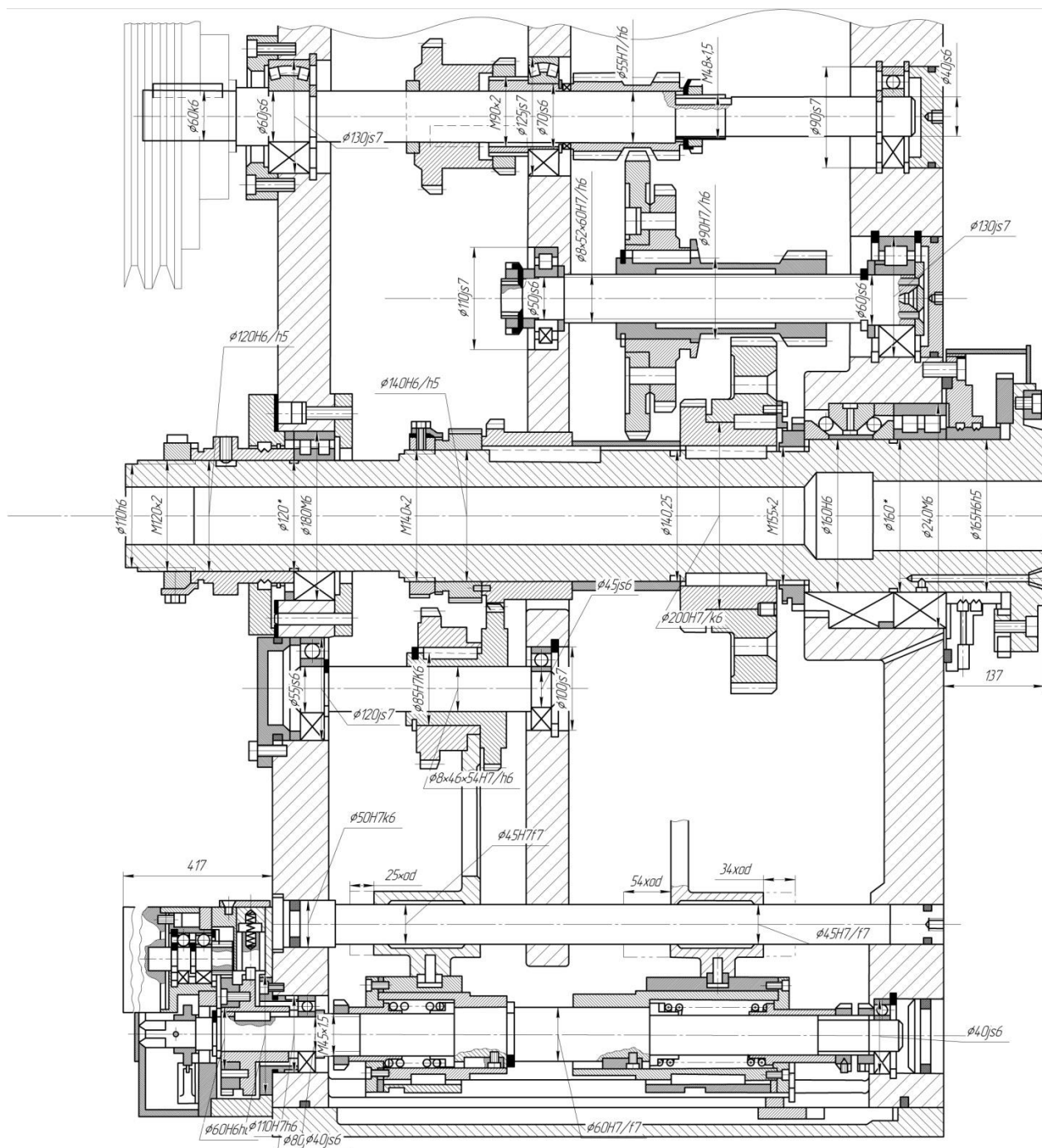


Рисунок 5.14 Конструкція шпindelного вузла верстата

Налагодження на один із 3-х діапазонів частот обертання шпindelя здійснюється механізмом керування, що містить вал 8, з'єднаний зубчатими колесами 9 і 10 з приводом (головкою виду ПРИЗ ВС-05) 11, а також вилки перемикачів 12 і 13, що рухомо встановлені на осі 14. Положення даних вилок перемикачів зубчатих блоків контролюються кінцевими вимикачами та

стопоряться пружними фіксаторами 15. Датчик 16 різнарізання пов'язаний через пружну муфту пластинчасту з валом 17, що через зубчасту передачу з'єднується зі шпинделем.

При виборі зазору в зачепленні розрізне зубчате колесо 18 даної передачі забезпечено спеціальним пружинним пристроєм 19. Змащення механізмів шпиндельної коробки здійснюється централізовано від маслорозподільювача, встановленого в корпусі.

5.3. Опис конструкції і принцип роботи револьверної головки

Конструкція револьверної головки з горизонтальною віссю обертання приведена на рис. 5.15. Дана головка призначена для закріплення блоків ріжучих інструментів, що використовуються при внутрішній обробці (розточуванні, свердленні і т. п.). Корпус 1 револьверної головки встановлений на осі, виконаний у вигляді порожнистого стакана 2, і проміжній основі 3. На корпусі встановлюються змінні інструментальні блоки, які базуються на площині і затискаються в ручну планками 5.

Фіксуєчий пристрій револьверної головки містить дві торцеві мілкозубі напівмуфти 6 і 7. Одна з напівмуфт жорстко закріплена на підставці 3, а інша прикріплена до корпусу . Для попередньої фіксації головки є підпружинений упор 8 односторонньої дії.

Механізм повороту головки змонтований в порожнині стакана 2 і жорстко пов'язаний з ним віссю 9. Електродвигун 10 через зубчаті колеса, 12, 13 і 14, планетарну передачу з сателітами 15 з'єднується з центральними колесами (з внутрішніми зубами), пов'язаними із стаканом 2 та муфтою затиску. Муфта затиску револьверної головки зроблена у вигляді двох напівмуфт з гвинтовим зачепленням, одна з яких жорстко пов'язана з привідним зубчатим колесом 16, а інша (поз. 17) через проміжну зубчасту муфту 18 — з віссю 9.

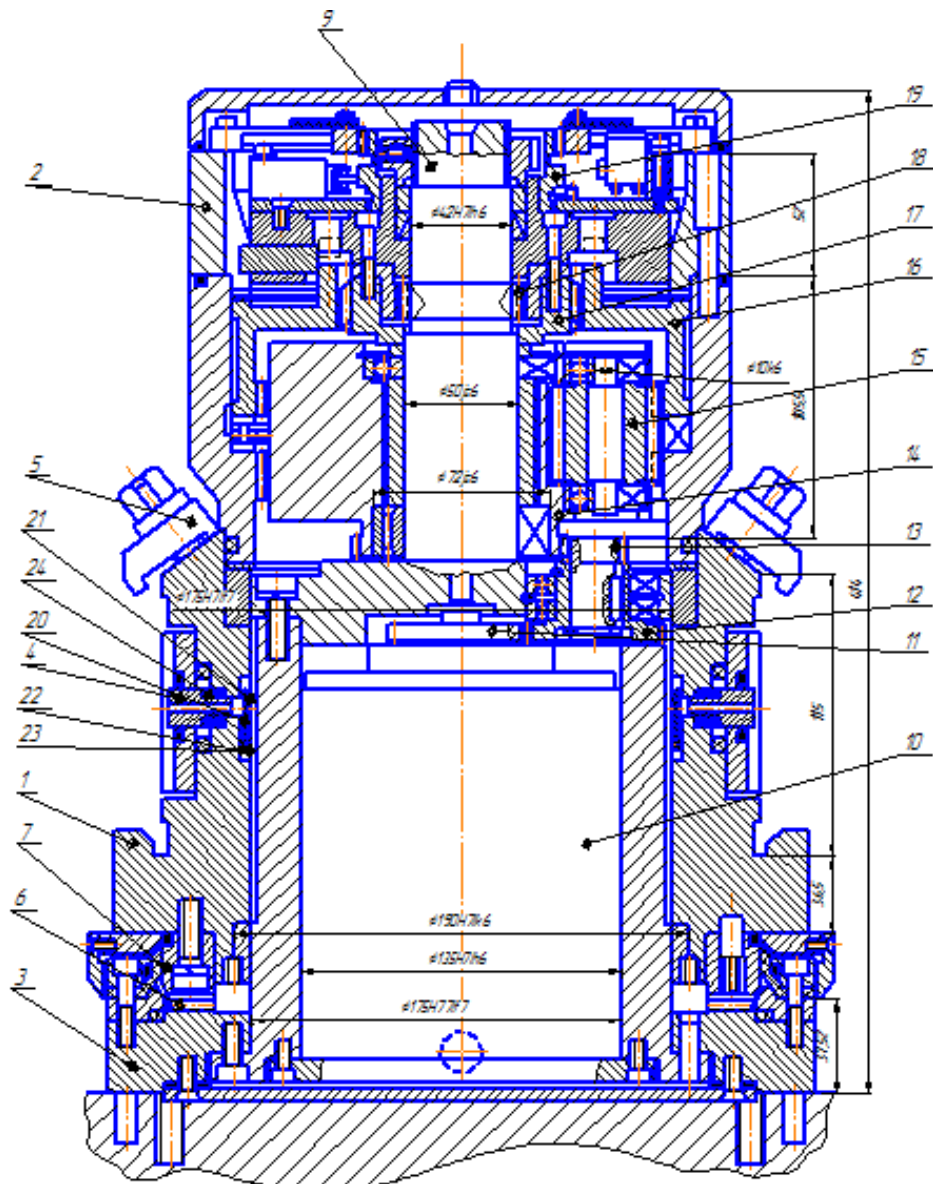


Рисунок 5.15 Конструкція револьверної головки

Рух валу електродвигуна *10* через проміжні і планетарні передачі передається гвинтовій напівмуфті *16*. При повороті напівмуфти *16* корпус револьверної головки підіймається по гвинтових зубах напівмуфти *17* під дією пружин в основі *3*, розчіпляючи напівмуфти *6* і *7*. Після цього корпус може повертатись до заданого положення, що контролюється одним з чотирьох мікровимикачів в командноапараті *19*, який вмонтовується у верхній частині стакана *2*. При спрацьовуванні одного з них надається команда на реверс електродвигуна: при цьому корпус повертається до упору *8* і затискається гвинтовою муфтою у заданому положенні. Окремий мікровимикач дає у цей момент команду на виключення електродвигуна.

ВИСНОВКИ І ПРОПОЗИЦІЇ

В кваліфікаційній роботі проведено аналіз формоутворення оброблюваних поверхонь і вибір раціональних схем оброблення; проведено аналіз деталі на технологічність та вибрано оптимальну заготовку для виготовлення даної деталі; розроблено оптимальний технологічний процес для деталі «кришка» та проведено вибір металообробного обладнання; проведено розрахунок оптимальних режимів різання, норм часу; розроблено структурно-кінематичну та кінематичну схеми верстату для однієї з операцій; проведено повний кінематичний та силовий розрахунок приводу головного руху верстата. Зокрема:

1. Здійснено вибір раціонального маршруту обробки деталі «кришка». Аналітичними та табличними методами призначено режими різання.
2. Аналізуючи деталь-представник та матеріал, з якого вона виготовлена, а також технічні умови при виготовленні, було проведено розгляд можливих варіантів формоутворення, на основі чого здійснено побудову структурно-кінематичної та кінематичної схеми верстата.
3. В якості приводу головного руху використовується двигун постійного струму потужністю $N=22,5$ кВт.
4. Як базову було прийнято компоновку патронного токарного верстату за формулою *ChOZZe*. Дана компоновочна схема дозволить реалізувати на верстаті необхідні формоутворюючі рухи.
5. Як видно із запропонованих результатів розрахунку технологічна собівартість мехобробки за проектним варіантом є меншою, ніж за базовим. Це було забезпечено збільшенням продуктивності обробки, а також скороченням трудомісткості порівняно із базовим варіантом техпроцесу механічної обробки. На основі проведених розрахунків собівартості було прийнято проектний варіант технологічного процесу як оптимальний.

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. Четвержук Т.І. Системний підхід як основа автоматизації проектування та модернізації токарного верстатного обладнання./ Четвержук Т., Полінкевич Р., Редько Р., Склярів Р. // Тези доповідей V Міжнародної науково-практичної конференції «Прикладні науково-технічні дослідження», м. Івано-Франківськ, 5-7 квітня 2021 року. С. 157-159.

7. Четвержук, Т.І. Проблеми та задачі проектування та розрахунку несучих частин металорізальних верстатів з урахуванням навантажень. / Т.І. Четвержук, Р.Г. Редько, Р.М. Полінкевич, О.М. Залета, Б.П. Валецький. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2022. №73. – С. 101-104.
8. Четвержук Т.І. Особливості конструювання горизонтальних станин металорізальних верстатів./ Четвержук Т.І., Полінкевич Р.М., Зубовецька Н.Т., Редько Р.Г. // Тези доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» 26-27 травня 2022р. м. Чернігів. С. 117-119.
9. Редько Р.Г., Редько О.І. Параметрична побудова моделей, реалізованих на мові OBJECT PASCAL, з використанням середовища T-FLEX CAD 3D / Р.Г. Редько, О.І. Редько // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво: Науковий журнал. – Луцьк: ЛНТУ, 2017.– № 28-29. – С. 67-72.
10. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р.
11. Валявський І.А., Крижанівський В.А. Графічне моделювання робочого простору верстата-гексапода // Зб. наукових праць КДТУ / техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація / Вип. 13. – Кіровоград, 2003. – с. 230-235.
12. Дмитрієв Д.О. Кінетостатичний аналіз каркасних компоновок верстатів з механізмами паралельної структури // Науковий журнал "Технологічні комплекси" №2, 2010. – с. 40-45.
13. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55.
14. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Математичне моделювання процесу обробки полігональних поверхонь на токарному верстаті методом

- кінематичного налагодження // Наукові нотатки. Міжвуз. збірник за напрямом "Інженерна механіка", Луцьк, 2007, №20. – С. 232...238.
15. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Обробка полігональних поверхонь: теорія і практика. Монографія. – К.: ТОВ "ГНОЗІС", 2008. – 193 с.
16. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В. Полігональні поверхні в машинобудуванні та нові способи їх обробки // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский технический институт". Машиностроение. – 2001. – № 41. – С. 38...46.
17. Кузнецов Ю.М., Самойленко О.В., Валід Алі Рамадан. Модернізація багатошпиндельного токарного автомату мод. 1Б240-6 для виготовлення деталей з шестигранним отвором // Технологические системы. Научные разработки и результаты исследований. – 2002. – №2 (13). – С. 81...84.
18. Самойленко О.В. Вдосконалення токарних верстатів для обробки полігональних поверхонь методом кінематичного налагодження / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К., 2006. – 195 с.
19. Самойленко О.В. Дослідження пристроїв для обробки полігональних глухих отворів невеликих розмірів // Промислова гідравліка і пневматика. Всеукраїнський науково-технічний журнал. – Вінниця: ВДАУ, 2007. – Вип. 1(15). – С. 105...109.
20. Bing Li . Xiaoping Hu . Hao Wang Analysis and simulation for a parallel drill point grinder. Part 2: grinding kinematic modeling and simulation // Int J Advanced Manufacturing Technology (2006) 30: P. 221–226.
21. Huang Q., Hadeby H., Sohlenius G. Connection Method for Dynamic Modelling and Simulation of Parallel Kinematic Mechanism (PKM) Machines //Int I Adv Manuf Technol (2002) 19:163 – 173, 2002. Springer – Verlag, London, Limited.
22. В.Д.Рудь, Т.Є.Божко, Т.Н.Гальчук. Методологія підготовки випускної роботи за спеціальністю 131 – Прикладна механіка (освітній рівень – бакалавр) / Навчальний посібник/ Під загальною редакцією професора В.Д.Рудя – Луцьк: Інформаційно-видавничий відділ Луцького НТУ. – 2017. – 500 с.

23. Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І. Приводи затискних механізмів металообробних верстатів. – Луцьк: Вежа-Друк, 2016. – 358 с.
24. Кузнецов Ю. М., Придальний Б. І. Проектування цільових механізмів маніпулювання верстатів нового покоління; 2-е видання – Луцьк: Вежа-Друк, 2014. — 428 с.
25. Joaquim Augusto Guerra Hamuyela, Kuznetsov Yu.N., Hamuyela T.O. Sintese Genetico-Morfologica de Porta-Mandris de Fixacao. Lushik: Veja-Imprensa, 2019. – 320 p.
26. Технологічна оснастка: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / Укл. В. С. Медведєв, В. І. Тулупов, С. Г. Онищук – Краматорськ : ДДМА, 2021. – 108 с.
27. Розробка технологічного процесу на прикладі виготовлення ступінчастого вала редуктора: Навчально-методичний посібник для виконання конструкторсько-технологічних розділів дипломного проекту бакалавра студентами спеціальності «Прикладна механіка» (спеціалізація «Інтегровані технології машинобудування») денної, заочної та дистанційної форм навчання / І.М. Пижов. – Х.: НТУ «ХПІ», 2018. – 91 с.