

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»

Розробка технологічного процесу виготовлення деталі корпус та проектування автоматичного пристрою для затиску деталі при фрезеруванні

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)
освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Саєвич Роман Ігорович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Самчук Людмила Михайлівна

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
к.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Четвержук Тарас Іванович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

Луцький національний технічний університет
Факультет Транспорту та механічної інженерії
Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки
Другий (Магістерський) рівень вищої освіти
Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри

_____ Редько Р.Г.

“ _____ ” _____ 2025р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Саєвичу Роману Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка технологічного процесу виготовлення деталі корпус та проектування автоматичного пристрою для затиску деталі при фрезеруванні, керівник роботи Самчук Людмила Михайлівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» червня 2025 р. № 391/01-07
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2025 року.
3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі корпус, річна програма випуску 220000 шт/рік, нормативно-технічна документація, довідникові дані
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Загальний аналіз технологічності. базові розрахунки. Розділ 2. Технологічна частина. Розділ 3. Проектування технологічного. Розділ 4. Проектування дільниці виготовлення деталі. Розділ 5. Аналіз процесу різання. Висновки. Перелік посилань.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Креслення деталі – 1 лист (ф. А2), Карна налагодження для операції 015 – 1 лист (ф. А2), Складальне креслення верстатного пристрою для операції 015 – 1 лист (ф. А1), 3D модель верстатного пристрою для операції 015 – 1 лист (ф. А2) Лінійна схема та компоновка розміщення обладнання – 1 лист (ф.А2).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 04.03.2025р.

Керівник

(підпис)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Аналіз Службового призначення деталі і характеристики об'єкта виробництва</i>	<i>14.04.2025 р.</i>	
2.	<i>Розробка технологічного процесу виготовлення деталі</i>	<i>18.05.2025 р.</i>	
3.	<i>Проектування затискного пристрою для операції 015</i>	<i>18.07.2025 р.</i>	
4.	<i>Розрахунок забезпечення точності пристроєм</i>	<i>12.09.2025 р.</i>	
5.	<i>Проектування контрольного пристрою</i>	<i>17.10. 2025 р.</i>	
6.	<i>Проектування ділянки виготовлення деталі</i>	<i>10.11.2025 р.</i>	
7.	<i>Огляд методики визначення ефективності процесу різання</i>	<i>18.11.2025 р.</i>	
8.	<i>Створення математичної моделі процесу різання</i>	<i>25.11.2025р.</i>	
9.	<i>Електронний варіант роботи</i>	<i>1.12.2025 р.</i>	

Студент

(підпис)

(Сасвич Р.І.)

Керівник роботи

(підпис)

(Самчук Л.М.)

АНОТАЦІЯ

Саєвич Р.І. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі корпус та проектування автоматичного пристрою для затиску деталі при фрезеруванні. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2025.

При розробці технологічного процесу дотримано трьох принципів: технологічного, економічного та організаційного, спроектований технологічний процес повністю забезпечує виконання вимог креслення і технологічних умов на виготовлення деталі. Деталь виготовляється з мінімальними затратами праці. Виготовлення здійснюється в умовах, що забезпечують максимальну ефективність. Проведено аналіз правильності методу обробки поверхонь. При аналізі враховували такі фактори: службове призначення деталі, функціональне призначення поверхонь, вимоги до точності, шорсткості, геометричної форми. Прийнято метод обробки різанням, як найбільш поширений в машинобудуванні. Аналіз технологічності конструкції деталі показав, що матеріал дає можливість отримати заготовку методом лиття, деталь має зручні базові поверхні, деталь дозволяє створювати зручні чистові бази. Підібрано технологічні бази для усіх операцій. Базування забезпечує точність обробки.

Спроектований затискний пристрій позбавляючи заготовку 4-х ступенів свободи. Розрахунок пристрою на забезпечення конструкторських розмірів показав, що задана точність кутового розташування лиски при вибраній схемі установки щодо отвору буде забезпечена. точність поверхонь, що обробляються – лиски (розміри $41 \pm 0,31$ мм, 7×14 мм, отвір $\varnothing 4$ мм) забезпечується. Спроектований контрольний пристрій зменшує час на операцію перевірки на 44% у порівнянні з вимірюванням стандартним вимірювальним інструментом. Похибка вимірювання становить 0,04 мм.

Ключові слова: Корпус, технологія, обробка, технологічна система, автоматизація, оснастка.

ANNOTATION

Saevich R.I. Development of the technological process for manufacturing the part, body and design of an automatic device for embedding the part during milling. – Manuscript.

Master's qualification work for obtaining the qualification of the second (master's) level of higher education in specialty 131 Applied Mechanics - Lutsk National Technical University. - Lutsk, 2025.

When developing the technological process, three principles were followed: technological, economic and organizational, the designed technological process fully ensures the fulfillment of the requirements of the drawing and technological conditions for the manufacture of the part. The part is manufactured with minimal labor costs. Manufacturing is carried out in conditions that ensure maximum efficiency. An analysis of the correctness of the surface treatment method was carried out. The analysis took into account the following factors: the service purpose of the part, the functional purpose of the surfaces, requirements for accuracy, roughness, geometric shape. The cutting method was adopted as the most common in mechanical engineering. An analysis of the manufacturability of the part design showed that the material makes it possible to obtain a workpiece by casting, the part has convenient base surfaces, the part allows you to create convenient finishing bases. Technological bases were selected for all operations. Basing ensures machining accuracy.

A clamping device was designed, depriving the workpiece of 4 degrees of freedom. The calculation of the device to ensure the design dimensions showed that the specified accuracy of the angular location of the flat bar with the selected installation scheme relative to the hole will be ensured. the accuracy of the surfaces being processed - flat bars (dimensions 41 ± 0.31 mm, 7x14 mm, hole $\varnothing 4$ mm) is ensured. The designed control device reduces the time for the inspection operation by 44% in comparison with measurement with a standard measuring tool. The measurement error is 0.04 mm.

Keywords: Housing, technology, processing, technological system, automation, equipment.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ. БАЗОВІ РОЗРАХУНКИ.....	11
1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь.....	11
1.2. Вибір методу отримання заготовки.....	13
1.3. Вибір методу обробки поверхонь (за коефіцієнтом уточнення).....	16
1.4. Визначення типу і організаційної форми виробництва.....	18
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	22
2.1. Аналіз технологічності конструкції деталі.....	22
2.2. Вибір технологічних баз.....	23
2.3. Визначення допусків на технологічні розміри і розрахунок припусків...	26
2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу.....	30
2.5. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання.....	34
2.6. Нормування технологічного процесу.....	38
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ.....	42
3.1. Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми затискного пристрою.....	42
3.2. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки.....	43
3.3. Розрахунок параметрів механізованого приводу пристрою.....	48
3.4. Розрахунок пристрою на точність забезпечення конструкторських розмірів.....	50
3.5. Розрахунок на точність розташування лиски щодо осі деталі (розмір $41 \pm 0,31$ мм).....	50
3.6. Розрахунок забезпечення точності глибини лиски щодо торця (розмір $7h14$ мм).....	53
3.7. Розрахунок точності забезпечення кутового положення оброблюваної лиски щодо отвору $\varnothing 4$ мм.....	54
3.8. Загальний опис конструкції, принцип дії.....	55

3.9. Проектування контрольного пристрою. Розрахунок на точність.....	55
3.10. Загальний опис конструкції, принцип дії.....	56
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ	58
4.1. Уточнення типу виробництва.....	58
4.2. Визначення кількості працівників на дільниці.....	58
4.3. Розрахунок виробничої площі дільниці.....	60
4.4. Розробка технологічного планування дільниці.....	60
4.5. Основні техніко-економічні показники дільниці.....	61
РОЗДІЛ 5 АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ.....	63
5.1. Методика визначення ефективності процесу різання.....	63
5.2. Створення математичної моделі процесу різання під час токарної обробки.....	66
5.3. Аналіз змінних параметрів різання під час точіння.....	69
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	76

ВСТУП

Машинобудування має відігравати ключову роль у прискоренні науково-технічного прогресу в народному господарстві нашої держави. Його розвиток вирізняється автоматизацією технологічних процесів, активним використанням робототехніки та високою продуктивністю праці. Серед численних технологій, що застосовуються в машинобудуванні, обробка різанням є одним із основних способів отримання високоточного машинного компонування. Оскільки вимоги до точності машин і приладів постійно зростають, вдосконалення процесів механічної обробки стає очевидно перспективним. Універсальність і гнучкість цих процесів дають їм переваги над іншими методами виготовлення деталей, особливо в разі виготовлення невеликих партій продукції в умовах індивідуального та серійного виробництва.

У межах магістерської роботи розглянуто й вирішено низку завдань, пов'язаних із проектуванням технологічних процесів та вибором оптимальних параметрів механічної обробки під час токарних операцій. У дослідженні застосовано сучасні підходи до розроблення технологічного процесу виготовлення деталі, а також за допомогою математичного прогнозування визначено оптимальні режими обробки, які забезпечують необхідну якість поверхні.

Актуальність теми. Актуальність даної роботи зумовлена зростаючими вимогами до точності, надійності та якості деталей, що виготовляються у сучасному машинобудуванні. У зв'язку з цим усе більшого значення набуває вдосконалення технологічних процесів, зокрема механічної обробки, яка є одним із основних і найпоширеніших методів отримання прецизійних поверхонь.

Сучасні виробничі умови потребують впровадження науково обґрунтованих підходів до вибору режимів механічної обробки, що дозволяють забезпечити високу якість поверхні, підвищити продуктивність та зменшити витрати. Застосування методів математичного прогнозування при визначенні оптимальних параметрів обробки дає можливість значно підвищити ефективність проектування технологічних процесів.

Таким чином, дослідження, спрямовані на розроблення сучасного технологічного процесу та визначення оптимальних параметрів токарної обробки, є актуальними для підвищення конкурентоспроможності машинобудівної продукції та забезпечення стабільної якості виготовлюваних деталей в умовах індивідуального і серійного виробництва.

Метою роботи є розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» та оптимізація режимів різання при точінні з метою зменшення затрат на процес різання.

Об'єкт дослідження – технологія обробки, технічні засоби та режими різання при обробці деталі «Корпус».

Предмет дослідження – процеси технологічної обробки деталі та процеси різання при токарній обробці деталі «Корпус».

Методи дослідження. Під час створення технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» було проведено всебічний аналіз об'єкта, визначено конструктивні та технологічні обмеження, що впливають на способи механічної обробки. Проектування технологічного процесу виконувалося із застосуванням сучасних методів розроблення й оптимізації, які базуються на прогресивних системах класифікації та кодування, а також передбачають використання комп'ютерної техніки й систем автоматизованого проектування.

Вибір способу отримання заготовки здійснювався з урахуванням техніко-економічних показників, зокрема шляхом визначення мінімальних приведених витрат на її виготовлення. Під час проектування технологічного процесу було враховано можливості застосовуваних методів обробки щодо забезпечення необхідної точності та шорсткості поверхонь. Тип виробництва та його технологічну форму визначено на основі коефіцієнта закріплення операцій.

Технологічність деталі оцінювали за двома основними показниками: якісним і кількісним. Якісну оцінку проводили, аналізуючи матеріал деталі, її геометричну форму, вимоги до якості поверхонь, особливості нанесення розмірів та доступні методи отримання заготовок. Кількісна технологічність визначалася за коефіцієнтами уніфікації, стандартизації, точності та якості обробки поверхонь.

Припуски на механічну обробку визначали за допомогою розрахунково-аналітичного та табличного методів. Під час вибору параметрів режимів різання

враховували вид обробки, тип і габарити інструмента, матеріал його ріжучої частини, характеристики матеріалу заготовки, а також можливості й технічний стан обладнання. Технологічні норми встановлювали розрахунково-аналітичним шляхом. Було розроблено комплекс технологічних процесів у формі технологічної документації та комплекту технологічного оснащення, наявність яких є обов'язковою для забезпечення виробництва деталей у необхідному обсязі та з установленими техніко-економічними показниками. За допомогою математичного моделювання процесу різання під час токарної обробки виконано оптимізацію параметрів різання, що дало змогу досягти максимальної ефективності обробки при мінімальних витратах.

Новизна одержаних результатів. Розроблений технологічний процес є оригінальним і забезпечує виготовлення деталі відповідно до вимог технічного завдання. Створені затискні пристрої підвищують гнучкість механообробного обладнання та скорочують час виготовлення деталі. Запропонована математична модель у вигляді системи рівнянь, що відображає взаємозв'язки між параметрами обробки, технологічними обмеженнями та критерієм оптимальності, побудована на основі класичних залежностей теорії різання. Вона дала змогу оптимізувати режими різання, мінімізувати витрати на процес і забезпечити необхідну якість деталі.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено технологічний процес виготовлення деталі. Проведено аналіз технологічності деталі, розраховано та порівняно два методи отримання заготовки, після чого обрано оптимальний. За допомогою розрахунку коефіцієнтів закріплення операцій для кожної технологічної операції визначено тип виробництва – крупносерійний, та його форму – потокову.

Для заготовки виконано розрахунок припусків на механічну обробку за розрахунково-аналітичним та табличним методами. Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева та розмірних ланцюгів в осьовому й радіальному напрямках показав, що запропонований варіант відповідає вимогам, оскільки всі конструктивні розміри забезпечуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій.

Розроблено затискний та контрольний пристрої, використання яких дозволить скоротити час виготовлення та перевірки основних геометричних параметрів деталі. Крім того, проведено оптимізацію параметрів процесу різання під час токарної обробки, що забезпечує необхідну якість поверхні при мінімальних енергетичних витратах і максимальну ефективність механічної обробки.

Апробація результатів роботи. Р. Саєвич Розробка технологічного процесу виготовлення корпусної деталі та проектування автоматичного пристрою для її фіксації при фрезеруванні/ Р. Саєвич, Л. Самчук /Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії”. Луцьк: ЛНТУ – 2025р.– с.162-163.

Особистий внесок магістранта. При виконання кваліфікаційної роботи магістра магістрантом проведено проектування детального технологічного процесу виготовлення деталі «Корпус» з розробкою допоміжного технологічного оснащення, проектуванням ділянки для виготовлення деталі та математичними розрахунками параметрів процесу різання.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ. БАЗОВІ РОЗРАХУНКИ

1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь

Деталь корпус фільтра осадового відноситься до класу корпусних деталей. Деталь рекомендується отримувати методом лиття під тиском із латуні ЛЦ40С EN 1982:2018. Застосовується для механічної очистки робочого середовища від бруду, іржі, стружки, та захисту обладнання в системах опалення, тепловодопостачання та кондиціювання.

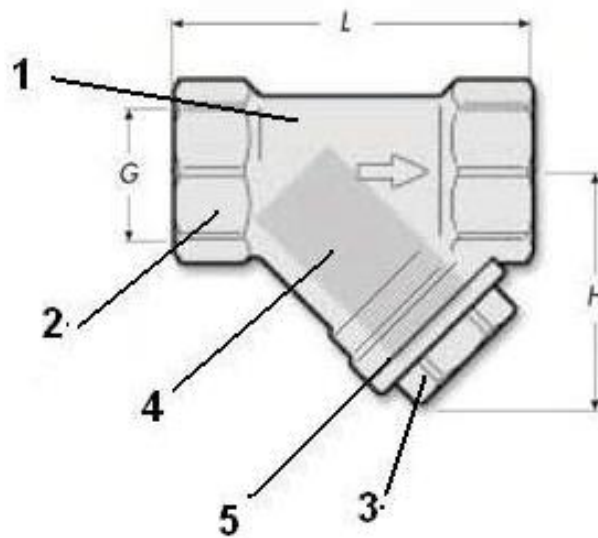


Рисунок 1.1 Схема деталі в зборі

Елементи виробу:

- 1 – корпус;
- 2 – з'єднувальна частина;
- 3 – зливна пробка (бронза);
- 4 – сітка (нержавіюча сталь AISI 304);
- 5 – ущільнююча прокладка (нітрил NBR).

Таблиця 1.1 – Основні габаритні характеристики

DN, мм	20
G, дюйм	¾”
H, мм	41
L, мм	65
Маса, кг	0,2
Умовна пропускна спроможність Kv, м ³ /год	7,9

Сітчастий фільтруючий елемент виконаний з нержавіючої сталі, що забезпечує довгий термін служби. Не потребує заміни прокладки зливної пробки після повторної установки сітки. Є можливість очистки фільтруючого елемента, який демонтується через зливну пробку. Різьбове з’єднання згідно стандарту ISO 228/1, що відповідає EN 1982:2018. Хімічні і механічні властивості матеріалу заготовки в таблицях [1].

Таблиця 1.2 – Хімічний склад латуні ЛЦ40С EN 1982:2018, %

Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Pb	Zn	Sb	Sn	Домішок
до 0,8	до 0,3	до 0,5	до 1	до 0,5	57-61	0,8-2	35-42,2	до 0,05	до 0,5	всього 2

Таблиця 1.3 – Механічні властивості і допустимі напруги вилівка із латуні ЛЦ40С EN 1982:2018

	Розмір	Напр.	σв (МПа)	σТ (МПа)	δ5 (%)	ψ %	КСУ (к Дж / м2)
Лиття в піщану форму			215		12		
Лиття в кокіль			215		20		
Центробіжне лиття			215		20		

1.2. Вибір методу отримання заготовки

Процес вибору методу одержання заготовки є складним і залежить від багатьох факторів. Дана деталь виготовляється із латуні ЛС40С. Марка матеріалу обумовлює отримання заготовки методом лиття. Виробництво цієї деталі відповідає масовому типу виробництва. Доцільність застосування того чи іншого методу отримання заготовки оцінюють за техніко-економічними показниками. Цю оцінку здійснюють за мінімальною величиною приведених витрат на виготовлення заготовки згідно з формулою [2]:

$$S_{заг} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot k_T \cdot k_C \cdot k_B \cdot k_M \cdot k_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{від}}{1000}, \quad (1.1)$$

де $C_i = 135659$ грн. – базова вартість 1 т заготовок, грн.;

$q = 0,226$ кг – маса готової деталі, кг.;

$S_{від} = 37500$ грн. – ціна 1 т відходів, грн.;

Q - маса заготовки, кг.;

k_T, k_C, k_B, k_M, k_n - коефіцієнти, які залежать від класу точності, групи складності, маси, марки матеріалу й обсягу виробництва заготовок;

$k_T = 1, k_M = 1,11, k_C = 1, k_B = 0,81, k_n = 1,07$.

Знаходимо масу заготовки за [2]:

$$Q = q + M_{np}, \quad (1.2)$$

де M_{np} – маса припусків, кг.

Розбиваємо корпус на окремі елементарні об'єми.

Згідно з формулою [3]:

$$q = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho, \quad (1.3)$$

де V_i – елементарний об'єм деталі, $см^3$,

$q = 8500$ кг/м³ - питома густина матеріалу,

$$V_i = \pi R_i^2 H_i, \quad (1.4)$$

$$V_1 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,085^2 \cdot 14 = 6420,236 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_4 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,085^2 \cdot 14 = 6420,236 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,5^2 \cdot 37 = 18153,125 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10^2 \cdot 37 = 11618 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 15,5^2 \cdot 15 = 11315,775 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,5^2 \cdot 15 = 7359,375 \text{ мм}^3;$$

$$V_9 = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 14,25^2 \cdot 18) - 40\% = 6886,256 \text{ мм}^3;$$

$$V_{10} = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 11,75^2 \cdot 18) - 37\% = 4916,075 \text{ мм}^3;$$

$$V = (V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) + (V_5 + V_6) + (V_7 - V_8) + (V_9 - V_{10}) = 26546,734 \text{ мм}^3.$$

$$Q_1 = 8500 \cdot 26546,734 \cdot 10^{-9} = 0,226 \text{ кг},$$

$$V = (V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) + (V_5 + V_6) + (V_7 - V_8) + (V_9 - V_{10}) = (13462,75 - 6420,236) + (13462,75 - 6420,236) + (18153,125 - 11618) + (11315,775 - 7359,375) + (6886,256 - 4916,075) = 26546,734 \text{ мм}^3$$

Після знаходження елементарних об'ємів і простих підрахунків маса деталі дорівнює:

$$q = 8500 \cdot 26546,734 \cdot 10^{-9} = 0,226 \text{ кг}.$$

Для визначення маси заготовки необхідно знайти величину припусків. Оскільки величину припусків ще не проводимо, то для першого методу (лиття в кокіль), візьмемо величину припусків 2,5 мм. Масу заготовки знайдемо по розмірах деталі з врахуванням припусків.

$$V_1 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 9,585^2 \cdot 14 = 4038,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_4 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 9,585^2 \cdot 14 = 4038,7 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,5^2 \cdot 37 = 18153,125 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10^2 \cdot 37 = 11618 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 15,5^2 \cdot 15 = 11315,775 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10^2 \cdot 15 = 4710 \text{ мм}^3;$$

$$V_9 = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 14,25^2 \cdot 18) - 40\% = 6886,256 \text{ мм}^3;$$

$$V_{10} = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 9,25^2 \cdot 18) - 37\% = 3046,675 \text{ мм}^3.$$

$$V = (V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) + (V_5 + V_6) + (V_7 - V_8) + (V_9 - V_{10}) = 35828,581 \text{ мм}^3$$

$$Q_1 = 8500 \cdot 35828,581 \cdot 10^{-9} = 0,3045 \text{ кг}.$$

Враховуючи, що при литті під тиском величина припусків рівна 1,2 мм, тоді:

$$V_1 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_2 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10,885^2 \cdot 14 = 5208,52 \text{ мм}^3;$$

$$V_3 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 17,5^2 \cdot 14 = 13462,75 \text{ мм}^3;$$

$$V_4 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10,885^2 \cdot 14 = 5208,52 \text{ мм}^3;$$

$$V_5 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 12,5^2 \cdot 37 = 18153,125 \text{ мм}^3;$$

$$V_6 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 10^2 \cdot 37 = 11618 \text{ мм}^3;$$

$$V_7 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 15,5^2 \cdot 15 = 11315,775 \text{ мм}^3;$$

$$V_8 = \pi R^2 H = 3,14 \cdot 11,3^2 \cdot 15 = 6014,199 \text{ мм}^3;$$

$$V_9 = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 14,25^2 \cdot 18) - 40\% = 6886,256 \text{ мм}^3;$$

$$V_{10} = \pi R^2 H = (3,14 \cdot 10,55^2 \cdot 18) - 37\% = 3963,2 \text{ мм}^3;$$

$$V = (V_1 - V_2) + (V_3 - V_4) + (V_5 + V_6) + (V_7 - V_8) + (V_9 - V_{10}) = 31268,216 \text{ мм}^3.$$

$$Q_2 = 8500 \cdot 31268,216 \cdot 10^{-9} = 0,266 \text{ кг}.$$

Мінімальна величина приведених витрат на виготовлення заготовки знаходимо за [1]:

$$S_{\text{сд}\bar{a}_1} = \left(\frac{135659}{1000} \cdot 0,3045 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1,11 \cdot 1,07 \right) - (0,3045 - 0,226) \cdot \frac{37500}{1000} = 36,796 \text{ грн.},$$

$$S_{\text{сд}\bar{a}_2} = \left(\frac{135659}{1000} \cdot 0,266 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,81 \cdot 1,11 \cdot 1,07 \right) - (0,266 - 0,226) \cdot \frac{37500}{1000} = 32,787 \text{ грн.},$$

За результатами розрахунків робимо висновок, що лиття під тиском доцільніше використовувати, тому що величина приведених витрат менша. Економічний ефект знаходимо за [3]:

$$E = (S_1 - S_2) \cdot N, \quad (1.5)$$

де S_1, S_2 - мінімальні величини приведених витрат на виготовлення заготовки різними методами, грн.,

N - річна програма випуску, шт.

$$E = (36,796 - 32,787) \cdot 220000 = 881980 \text{ грн.}$$

1.3. Вибір методу обробки поверхонь (за коефіцієнтом уточнення)

На правильний вибір методу обробки поверхонь заготовки впливають такі фактори, як службове призначення деталі, функціональне призначення поверхонь, вимоги до точності, шорсткості, геометричної форми, тощо. Аналізуючи дану деталь приймаємо метод обробки різанням, як найбільш поширений в машинобудуванні.

Вимоги, які ставляться до деталі, дозволяють зробити цей вибір. Обробку поверхонь необхідно виконувати за декілька переходів на кожному з яких використовуємо свій вид обробки. Згідно з рекомендаціями при обробці заготовки необхідно забезпечити мінімальну кількість установів, підвищену продуктивність праці, точність обробки [4].

Можливі 2 шляхи пошуку методу і маршруту обробки поверхонь. Перший шлях пошуку – визначення числа ступенів та методів обробки поверхонь, що рекомендують довідники і технічна література. Другий шлях пошуку – визначення числа ступенів обробки на основі розрахунків уточнення.

Наприклад, для даної деталі, яка має циліндричну внутрішню поверхню $\varnothing 23,5$ мм з допуском Н7. Заготовка виготовлена за методом лиття під тиском і досягає точності Н12. Загальне уточнення за [4]:

$$E = \frac{T_3}{T_0} = E_1 \cdot E_2 \dots E_n = \sum_{i=1}^n E_i, \quad (1.6)$$

де E – загальні уточнення,

E_i – окремі ступені уточнення,

n – число ступенів обробки,

$T_3 = 210$ мкм – допуски параметрів, що розглядаються відповідно до заготовки,

$T_0 = 21$ мкм – допуски параметрів, що розглядаються відповідно до деталі,

$$E = \frac{210}{21} = 10.$$

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів використовуємо формулу [4]:

$$n = \frac{\lg E}{0,46} = \frac{\lg 10}{0,46} = 2,174, \quad (1.7)$$

Приймаємо $n=2$ ступені обробки. Після чорнової обробки точність збільшується з Н12 до Н9, після чистової обробки з Н9 до Н7, що цілком відповідає рекомендаціям вибору методу обробки по економічній точності.

005 Токарно-револьверна операція

1. Зенкерувати поверхню 1 $\varnothing 25,43_{+0,3}$ мм на довжину на $L=15$ мм.
2. Зенкерувати поверхню 2 $\varnothing 28,5_{+0,52}$ мм з конусом 45° , канавку на $\varnothing 29,5_{+0,33}$ мм, витримати розмір $2,5_{-0,25}$ мм.
3. Зенкерувати поверхню 3 $\varnothing 23,5$ мм на $L=18$ мм.
4. Розгорнути поверхню 3 $\varnothing 23,5$ мм.
5. Нарізати різьбу $M27 \times 1,5-7H$ по поверхні 1 на $L=11_{+0,43}$ мм.

$$T_{005} = 30,5 \text{ хв.}$$

010 Токарно-револьверна операція

1. Зенкерувати отвір 4 $\varnothing 24,17_{+0,28}$ вхідного патрубка на $L = 13 \pm 0,2$ мм.

2. Нарізати різьбу G3/4-B на $L = 11_{+0,43}$ мм по поверхні 4.

$$T_{010} = 12,5 \text{ хв.}$$

015 Токарно-револьверна операція

1. Зенкерувати отвір 4 $\varnothing 24,17_{+0,28}$ вихідного патрубка на $L = 13 \pm 0,2$ мм.

2. Нарізати різьбу G3/4-B на $L = 11_{+0,43}$ мм по поверхні 5 з підрізкою торця в розмір $65_{-0,74}$ мм по поверхні 6.

$$T_{015} = 12,5 \text{ хв.}$$

1.4. Визначення типу і організаційної форми виробництва

У машинобудуванні розрізняють умовно три основні типи виробництва: масове, серійне та одиничне. А також дві форми організації: потокова і групова. Тип виробництва, як найбільш виражена загальна організаційно-технічна характеристика виробництва, визначається ступенем спеціалізації робочих місць, номенклатурою об'єктів виробництва, формою рухів виробів по робочих місцях. Ступінь спеціалізації робочих місць характеризується коефіцієнтом закріплення операцій, що виконується на даному робочому місці на протязі місяця. Коефіцієнт закріплення визначається за формулою [5]:

$$K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (1.8)$$

Кількість робочих місць визначаємо за формулою [5]:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (1.9)$$

де $N=220000$ шт. – річна програма випуску,

$F_{\delta} = 4059$ год. – річний фонд робочого часу;

$\eta_{з.н.}$ – нормативний коефіцієнт завантаження;

$T_{шт.к.}$ – штучно-калькуляційний час на операціях, хв.

Знайдемо середній штучно-калькуляційний час за [5]:

$$T_{шт.к} = T_0 \cdot \varphi, \quad (1.10)$$

де φ – коефіцієнт, який залежить від операцій і типу виробництва,

T_0 - основний технологічний час,

$$T_0 = \frac{30,5 + 12,5 + 12,5}{3} = 18,5 \text{ хв}$$

За масою і програмою випуску попередньо вибираємо тип виробництва – масовий. Вибираємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання $\eta_{з.н.}$: для масового виробництва $0,65 \div 0,75$.

Приймаємо $\eta_{з.н.} = 0,7$.

Визначаємо розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції за 1.9:

$$m_{p_{005}} = \frac{220000 \cdot 30,5}{60 \cdot 4059 \cdot 0,7} = 39,359.$$

Заокруглюємо m_p в більшу сторону до цілого числа і отримуємо кількість робочих місць $P=40$. Розраховуємо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання за [5]:

$$\eta_{з.д.} = \frac{m_p}{P} < \eta_{з.н.}, \quad (1.11)$$

$$\eta_{з.д.} = \frac{39,359}{40} = 0,984 > \eta_{з.н.} = 0,7$$

Умова не виконується, тому збільшуємо $p=56$:

$$\eta_{з.д.} = \frac{39,359}{56} = 0,702$$

Умова виконується.

Розраховуємо кількість операцій, які виконуються на цьому обладнанні за [5]:

$$O = \frac{n_{з.н.}}{n_{з.ф}}, \quad (1.12)$$

Де $n_{з.н} = 0,7$ – нормативний коефіцієнт завантаження обладнання,

$n_{з.ф} = 0,72$ – дійсний коефіцієнт завантаження обладнання, розраховуємо за [1]:

$$O_{005} = \frac{0,7}{0,702} = 0,997 .$$

Для інших операцій проводимо аналогічний розрахунок за формулами 1.9 – 1.12. Результати заносимо в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахункові дані завантаження обладнання

Операція	$T_{шт.к.}$	m_p	p	$\eta_{з.д.}$	O
005	30,5	39,359	56	0,702	0,997
010	12,5	16,131	23	0,701	0,998
015	12,5	13,131	23	0,701	0,998
Сума	55,5	-	102	2,104	2,993

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій за 1.8:

де O – загальна сума операцій,

P – загальна сума робочих місць.

$$K_{з.о.} = \frac{2,993}{102} = 0,029$$

Оскільки, $K_{з.о.} < 1$, отже тип виробництва масовий.

Визначаємо організаційну форму виробництва.

Добовий випуск виробів розраховуємо за формулою [5]:

$$N_c = \frac{N}{254}, \quad (1.13)$$

де $N=22000$ шт. – загальний обсяг випущених деталей.

$$N_c = \frac{220000}{254} = 866,142 \approx 866 \text{ шт.}$$

Добову продуктивність потокової лінії знаходимо за [5]:

$$Q = \frac{F_c}{T_{шт.сер}} \cdot \eta_{з.ф.сер}, \quad (1.14)$$

де $F_c = 952$ хв. – добовий фонд роботи обладнання (при 2-х змінній роботі),

$\eta_{з.ф.сер}$ – середній дійсний коефіцієнт завантаження обладнання, за 1.15,

$T_{шт.сер}$ – середній штучний час, вибираємо з таблиці [5],

$$Q = \frac{952}{18,5} \cdot 0,701 = 36,07 \approx 36 \text{ шт.}$$

$$T_{осн} = \frac{\sum \eta_{з.ф.с}}{n}, \quad (1.15)$$

де $\eta_{з.ф.с}$ – сумарний дійсний коефіцієнт завантаження обладнання,

n – кількість операцій,

$$T_{осн} = \frac{2,104}{3} = 0,701$$

$$Q \cdot 0,6 = 36 \cdot 0,6 = 22 < N_c = 866.$$

Отже форма організації потокова.

Визначаємо такт випуску виробів знаходимо за [5]:

$$t_d = \frac{60 \cdot F_{\dot{a}}}{N}, \quad (1.16)$$

де $F_{\dot{a}} = 4059$ год. – річний фонд робочого часу,

$N = 220000$ шт. – загальний обсяг випущених деталей.

$$t_d = \frac{60 \cdot 4059}{220000} = 1,107 \text{ хв.}$$

Висновки. В даному розділі здійснено аналіз службового призначення деталі і характеристику об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь та вимоги до її якості. Особлива увага до точності приділяється до внутрішніх поверхонь. На основі оцінки мінімальної величини приведених витрат на виготовлення заготовки визначили доцільність застосування двох методів отримання заготовки – лиття в пісчано-глинясті форми та лиття під тиском. Різниця у вартості заготовки між цими методами в розрізі річної програми випуску становить 88 тис. грн.

Проведено аналіз правильності методу обробки поверхонь. При аналізі враховували такі фактори: службове призначення деталі, функціональне призначення поверхонь, вимоги до точності, шорсткості, геометричної форми. Прийнято метод обробки різанням, як найбільш поширений в машинобудуванні.

Враховуючи ступінь спеціалізації робочих місць, номенклатуру об'єктів виробництва, форму рухів виробів по робочих місцях визначено тип та організаційну форму виробництва. Розрахунки базувались на визначенні коефіцієнту закріплення операцій. Тип виробництва – масовий, організаційна форма виробництва – потокова.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Технологічність деталі оцінюють по двох параметрах: якісному і кількісному. Якісну оцінку технологічності деталі проводимо по матеріалу, геометричній формі, якості поверхонь, по постановці розмірів і можливих методах отримання заготовок. Відносно характеристик якісного рівня можна констатувати наступне [6]:

1. Матеріал, який пропонується для виготовлення корпусу дає можливість отримати заготовку методом лиття;
2. Деталі мають зручні базові поверхні;
3. Вимоги до точності і шорсткості до більшості оброблюваних поверхонь невеликі, що дозволяє використовувати одноразову обробку;
4. Деталі мають можливість створення зручних чистових баз, що дозволяє механічну обробку поверхонь високої точності з використання принципу постійності і єдності баз;
5. Осі всіх основних отворів розміщені паралельно або перпендикулярно до площин основи;

Кількісну оцінку проводимо по абсолютним і відносним показникам. В першу чергу, потрібно встановити показники базової деталі: коефіцієнт використання матеріалу, точність обробки, шорсткість поверхонь, трудомісткість виготовлення, технологічна собівартість. Коефіцієнт точності обробки визначаємо за формулою [6]:

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{A_{\text{нб}}}, \quad (2.1)$$

де A_{cp} - середній квалітет точності розмірів, знаходимо за формулою [6]:

$$A_{\text{нб}} = \frac{n_1 + 2n_2 + 3n_3 + \dots + 19n_{19}}{\sum n_i} = \frac{7 \cdot 4 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 1}{6} = 7,833, \quad (2.2)$$

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{7,86} = 0,873.$$

Коефіцієнт шорсткості розраховується за [6]:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{\text{Ш}_{cp}} \quad (2.3)$$

де Ш_{cp} - середня шорсткість поверхонь, за [6]:

$$\text{Ш}_{cp} = \frac{0,01n_1 + 0,02n_2 + \dots + 40n_{13}}{\sum n_i} = 1,97 \quad (2.4)$$

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{1,97} = 0,508 \quad \text{- деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу знаходимо за [6]:

$$K_{BM} = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (2.5)$$

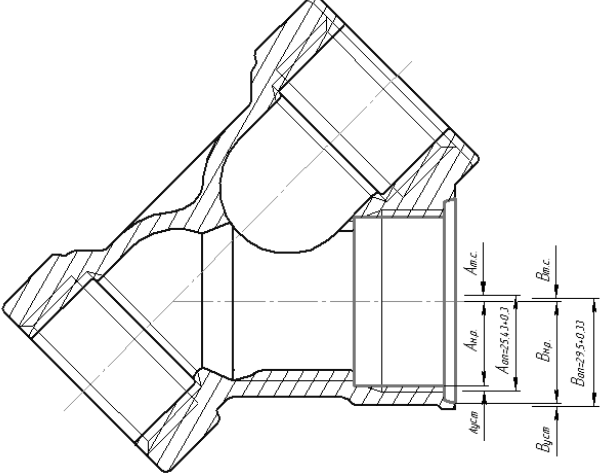
де $Q_{\text{дет}} = 0,226 \text{ кг}$ – маса деталі,

$Q_{\text{заг}} = 0,266 \text{ кг}$ – маса заготовки,

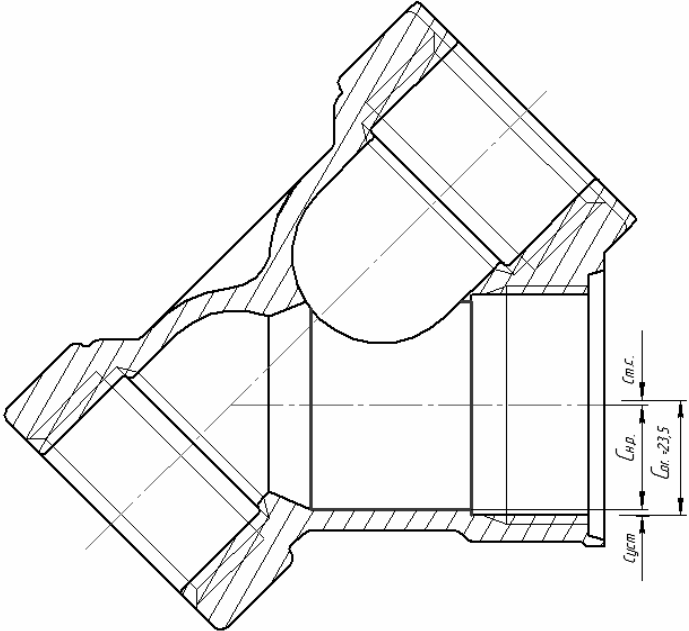
$$K_{BM} = \frac{0,226}{0,266} = 0,85 \quad \text{- деталь технологічна.}$$

2.2. Вибір технологічних баз

Таблиця 2.1 – Технологічні бази на операції обробки

Ескіз обробки	Розрахунок похибок баз
1	2
<p>005 Токарно-револьверна</p> 	<p>1. $W_{A_{он}} = W_{н.р.} + W_{м.с.} + W_{у.с.м}$</p> <p>$W_{\bar{n}} = W_{i.д.} + W_{o.н.} = 0,25 \text{ мм};$</p> <p>$W_{\bar{o}\bar{o}} = 0,03 \text{ мм};$</p> <p>$W_{A_{\bar{v}}} = 0,25 + 0,03 = 0,28 \text{ мм};$</p> <p>$A_{\bar{v}} = 25,43 \pm 0,3 \text{ мм};$</p> <p>$T = 0,21 \text{ мм}.$</p>

Продовження таблиці 2.1

1	2
<p>005 Токарно-револьверна</p> 	<p>2. $W_{B_{on}} = W_{н.р.} + W_{м.с.} + W_{узм}$</p> <p>$W_{\bar{n}} = W_{i.\delta.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,25 \text{ мм};$</p> <p>$W_{\delta\bar{n}\delta} = 0 \text{ мм};$</p> <p>$W_{B_{i\bar{i}}} = 0,25 + 0 = 0,25 \text{ мм};$</p> <p>$B_{i\bar{i}} = 29,5 + 0,33 \text{ мм};$</p> <p>$T = 0,21 \text{ мм}.$</p> <p>3. $W_{C_{on}} = W_{н.р.} + W_{м.с.} + W_{узм}$</p> <p>$W_{\bar{n}} = W_{i.\delta.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,25 \text{ мм};$</p> <p>$W_{\delta\bar{n}\delta} = 0 \text{ мм};$</p> <p>$W_{C_{i\bar{i}}} = 0,25 + 0 = 0,25 \text{ мм};$</p> <p>$C_{i\bar{i}} = 23,5 \text{ мм};$</p> <p>$T = 0,052 \text{ мм}.$</p> <p>4. $W_{C_{i\bar{i}}} = W_{i.\delta.} + W_{\delta.\bar{n}.} + W_{\delta\bar{n}\delta}$</p> <p>$W_{\bar{n}} = W_{i.\delta.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,15 \text{ мм};$</p> <p>$W_{\delta\bar{n}\delta} = 0 \text{ мм};$</p>

	$W_{C_{i\bar{i}}} = 0,15 + 0 = 0,15 \text{ мм};$ $C_{i\bar{i}} = 23,5 \text{ мм};$ $T = 0,021 \text{ мм}.$ 5. $W_{A_{i\bar{i}}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} + W_{\delta\bar{n}\delta}$ $W_{\bar{n}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,15 \text{ мм};$ $W_{\delta\bar{n}\delta} = 0 \text{ мм};$ $W_{A_{i\bar{i}}} = 0,15 + 0 = 0,15 \text{ мм};$ $A_{i\bar{i}} = 27 \text{ мм};$ $T = 0,021 \text{ мм}.$
--	--

Продовження таблиці 2.1

1	2
<p>010 Токарно-револьверна</p>	<ol style="list-style-type: none"> $W_{A_{i\bar{i}}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} + W_{\delta\bar{n}\delta}$ $W_{\bar{n}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,25 \text{ мм};$ $W_{\delta\bar{n}\delta} = 0,025 \text{ мм};$ $W_{A_{i\bar{i}}} = 0,25 + 0,025 = 0,275 \text{ мм};$ $A_{i\bar{i}} = 24,17 + 0,28 \text{ мм};$ $T = 0,052 \text{ мм}.$ $W_{\dot{A}_{i\bar{i}}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} + W_{\delta\bar{n}\delta}$ $W_{\bar{n}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} = 0,15 \text{ мм};$ $W_{\delta\bar{n}\delta} = 0 \text{ мм};$ $W_{\dot{A}_{i\bar{i}}} = 0,15 + 0 = 0,15 \text{ мм};$ $\dot{A}_{i\bar{i}} = 25,37 + 0,28 \text{ мм};$ $T = 0,021 \text{ мм}.$
<p>015 Токарно-револьверна</p>	<ol style="list-style-type: none"> $W_{A_{i\bar{i}}} = W_{i.\bar{\delta}.} + W_{\delta.\bar{n}.} + W_{\delta\bar{n}\delta}$

де $\rho_{кор}$ - питоме короблення отвору виливка, мкм, за (2.7)

$\rho_{см}$ - сумарне зміщення отвору виливка, мкм, за (2.8)

$$\rho_{\epsilon i \delta} = \sqrt{(\Delta_k \cdot d)^2 + (\Delta_k \cdot l)^2}, \quad (2.7)$$

де $\Delta_k = 0,7$ мкм/м – питоме короблення виливка,

$d = 23,5$ мм – діаметр отвору,

$l = 18$ мм – довжина отвору,

$$\rho_{\epsilon i \delta} = \sqrt{(0,7 \cdot 23,5)^2 + (0,7 \cdot 18)^2} = 20,721 \text{ мкм},$$

$$\rho_{\bar{m}} = \sqrt{\left(\frac{\delta_{\bar{A}}}{2}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{\bar{A}}}{2}\right)^2}, \quad (2.8)$$

де $\delta_{\bar{A}}$, $\delta_{\bar{A}}$ - припуски,

$$\rho_{\bar{m}} = \sqrt{\left(\frac{210}{2}\right)^2 + \left(\frac{210}{2}\right)^2} = 148,49 \text{ мкм},$$

$$\rho = \sqrt{148,49^2 + 20,721^2} = 149,929 \text{ мкм}.$$

Решта просторових відхилень після механічної обробки будуть дорівнювати [8]:
Зенкерування $\rho_1 = K_y \cdot \rho = 0,05 \cdot 149,929 = 7,496$ мкм.

$K_y = 0,05$ - коефіцієнт уточнення форми.

Оскільки для чистового точіння відхилення малі, то вони не будуть впливати на кінцевий результат розрахунків. Тому ними можна знехтувати.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Припуски на обробку отвору $\varnothing 23,5$

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			
	R_z	T	ρ	ϵ
Заготовка	20	140	149,929	-
Зенкерування	50	50	7,496	50
Розгорткування	10	25	0,375	0

На основі цих даних проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків за формулою [8]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{Z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon^2}). \quad (2.9)$$

Мінімальний припуск під зенкерування [8]:

$$2Z_{\min 1} = 2(20 + 140 + \sqrt{149,929^2 + 50^2}) = 2 \cdot 318,047 \text{ мкм.}$$

Мінімальний припуск під розсортування [8]:

$$2Z_{\min 2} = 2(50 + 50 + \sqrt{7,496^2 + 0^2}) = 2 \cdot 107,496 \text{ мкм.}$$

Розрахунковий розмір d починається з кінця, тобто з розміру $\varnothing 23,521 \text{ мм}$, послідовним відхиленням разового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

$$d_{p_3} = 23,521 \text{ мм,}$$

$$d_{p_2} = d_{p_3} - 2Z_{\min 2}, \quad (2.10)$$

$$d_{p_2} = d_{p_3} - 2Z_{\min 2} = 23,521 - 2 \cdot 0,107 = 23,307 \text{ мм,}$$

$$d_{p_1} = d_{p_2} - 2Z_{\min 1} = 23,307 - 2 \cdot 0,318 = 22,671 \text{ мм.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.3

Значення допусків кожного методу приймаються відповідно до квалітетів того чи іншого виду обробки з урахуванням розрахунків. Граничні розміри отвору розраховуємо таким чином:

d_{\max} - отримуємо з разового розміру d шляхом округлення до точності допуску відповідного переходу,

d_{\min} - отримуємо з найбільшого граничного розміру d шляхом віднімання допуску відповідного переходу.

Таким чином, для розгорткування:

$$d_{\max} = 23,521 \text{ мм,}$$

$$d_{\min} = 23,521 - 0,021 = 23,5 \text{ мм.}$$

для зенкерування:

$$d_{\max} = 23,307 \text{ мм,}$$

$$d_{\min} = 23,307 - 0,052 = 23,255 \text{ мм.}$$

для заготовки:

$$d_{\max} = 22,671 \text{ мм;}$$

$$d_{\min} = 22,671 - 0,21 = 22,461 \text{ мм.}$$

Одержані за розрахунками дані по (2.9 – 2.10) заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Розрахункові розміри з врахуванням похибок

№ пере- ходу	Технологічні переходи	Кваліт ет точно сті	Розрахун- ковий розмір d_p , мм	Допуск δ , мкм	Граничні розміри, мм		Граничні значення припуски в, мкм	
					d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}^{ep}$	$2Z_{\max}^{ep}$
1	Заготовка	12	22,671	210	22,461	22,671	-	-
2	Зенкерування	9	23,307	52	23,255	23,307	636	794
3	Розгорткування	7	23,521	21	23,5	23,521	214	245

Мінімальні граничні значення припусків $2Z_{\min}^{ep}$ рівні різниці найбільших граничних розмірів даного переходу з попереднього, а максимальне значення $2Z_{\max}^{ep}$ - відповідно різниці найменших граничних розмірів.

Тоді для розгорткування:

$$2Z_{\min 3}^{\ddot{a}} = 23,521 - 23,307 = 214 \text{ мкм,}$$

$$2Z_{\max 3}^{\ddot{a}} = 23,5 - 23,255 = 245 \text{ мкм.}$$

Для зенкерування:

$$2Z_{\min 2}^{\ddot{a}} = 23,307 - 22,671 = 636 \text{ мкм,}$$

$$2Z_{\max 2}^{\ddot{a}} = 23,255 - 22,461 = 794 \text{ мкм.}$$

Загальні припуски $2Z_{\min}^{zag}$ і $2Z_{\max}^{zag}$ отримуємо, додаючи проміжні припуски:

$$2Z_{\min}^{s\ddot{a}\ddot{a}} = 214 + 636 = 2 \cdot 425 \text{ мкм},$$

$$2Z_{\max}^{s\ddot{a}\ddot{a}} = 245 + 794 = 2 \cdot 519,5 \text{ мкм}.$$

Для всіх інших поверхонь, що обробляються, припуски знаходимо за табличним методом.

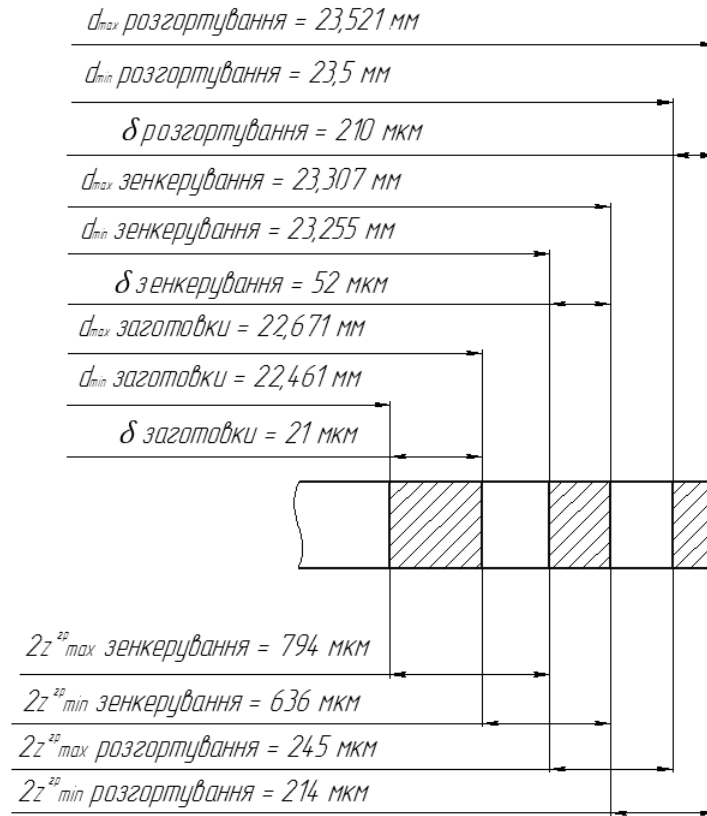


Рисунок 2.1 Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку отвору $\varnothing 23,5H7$ корпусу фільтра

Для всіх інших поверхонь, що обробляються, припуски знаходимо за табличним методом і значення заносимо в таблицю 2.4

Таблиця 2.4 – Загальні припуски і допуски на оброблювані поверхні

Поверхня деталі	Клас точності розмірів	Степінь точності поверхні	Ряд припуску	Допуск розміру, мм	Спосіб кінцевої обробки	Значення припуску, мм
1	5-10т	7-12	1-3	0,36	чистова	2,5
2	5-10т	9-12	1-3	0,36	чистова	7
3	5-10т	7-12	1-3	0,32	чистова	1

4	5-10Г	7-12	1-3	0,32	чистова	4,17
5	5-10Г	7-12	1-3	0,32	чистова	4,17
6	5-10Г	10-12	1-3	0,36	чорнова	1,2

2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу

За допомогою розмірного аналізу визначаємо розміри заготовки і розміри припусків для технологічних операцій та зробимо висновок відносно якості запропонованого варіанту ТП.

Розрахунок в напрямку осі Z

$$A_{01} = 12,115H12({}_0^{+0,18})\text{мм};$$

$$A_{02} = 11,15H12({}_0^{+0,18})\text{мм};$$

$$A_{005.1} = 12,715H12({}_0^{+0,18})\text{мм};$$

$$A_{005.2} = 14,25H9({}_0^{+0,042})\text{мм};$$

$$A_{005.3} = 11,75H9({}_0^{+0,042})\text{мм};$$

$$A_{005.4} = 11,85H7({}_0^{+0,018})\text{мм};$$

$$A_{005.5} = 13,5H7({}_0^{+0,018})\text{мм};$$

$$K_1 = 11,75\text{мм};$$

$$K_1 = 13,5\text{мм}.$$

Наведемо нижче всі необхідні розмірні ланцюги зі схеми (рис. 2.2) в напрямку осі Z

$$Z_{010.1} = A_{010.1} - A_{02} = 12,715 - 11,15 = 1,565\text{мм};$$

$$Z_{010.1}^{\max} = A_{010.1}^{\max} - A_{02}^{\min} = 12,757 - 11,15 = 1,607\text{мм};$$

$$Z_{010.1}^{\min} = A_{010.1}^{\min} - A_{02}^{\max} = 12,715 - 11,33 = 1,385\text{мм};$$

$$Z_{010.1} = 1,565_{-0,18}^{+0,042}\text{мм};$$

$$Z_{010.2} = A_{010.2} - A_{010.1} = 14,25 - 12,715 = 1,535\text{мм};$$

$$Z_{010.2}^{\max} = A_{010.2}^{\max} - A_{010.1}^{\min} = 14,292 - 12,715 = 1,577 \text{ мм};$$

$$Z_{010.2}^{\min} = A_{010.2}^{\min} - A_{010.1}^{\max} = 14,25 - 12,757 = 1,493 \text{ мм};$$

$$Z_{010.2} = 1,535_{-0,42}^{+0,042} \text{ мм};$$

$$Z_{010.3} = A_{010.3} - A_{02} = 11,75 - 11,15 = 0,6 \text{ мм};$$

$$Z_{010.3}^{\max} = A_{010.3}^{\max} - A_{02}^{\min} = 11,792 - 11,15 = 1,642 \text{ мм};$$

$$Z_{010.3}^{\min} = A_{010.3}^{\min} - A_{02}^{\max} = 11,75 - 11,33 = 0,42 \text{ мм};$$

$$Z_{010.3} = 0,6_{-0,18}^{+0,042} \text{ мм};$$

$$Z_{010.4} = A_{010.4} - A_{010.3} - e = 11,85 - 11,75 - 0,05 = 0,05 \text{ мм};$$

$$Z_{010.4}^{\max} = A_{010.4}^{\max} - A_{010.3}^{\min} - e = 11,868 - 11,15 - 0,05 = 0,068 \text{ мм};$$

$$Z_{010.4}^{\min} = A_{010.4}^{\min} - A_{010.3}^{\max} - e = 11,85 - 11,792 - 0,05 = 0,008 \text{ мм};$$

$$Z_{010.4} = 0,05_{-0,042}^{+0,018} \text{ мм};$$

$$Z_{010.5} = A_{010.5} - A_{010.1} - e = 13,5 - 12,715 - 0,05 = 0,735 \text{ мм};$$

$$Z_{010.5}^{\max} = A_{010.5}^{\max} - A_{010.1}^{\min} - e = 13,515 - 12,715 - 0,05 = 0,753 \text{ мм};$$

$$Z_{010.5}^{\min} = A_{010.5}^{\min} - A_{010.1}^{\max} - e = 13,5 - 12,757 - 0,05 = 0,693 \text{ мм};$$

$$Z_{010.5} = 0,735_{-0,042}^{+0,018} \text{ мм}.$$

Розрахунок в напрямку осі Y

$$\dot{A}_{01} = 12,42 \text{ H}12\left(\begin{smallmatrix} +0,18 \\ 0 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм};$$

$$\dot{A}_{030.1} = 13,02 \text{ H}9\left(\begin{smallmatrix} +0,042 \\ 0 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм};$$

$$\dot{A}_{030.2} = 13,12 \text{ H}7\left(\begin{smallmatrix} +0,018 \\ 0 \end{smallmatrix}\right) \text{ мм};$$

$$K_1 = 12,085 \text{ мм}.$$

Наведемо нижче всі необхідні розмірні ланцюги зі схеми (рис. 2.3) в напрямку осі Y

$$Z_{030.1} = A_{030.1} - A_{01} = 13,02 - 12,42 = 0,6 \text{ мм};$$

$$Z_{030.1}^{\max} = A_{030.1}^{\max} - A_{01}^{\min} = 13,062 - 12,42 = 0,642 \text{ мм};$$

$$Z_{030.1}^{\min} = A_{030.1}^{\min} - A_{01}^{\max} = 13,02 - 12,6 = 0,42 \text{ мм};$$

$$Z_{030.1} = 0,6^{+0,042}_{-0,18} \text{ мм};$$

$$Z_{030.2} = A_{030.2} - A_{030.1} - e = 13,12 - 13,02 - 0,05 = 0,5 \text{ мм};$$

$$Z_{030.2}^{\max} = A_{030.2}^{\max} - A_{030.1}^{\min} - e = 13,138 - 13,02 - 0,05 = 0,068 \text{ мм};$$

$$Z_{030.2}^{\min} = A_{030.2}^{\min} - A_{030.1}^{\max} - e = 13,12 - 13,062 - 0,05 = 0,008 \text{ мм};$$

$$Z_{030.3} = 0,05^{+0,018}_{-0,042} \text{ мм}.$$

Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева (рис. 2.4 і рис. 2.5) та розмірних ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показує, що запропонований варіант може бути прийнятий. Преш за все, всі контурні розміри витримуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій. Тобто, похибки обробки будуть залежати від точності технологічної системи.

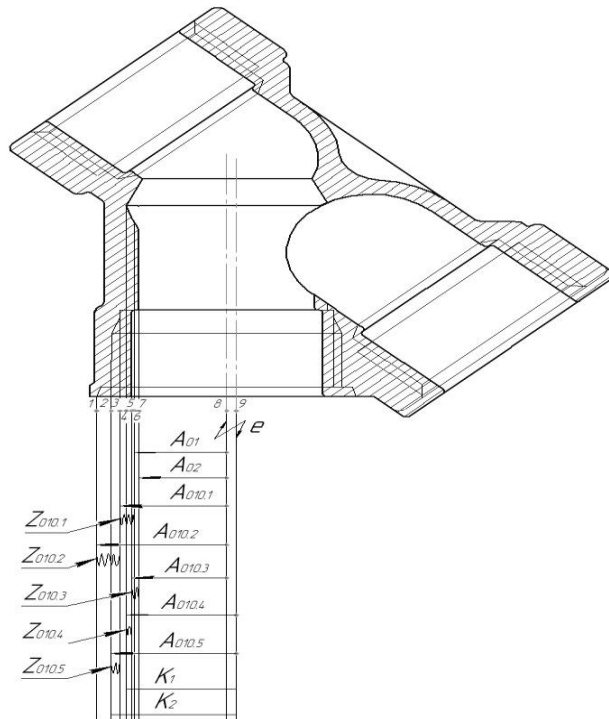


Рисунок 2.2 Розмірна схема лінійних розмірів в напрямку осі Z

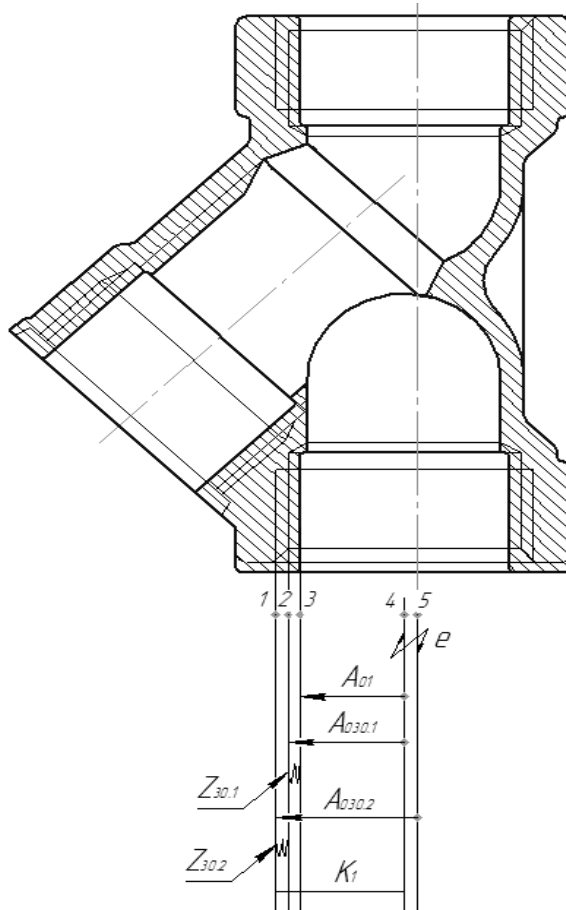


Рисунок 2.3 Розмірна схема лінійних розмірів в напрямку осі Y

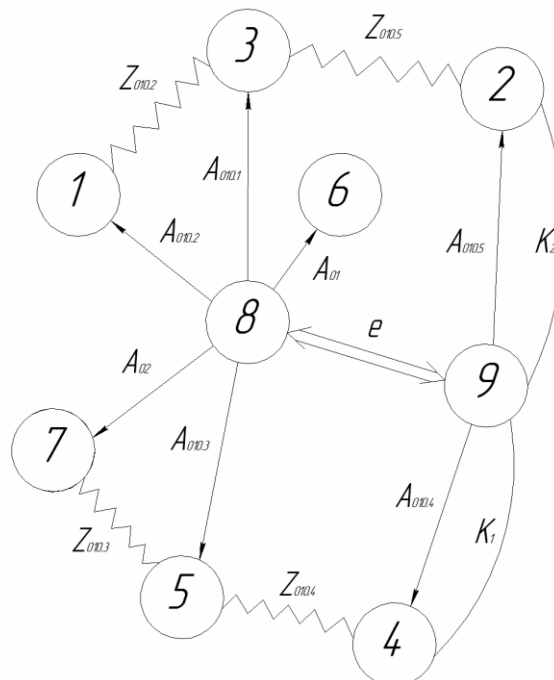


Рисунок 2.4 Граф-дерево комплексної схеми обробки в напрямку осі Z

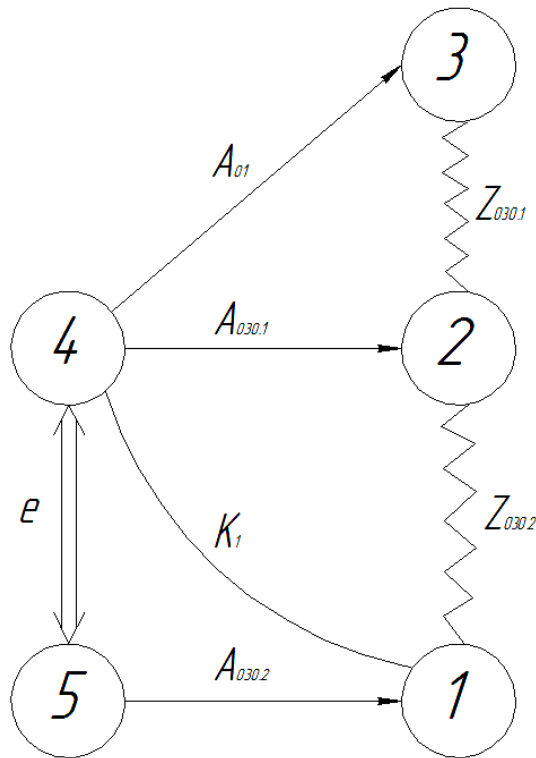


Рисунок 2.5 Граф-дерево комплексної схеми обробки в напрямку осі Y

2.5. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання

При призначенні елементів режимів різання враховується характер обробки, тип і розміри інструмента, матеріал його ріжучої частини, матеріал і стан заготовки, тип і стан обладнання.

Глибина різання t : при чорновій обробці призначається по можливості максимальною, рівною всьому припуску на обробку або більшою частиною вимог точності розміру і шорсткості оброблюваної поверхні [9].

Подача S : при чорновій обробці вибирають максимально можливу, виходячи з жорсткості і міцності системи ВПД; потужності привода верстата; при чистовій обробці – залежно від потрібного ступеня точності і шорсткості оброблюваної поверхні.

Швидкості різання v розраховуються за формулами (2.11) і (2.14):

- для зенкерування і розгорткування $\varnothing 23,5$ Н9 на $L=18$ мм. [9]:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.11)$$

де $C_v = 27,9$ - показник степеня [9],

$q = 0,2$ - показник степеня, який вибираємо в залежності від оброблюваного матеріалу та матеріалу ріжучої частини інструменту,

$x = 0,1$ - показник степеня,

$y = 0,4$ - показник степеня,

$m = 0,125$ - показник степеня,

$T = 40\hat{\alpha}$ - період стійкості інструмента до затуплення [9],

$S = 1,1 - 1,3 \text{ мм/хв}$ - подача при зенкеруванні [9].

Приймаємо $S = 1,2 \text{ мм/хв}$.

$t_1 = 0,6 \text{ мм}$ - глибина різання, знаходимо за [9]:

$$t = 0,5 \cdot (D - d), \quad (2.12)$$

$$t_1 = 0,5 \cdot (25,43 - 24,23) = 0,6 \text{ хв}$$

K_v - поправочний коефіцієнт,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{\hat{v}} \cdot K_{lv}, \quad (2.13)$$

де K_v - поправочний коефіцієнт, вибираємо згідно матеріалу заготовки латунь марки ЛЦ40С і ріжучого інструменту виготовляють з твердосплавними пластинами ВК - 8,

$K_{mv} = 1$ - коефіцієнт на оброблюваний матеріал [9],

$K_{\hat{v}} = 1$ - коефіцієнт на інструментальний матеріал [9],

$K_{lv} = 0,9$ - коефіцієнт, що враховує глибину різання [9],

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 0,9 = 0,9,$$

$$v_1 = \frac{27,9 \cdot 25,43^{0,2}}{40^{0,125} \cdot 0,6^{0,1} \cdot 1,2^{0,4}} \cdot 0,9 = 29,567 \text{ мм/хв}$$

- для нарізання різьби за [9]:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} \cdot K_v, \quad (2.14)$$

Оскільки матеріал заготовки латунь марки ЛЦ40С і ріжучий інструмент виготовляють зі швидкоріжучої сталі, то розраховуємо вибираємо поправочний коефіцієнт за формулою [10]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{\hat{v}} \cdot K_{\bar{lv}}, \quad (2.15)$$

де $K_{mv} = 0,8$ - коефіцієнт, що враховує якість оброблюваного матеріалу [10],

$K_{\epsilon_v} = 1$ - коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструменту [10],

$K_{\bar{m}} = 0,75$ - коефіцієнт, що враховує спосіб нарізання різьби [10],

$$K_v = 0,8 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,6.$$

Значення коефіцієнтів C_v , m , y , x вибираємо з [10].

Визначаємо крутний момент $M_{кр}$ та осьову силу різання P_z а формулами (2.16 – 2.20):

Крутний момент для зенкерування визначаємо з [10]:

$$M_{кр} = 10N_i \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p \cdot I, \quad (2.16)$$

де $C_i = 0,031$ - коефіцієнт, [10]

$q = 0,85$ - показник степеня,

$x = -$, показник степеня,

$y = 0,8$ - показник степеня,

$K_p = K_{i_p} = 1,7 \div 2,1 = 2,0$ - поправочний коефіцієнт для зенкерування,

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,031 \cdot 24,43^{0,85} \cdot 0,6 \cdot 1,2^{0,8} \cdot 20 = 6,736 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Осьову силу для зенкерування визначаємо з [11]:

$$P_i = 10\tilde{N}_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_{\delta}, \tilde{I}, \quad (2.17)$$

де $C_{\delta} = 17,2$ - коефіцієнт [11],

$q = -$ показник степеня,

$x = 1,0$ - показник степеня,

$y = 0,4$ - показник степеня,

$$P_i = 10 \cdot 17,2 \cdot 0,6^1 \cdot 1,2^{0,4} \cdot 2 = 222,086 \text{ Н}$$

- визначаємо потужність різання [11]:

$$N_p = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{59 \cdot 1800}{1020 \cdot 60} = 1,7 \text{ кВт} \quad (2.18)$$

де P_z - крутний момент,

$n = 370,28$ об/хв. – частота обертання інструмента чи заготовки:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ об/хв.}, \quad (2.19)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 29,567}{3,14 \cdot 25,43} = 370,28 \text{ об/хв.},$$

Приймаємо $n = 400$ об/хв. ближче до стандартного значення.

$$N_e = \frac{M_{\text{ед}} \cdot n}{9750} = \frac{6,736 \cdot 370,28}{9750} = 0,256 \text{ кВт.}$$

Розрахунок режимів різання для інших переходів проводимо аналогічно до п. 2.5.

Результати розрахунків заносимо у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Режими різання

№ Операції	Пере-хід	Глибина різання t, мм	Подача		Швид-кість v, м/хв	Частота обертів n, об/хв	Потуж-ність N, кВт	Основ-ний час T ₀
			S, об/хв	S _z , мм/зуб				
005	1	0,6	1,2	-	29,567	400	0,256	0,06
	2	0,6	1,2	-	30,27	315	0,257	0,044
	3	0,6	1,2	-	29,126	400	0,255	0,067
	4	0,1	2,7	0,675	7,157	100	0,014	0,067
	5	0,1	1,5	1,5	1,714	40	0,015	0,09
010	1	0,6	1,2	-	30,951	400	0,27	0,056
	2	0,1	1,814	1,814	1,552	40	0,064	0,05
015	1	0,6	1,2	-	30,951	400	0,27	0,056
	2	0,1	1,814	1,814	1,552	40	0,064	0,064

Виходячи з умов обробки та завантаженості кожної з операцій обираємо відповідне металорізальне обладнання. Найменування та параметри заносимо до таблиці 2.6

Таблиця 2.6 – Вибір металорізальних верстатів

№ операції	Потужність N, кВт	Назва і марка обладнання
1	2	3
005	5,5	1341
010	5,5	1341
015	5,5	1341

2.6. Нормування технологічного процесу

Технологічні норми в умовах масового виробництва встановлюються розрахунково-аналітичним методом.

В масовому виробництві визначається норма штучного часу T_{um} за [12]:

$$T_{um} + T_{oc} + T_{\epsilon} + T_{дон} + T_{обс} \text{ хв.}, \quad (2.20)$$

де T_{oc} – основний час, хв. за [12],

$$T_0 = \frac{L}{S_m}, \text{ хв.}, \quad (2.21)$$

$$L = l + l_1 + l_2, \text{ мм}, \quad (2.22)$$

де l - довжина оброблюваної поверхні, мм,

l_1 - довжина врізання інструменту, мм,

l_2 - величина перебігу інструменту, мм,

$T_{обс}$ – час на обслуговування робочого місця, хв.,

T_{oc} – час переривів на відпочинок та особисті потреби, хв.,

$$T_{oc} = \frac{T_{дон} \cdot T_{\epsilon}}{100}, \text{ хв} \quad (2.23)$$

$T_{\epsilon} = 7\%$ - затрати часу на відпочинок в відсотковому співвідношенні до оперативного;

$T_{дон}$ - допоміжний час складається із витрат часу на окремі прийоми, хв.
[12]:

$$T_{доп} = T_{уст} + T_з + T_{уп} + T_{вим} \cdot хв., \quad (2.24)$$

де $T_{уст}$ – час на установлення і зняття деталі, хв.,

$T_з$ – час на закріплення і відкріплення деталі, хв.,

$T_{уп}$ – час на прийом управління, хв.,

$T_{вим}$ – час на вимірювання деталі, хв.

Час на обслуговування робочого місця в масовому виробництві і при шліфуванні в серійному виробництві складається з часу на організаційне обслуговування $T_{орг}$ та часу на технічне обслуговування $T_{тех}$ робочого місця [12]:

$$T_{обсл} = T_{орг} + T_{тех}, \quad хв., \quad (2.25)$$

У масовому виробництві час на технічне обслуговування робочого місця $T_{т.обсл}$ визначається за формулою: для токарних, фрезерних і свердлильних операцій [12]:

$$T_{т.обсл} = \frac{T_o \cdot T_{з.і}}{O} \quad хв., \quad (2.26)$$

$T_{з.і}$ – час на зміну ріжучого інструменту, хв.;

T_o – період стійкості при роботі одним інструментом або розрахунковий період стійкості лімітуючого інструмента при багатоінструментальній обробці, хв.

Час на організаційне обслуговування робочого місця $T_{о.орг}$ $T_{і\delta\bar{a}}$ в масовому виробництві для всіх операцій визначається у процентах від оперативного часу [12]:

$$T_{о.орг} = \frac{T_{он} \cdot 2,1\%}{O} 100, \quad хв., \quad (2.27)$$

$T_{он}$ - оперативний час, хв.;

$$T_{і\bar{i}} = T_o + T_{\bar{a}}, \quad хв. \quad (2.28)$$

Визначимо час для токарно-револьверної операції (005).

Зенкерувати поверхню 1 $\varnothing 25,43_{+0,3}$ мм на довжину на $L=15$ мм.

2. Зенкерувати поверхню 2 $\varnothing 28,5_{+0,52}$ мм з конусом 45° , канавку на $\varnothing 29,5_{+0,33}$ мм, витримати розмір $2,5_{-0,25}$ мм.

3. Зенкерувати поверхню 3 $\varnothing 23,5$ мм на $L=18$ мм.

4. Розгорнути поверхню 3 $\varnothing 23,5$ мм.

5. Нарізати різьбу $M27 \times 1,5-7H$ по поверхні 1 на $L=11_{+0,43}$ мм.

$$T_{\text{дон}} = 0,05 \text{ хв};$$

$$T_{\text{о.орг}} = 0,24 \text{ хв};$$

$$T_{\text{дон}} = 0,01 + 0,01 + 0,01 = 0,03 \text{ хв};$$

$$T_{\text{уст}} = 0,09 \text{ хв}$$

$$T_0 = T_{0\bar{n}} = \dot{O}_{01} + \dot{O}_{02} + \dot{O}_{03} + \dot{O}_{04} + \dot{O}_{05}, \text{ хв.} \quad (2.29)$$

$$T_{\text{м.обсл}} = \frac{15 + 7 + 7}{400 \cdot 1,2} = 0,06 \text{ хв},$$

$$L_1 = 15 + 7 + 7 = 29 \text{ мм},$$

$$l = 15 \text{ мм},$$

$$l_1 = 7 \text{ мм},$$

$$l_2 = 7 \text{ мм},$$

$$T_o = 0,06 + 0,044 + 0,067 + 0,067 + 0,09 = 0,328 \text{ хв},$$

$$T_{\text{дон}} = 0,05 + 0,025 + 0,03 + 0,09 = 0,194 \text{ хв},$$

$$T_{\text{уст}} = 0,328 + 0,194 = 0,522 \text{ хв},$$

$$T_{\text{он}} = \frac{0,328 \cdot 3,5}{40} = 0,029 \text{ хв},$$

$$T_{\text{об}} = 0,05 \text{ хв},$$

$$T_{\text{заг}} = \frac{0,328 \cdot 7\%}{100} = 0,002 \text{ хв},$$

$$T_{\text{то}} = 0,029 + 0,005 = 0,034 \text{ хв},$$

$$T_{\text{ум}} = 0,328 + 0,194 + 0,034 + 0,002 = 0,556 \text{ хв}.$$

Для інших операцій розрахунки заносимо в таблицю 2.7

Таблиця 2.7 – Норми часу для усіх операцій технологічного процесу

№ операції	T_o , хв.	T_o , хв.				T_{on} , хв.	$T_{об}$, хв.	$T_{i\delta}$, хв.	$T_{ум}$, хв.
		T_{yc} , хв.	$T_{з.б}$, хв.	T_{yn} , хв.	$T_{\delta\zeta}$, хв.				
005	0,328	0,05	0,024	0,03	0,09	0,522	0,034	0,0002	0,556
010	0,106	0,06	0,034	0,03	0,11	0,354	0,024	0,0002	0,364
015	0,12	0,06	0,034	0,03	0,11	0,354	0,024	0,0002	0,378

Висновки. В даному розділі було проведено аналіз технологічності конструкції деталі. Встановлено, що матеріал дає можливість отримати заготовку методом лиття, деталь має зручні базові поверхні, деталь дозволяє створювати зручні чистові бази. Підібрано технологічні бази для усіх операцій. Базування забезпечує точність обробки. Жодна з операцій не потребує переустановлення деталі. Визначено допуски на технологічні розміри і проведено розрахунок припусків. Побудовано розмірні схеми та графічні дерева схем обробки. Розрахунки показали, що вибраний метод обробки, технологічні бази, обладнання та оснастка забезпечують задану точність обробки. Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева та розмірних ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показав, що запропонований варіант може бути прийнятий. Преш за все, всі контурні розміри витримуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій. Тобто, похибки обробки будуть залежати від точності технологічної системи. Для всіх переходів визначено режими різання, підібрано металорізальне обладнання, здійснено розрахунок норм часу на виконання кожного з переходів технологічного процесу.

РОЗДІЛ 3

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

3.1. Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми затискного пристрою

Проектуємо верстатний пристрій на обробку поверхні 3. Даний пристрій повинен мати пневмо- або гідропривід. Для правильної роботи кожної машини необхідно забезпечити визначення розміщення її деталей і вузлів, що здійснюється за допомогою базування. Призначення баз є одним з найважливіших етапів проектування технологічного процесу. Від правильності вибору технологічних баз залежить точність взаємного розташування поверхонь і ступінь складності пристроїв, різальних та вимірювальних інструментів, загальна продуктивність обробки заготовки [13].

Для якісного базування заготовок в пристрої необхідно створити 6 опорних точок, розміщених визначеним чином відповідно базових поверхонь заготовки, цим ми позбавляємо заготовку шести ступенів вільності, що забезпечує її правильну орієнтацію в просторі і нерухомість.

Орієнтування заготовок в просторі здійснюється за рахунок установочних елементів [13]:

- затискних елементів, для забезпечення надійного контакту базових поверхонь заготовки з установочними елементами пристрою і попередження зміщення заготовки при обробці;
- силові приводи для затискних елементів забезпечують дію на заготовку заданої сили та за заданим напрямком;
- елементи для визначення положення та напрямлення інструментів;
- корпуси – базові найбільш відповідальні елементи пристроїв за допомогою яких всі деталі і пристрої об'єднуються в складальну одиницю.

Опорні елементи повинні володіти підвищеною зносостійкістю, тому їх виготовляють з вуглецевих сталей з загартуванням до твердості 56-61 HRC. В даному випадку деталь встановлюють на опори [13].

При достатньо високих вимогах до точності обробки необхідно вибрати таку схему базування, яка забезпечує найменшу похибку установки, а також необхідно дотримуватись принципу постійності баз. Враховуючи геометричні параметри заготовки вибираємо наступну схему базування (рис. 3.1).

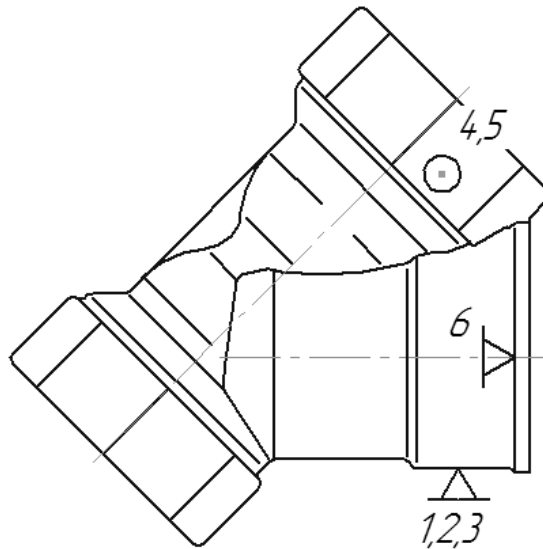


Рисунок 3.1 Теоретична схема базування деталі

3.2. Розрахунок необхідної сили затиску заготовки

При виборі пристосування враховується форма та розташування базуючих поверхонь деталі, форма і розташування поверхонь, що стикаються із затискними елементами, необхідність використання затиску комбінованого пристрою, а також привід пристосування. Проект конструкції пристрою для фрезерування лиски представлений на рисунку 3.2.

Заготовка 1 встановлюється на призму 2 позбавляючи заготовку 4-х ступенів свободи. Зрізаний палець 13 позбавляє заготовку одного ступеня свободи, спеціальний притискний палець 19 позбавляє заготовку одного ступеня свободи.

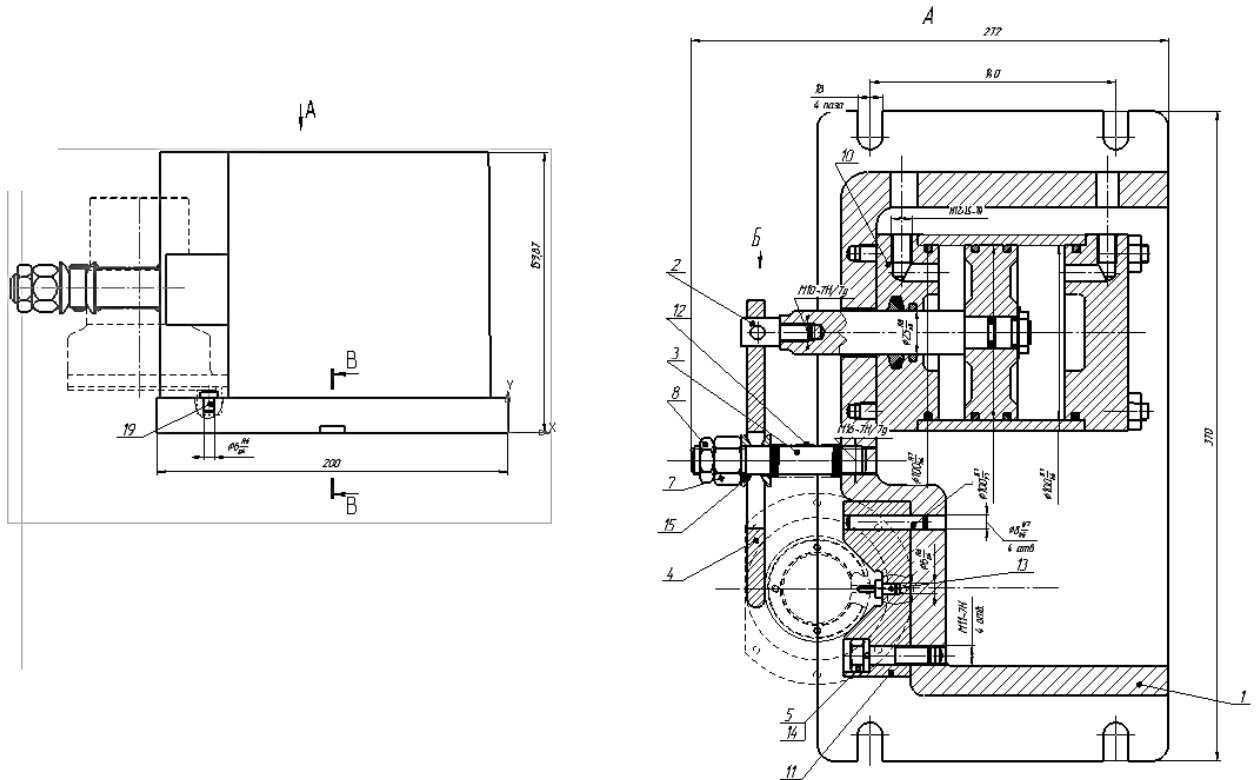


Рисунок 3.2 Проект затискного пристрою

Даний пристрій встановлюється на стіл Вертикально-фрезерного верстата, на якому базується за допомогою 2-х шпонок 17 та кріпиться за допомогою гвинтів 6 які встановлюються в пази столу.

Заготовку базується за допомогою призми 11 яка кріпиться до корпусу пристосування за допомогою болтів 5 та шайб 14 а також фіксується за допомогою штифтів 17. Пневмоциліндр 10 кріпиться до установочної плити за допомогою стяжок, які йдуть у комплекті з пневмоциліндром. Плунжер 2 кріпиться до пневмоциліндра з різьбовим з'єднанням. Важель 4 передає зусилля від пневмоциліндра до заготовки. Він кріпиться до установочної плити за допомогою осі різьбовим з'єднанням і фіксується гайкою 7 і контргайкою 8.

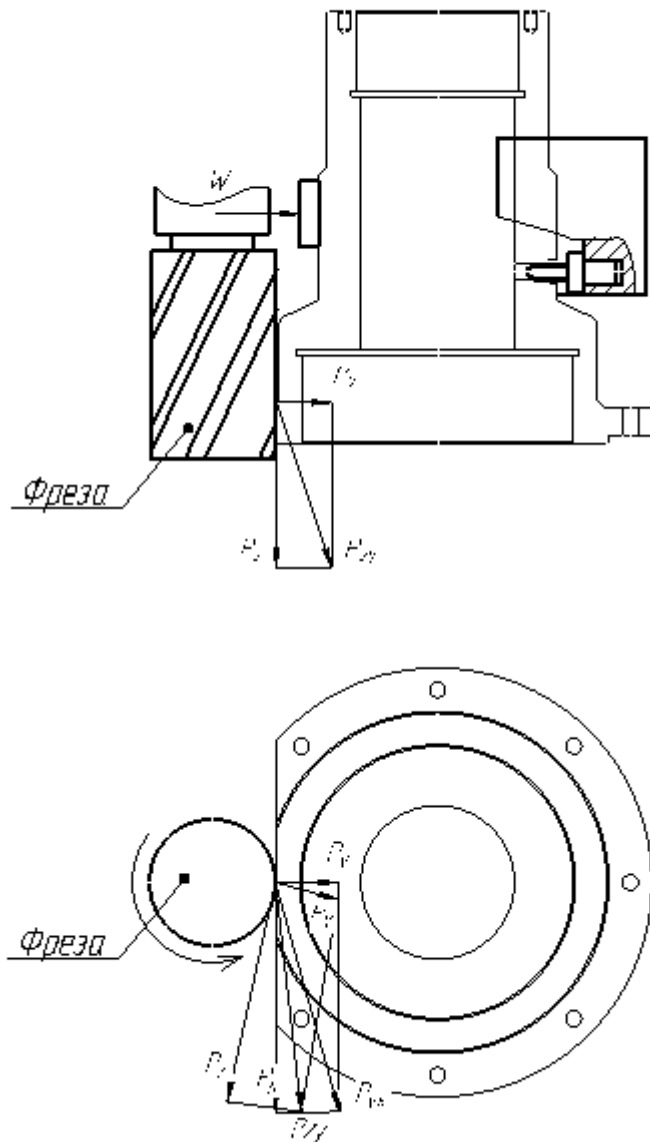


Рисунок 3.3 Схема для розрахунку необхідної сили затиску заготовки

Для закріплення заготовки застосовується важіль. Заготовка встановлюється на призму а для усунення повороту заготовки в процесі обробки застосовується зрізаний палець. Сила різання P_v направлена в низ та намагається змістити заготовку в цьому напрямку. Протидіяти зміщенню будуть сили тертя між заготовкою та установочним елементом - $F_{тр1}$, та заготовкою та швидкозмінною шайбою - $F_{тр2}$. Складаємо рівняння рівноваги як суми проекції всіх сил на вертикальну вісь [14].

$$K \cdot P_v = F_{тр2} / 2 \sin(90/2), \quad (3.1)$$

де K – коефіцієнт запасу для забезпечення надійного закріплення заготовки [14].

У роботах навчального характеру величину K допускається приймати в діапазоні від 2,5 до 3,5. В даному випадку $K=2,7$.

$$F_{\text{тр}2} = W_1 f = N f$$

де W_1 – сила затиску заготовки,

N – опорна реакція

f – коефіцієнт тертя, для матеріалу сталі з високою твердістю – $f=0,6$

Тоді [14]:

$$W_1 = \frac{K P_v f}{2 f \sin(\frac{90}{2})} = \frac{2,7 \cdot 101,2}{0,6 \cdot 2 \sin(\frac{90}{2})} = 650 \text{ Н}$$

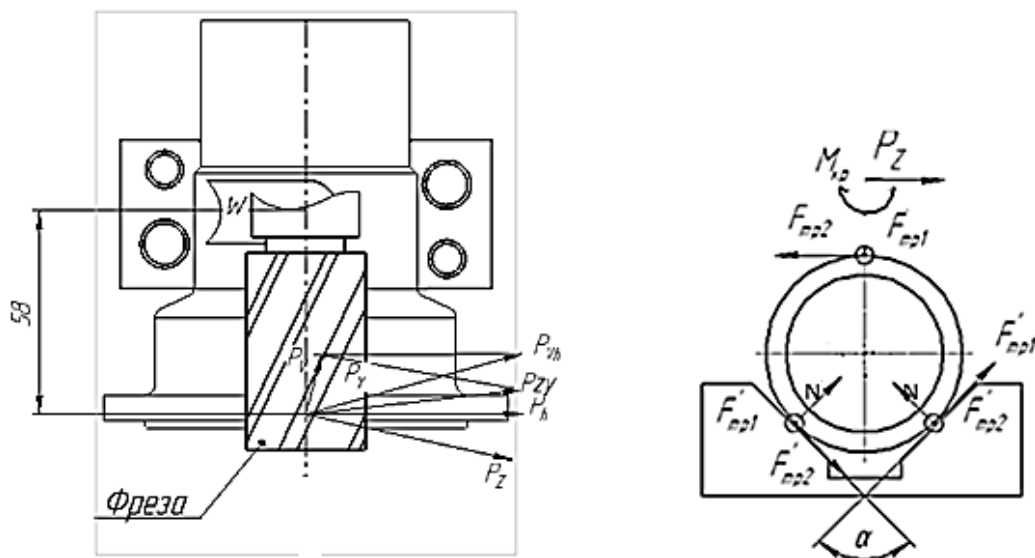


Рисунок 3.4 Проекція розрахункової схеми сил, що діють на заготовку

Крім цього, складові сили різання P_v та P_x намагаються перекинути заготовку. Ця точка є загальною для заготовки та установчого елемента пристрою. Необхідно скласти рівняння моментів сил, що прагнуть перекинути заготовку, і

моментів сил, які утримують її від перекидання для подальшого визначення сили затиску W_2 .

Залежність матиме такий вигляд [14]:

$$K \cdot P_x \cdot 58 - K \cdot P_v \cdot 109/2 + W_2 \cdot 58 = 0 \quad (3.2)$$

Звідси:

$$W_2 = \frac{K(P_x \cdot 58 - P_v \cdot 54,5)}{58} = \frac{2,7(126,5 \cdot 58 - 101,2 \cdot 54,5)}{58} = 84,4 \text{ Н}$$

На виді зверху з розрахункової схеми сили різання P_h спрямовано ліворуч і прагне змістити заготовку в цьому напрямку. Протидіяти зміщенню будуть сили тертя між заготовкою та уставчим елементом - $F_{\text{тр}1}$, та заготовкою та швидкознімною шайбою - $F_{\text{тр}2}$. Складаємо рівняння рівноваги як суми проєкції всіх сил на горизонтальну вісь [14].

$$K \cdot P_h = F_{\text{тр}2} / 2 \sin(90/2), \quad (3.3)$$

Тоді [14]:

$$W_1 = \frac{K P_h f}{2 f \sin(\frac{90}{2})} = \frac{2,7 \cdot 177,1}{0,6 \cdot 2 \sin(\frac{90}{2})} = 200 \text{ Н}$$

Крім цього, складові сили різання P_z та P_y прагнуть розвернути заготовку навколо своєї осі. Протидіяти розвороту будуть моменти тертя між заготовкою та установочним елементом - $M_{\text{тр}1}$, та заготовкою та важелем - $M_{\text{тр}2}$. Щодо осі деталі, то необхідно скласти рівняння моментів сил, що прагнуть перекинути заготовку, та моментів сил, що утримують її від перекидання для подальшого визначення сили затиску W_3 .

Відповідно до обраної схеми закріплення та сил визначимо зусилля закріплення.

Рівняння рівноваги [14]:

$$\sum M = P_z \frac{d}{2} - (2F_{\text{тр}1} \cdot d/2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + 2F_{\text{тр}2} \cdot d/2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}) \quad (3.4)$$

$$F_{\text{тр}1} = F_{\text{тр}2}$$

$$P_z \frac{d}{2} = 2F_{\text{тр}} \cdot d/2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2} + 2F_{\text{тр}} \cdot d/2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$$

$$F_{\text{тр}} = \frac{P_z \frac{d}{2}}{2 \frac{d}{2} \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{P_z}{2 \sin \frac{\alpha}{2}} = \frac{253}{2 \sin \frac{90}{2}} = 602 \text{H}$$

$$W_3 = F_{\text{тр}} \cdot k/f$$

$$W_3 = F_{\text{тр}} \cdot \frac{k}{f} = 602 \cdot \frac{2,7}{0,6} = 2710 \text{H}$$

Для подальших розрахунків затискного пристрою та вибору приводу пристрою вибирається найбільша з розрахованих сил затиску, вона рівна $W_3 = 2710 \text{H}$.

3.3. Розрахунок параметрів механізованого приводу пристрою

У установочно-затискному пристрої як механізований привід виступає пневмо-або гідропривід. До розрахункових параметрів пневмо або гідроприводу відносяться:

1. Зусилля на штоку пневмо або гідроприводу Q .
2. Розміри приводу: діаметр поршня пневмо або гідроциліндра, або натискного диска пневмокамери – D , діаметр штока – $d_{\text{шт}}$, при відомому стандартному тиску повітря $P_{\text{в}} = 0,4 \div 0,6 \text{ МПа}$ чи оливи $P_{\text{г}} = 5 \div 8 \text{ МПа}$ [1].
3. Робочий тиск повітря або оливи, при відомих діаметрах поршня та штока. Як привод затискного пристрою застосовуємо пневмоциліндр.

Після визначення зусилля закріплення розраховується вихідне зусилля на приводі $W_{\text{пр}}$.

При розрахунках використовується рівняння $W = iW_{np}$,

Де i - коефіцієнт підвищення натиску, величина якого визначається кінематичною схемою пристосування.

Для цієї схеми коефіцієнт підвищення натиску дорівнює 1, оскільки затиск заготовки проводиться безпосередньо за допомогою штока без застосування важільного, передавального чи іншого механізму.

Отже, зусилля на приводі дорівнює $W = W_{np} = 2710\text{Н}$

Знаючи зусилля на приводі, розрахуємо параметри пневмоциліндра, до яких належать діаметри циліндра та штока.

Діаметр циліндра визначимо згідно з формулою [15]:

$$W_{np} = \pi/4 D^2 p \eta, \quad (3.5)$$

Враховуючи це матимемо:

$$D = \sqrt{\frac{4W_{np}}{\pi p \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 2710}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,9}} = 87\text{мм}$$

W_{np} – зусилля на приводі,

p тиск у гідромережі, $p = 0,5$ Мпа,

η - КПД, $\eta = 0,9$.

Тиск у гідромережі 100мм.

Діаметр штока визначається за наступною залежністю: $d_{шт} = 0,25D$, підставивши всі необхідні значення, отримуємо [15]:

$$d_{шт} = 0,25 \cdot 100 = 25 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр штока $d_{шт} = 25\text{мм}$

Визначаємо фактичні значення зусилля на приводі та зусилля закріплення:

$$W_{\phi} = \frac{D_{\phi}^2 \cdot \pi \cdot p \cdot \eta}{4} = \frac{100^2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,9}{4} = 3532,5\text{Н}$$

В даному випадку приймаємо пневмоциліндр односторонньої дії. Це означає, що затиск заготовки здійснюються подачею повітря спочатку у верхню

частину камери, штокову (відбувається затиск заготовки), а її розтиск здійснюється після припинення подачі стисненого повітря в штокову камеру. Тиск повітря для пневматичних приводів згідно з рекомендаціями технічної літератури 0,4÷0,6 МПа.

Величину переміщення штока для пневмокамер з плоскою мембранною розраховуємо за формулами [15]:

Переміщення штока від вихідного положення диска до кінцевого:

$$L_{зак} = 0,17 * D = 0,17 * 10 = 1,7 \text{ см}$$

Максимальне переміщення штока:

$$L_{max} = 0,35 * D = 0,35 * 10 = 3,5 \text{ см}$$

Отримані значення зводимо до таблиці 3.1

Таблиця 3.1 – Параметри пневмоциліндра затискного пристрою

Параметр	Позначення	Розмір
Діаметр пневмоциліндра	D	10 см
Діаметр натискного диска	d	10 см
Діаметр штока	$d_{шт}$	2,5 см
Робочий тиск повітря	p	0,5 МПа
Максимальне переміщення штока при затиску	$L_{зат}$	1,7 см
Максимальне робоче переміщення штока	L_{max}	3,5 см
Фактичні значення зусилля на приводі та зусилля закріплення	W_{ϕ}	3532,5Н

3.4. Розрахунок пристрою на точність забезпечення конструкторських розмірів

При розрахунку точності забезпечення конструкторських розмірів необхідно перевірити всі конструкторські розміри, якими визначається положення заданої оброблюваної поверхні.

Точність поверхні, що обробляється - лиски:

1. Розташуванням лиски щодо осі деталі (розмір $41 \pm 0,31$ мм).
2. Глибиною лиски щодо лівого торця (розмір 7×14 мм).
3. Кутовим розташуванням оброблюваної лиски, щодо отвору $\varnothing 4$ мм.

3.5. Розрахунок на точність розташування лиски щодо осі деталі (розмір $41 \pm 0,31$ мм)

Перевіряємо можливість отримання заданої точності розташування лиски на розмірі $41 \pm 0,31$ мм щодо осі деталі при вибраній схемі встановлення на фрезерній операції. З аналізу операційного ескізу випливає, що розмір формується у діаметральному напрямку. Розрахунок на точність передбачає аналіз похибок, що виникають при встановленні заготовки в пристрої. При цьому порівнюються фактична $\xi_{\text{ф}}$ та допустима $\xi_{\text{доп}}$ похибки установки заготовки за наступною залежністю [16]:

$$\xi_{\text{ф}} \leq \xi_{\text{доп}}. \quad (3.6)$$

Залежність для розрахунку $\xi_{\text{ф}}$ матиме такий вигляд [16]:

$$\xi_{\text{ф}} = \sqrt{\xi_{\text{б}}^2 + \xi_{\text{з}}^2} \quad (3.7)$$

де $\xi_{\text{б}}$ – похибка базування заготовки у пристрої;

$\xi_{\text{з}}$ – похибка закріплення заготовки у пристрої.

Відповідно до креслення деталі при встановленні заготовки в проєктованому пристрої конструкторська база не збігається з технологічною базою. Отже, при встановленні заготовки в пристрій виникатиме похибка базування.

$\varepsilon_{\text{б}}$ – Похибка базування в пристрої при встановленні в призму для отримання даного розміру дорівнює [16]:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha} = 0,5 \times 62 \times \frac{1}{\sin 90} = 0,5 \times 31 = 31 \text{ мкм},$$

де TD – поле допуску на розмір $41 \pm 0,31$ мм.

Похибка закріплення ξ_3 заготовки в пристрої в даному випадку не буде рівним нулю, оскільки напрям вектора затиску збігається з напрямом виконуваного розміру. ε_3 – похибка закріплення заготовки під час встановлення деталі на призму розраховується за формулою [16]:

$$\varepsilon_3 = \left[\left(K_{RZ} R_z + \frac{K_{HB}}{HB} \right) + C_1 \right] \left(\frac{W}{19,6l} \right)^m, \quad (3.8)$$

де $K_{RZ}=0,005$; $K_{HB}=15$; $C_1=0,86+\frac{8,4}{D_{заг}}=0,86+\frac{8,4}{60}=1$; $m=0,7$.

$$\varepsilon_3 = \left[\left(0,005 \cdot 80 + \frac{15}{260} \right) + 1 \right] \left(\frac{2710}{19,6 \cdot 58} \right)^{0,7} = 3,2 \text{ мкм}$$

Звідси фактична похибка ξ_ϕ установки заготовки в пристрій буде дорівнювати:

$$\xi_\phi = \sqrt{0,31^2 + 0,0032^2} = 0,31 \text{ мм}$$

Відповідно, $\xi_\phi = 0,31$ мм.

Розрахунок допустимої похибки $\xi_{\text{доп}}$ установки заготовки в пристрій виконується за наступною залежністю [16]:

$$\xi_{\text{доп}} = \sqrt{(T - \Delta_{\text{пр}})^2 - \tau^2} \quad (3.9)$$

де T – величина допуску на виконуваний розмір;

$\Delta_{\text{пр}}$ – похибка розміру, пов'язана з пристрої;

τ – похибка розміру, пов'язана з методом обробки.

Величина $\Delta_{\text{пр}}$ визначається так [16]:

$$\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр}1} + \Delta_{\text{пр}2}, \quad (3.10)$$

де $\Delta_{\text{пр}1}$ – похибка виготовлення пристрою;

$\Delta_{\text{пр}2}$ – похибка установки пристрою на верстаті.

Допуск виконуваного розміру 41Js14 вказаний на кресленні деталі та дорівнює $T41Js14 = 0,62$ мм.

Похибку $\Delta_{\text{пр}1}$ можна прийняти рівною 1/3 від допуску на настроювальний розмір фрези щодо осі інсталяційного елемента. Допуск настроювального розміру

41±0, так само як і конструкторський, дорівнює $T_{41} = 0,62$ мм. Тоді $\Delta_{пр1} = 0,21$ мм. Похибка $\Delta_{пр2}$ згідно з рекомендаціями технічної літератури для деталей нормальної точності можна прийняти рівною 0 мм, оскільки похибка установки щодо Т-подібних пазів столу верстата не впливає на точність обробки лиски. Відповідно, $\Delta_{пр} = \Delta_{пр1} + \Delta_{пр2} = 0,21 + 0 = 0,21$ мм.

Похибка τ , пов'язана з методом обробки та відповідає точності обробки на верстаті для якого проектується пристрій. Для вертикально-фрезерних верстатів допуск на прямолінійність та паралельність траєкторії вертикального переміщення столу до 300 мм щодо його робочої поверхні. Для верстатів класу точності Н (нормальна точність) похибка складає 25 мкм. Відповідно величина τ може бути прийнята до 0,025 мм.

Після підстановки прийнятих параметрів (3.9) $\xi_{доп}$ матиме таке значення

$$\xi_{доп} = \sqrt{(0,62 - 0,21)^2 - 0,025^2} = 0,41 \text{ мм}$$

Отже, відповідно до залежності (3.6) можна записати $0,31 \text{ мм} < 0,41 \text{ мм}$.

Задана точність розташування лиски на розмірі 41JS14 мм щодо осі деталі при вибраній схемі установки на фрезерній операції буде забезпечено.

3.6. Розрахунок забезпечення точності глибини лиски щодо торця (розмір 7h14 мм)

Перевіряється можливість отримання заданої точності глибини лиски у розмір 7h14 при вибраній схемі установки на фрезерній операції. З аналізу операційного ескізу впливає, що розмір формується у горизонтальному напрямку.

Відповідно до креслення деталі та при встановленні заготовки в проєктованому пристрої конструкторська база (торець) не збігається з технологічною базою (вісь деталі). Отже, при установці заготовки в пристосуванні виникатиме похибка базування [17].

ε_6 – похибка базування у пристрої при встановленні в призму для отримання цього розміру дорівнює [17]:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha} = 0,5 \times 36 \times \frac{1}{\sin 90} = 0,5 \times 36 = 18 \text{ мкм},$$

де TD – поле допуску на розмір $7_{-0,36}\text{мм}$.

Похибка закріплення ξ_3 заготовки в пристрої в даному випадку дорівнюватиме нулю оскільки як напрям вектора затиску не збігається з напрямом виконуваного розміру.

Розраховуємо допустиму похибку $\xi_{\text{доп}}$ установки заготовки в пристрій.

Допуск виконуваного розміру $7_{-0,36}$ мм вказаний на кресленні деталі та дорівнює $T7h14 = 0,36$ мм.

Похибку $\Delta_{\text{пр1}}$ можна прийняти рівною 1/3 від допуску на настроювальний розмір фрези щодо настановного елемента. Допуск настроювального розміру дорівнює $T7 = 0,36$ мм. Тоді $\Delta_{\text{пр1}} = 0,12$ мм.

Похибку $\Delta_{\text{пр2}}$ згідно з рекомендаціями технічної літератури для деталей нормальної точності можна прийняти рівною 0 мм, оскільки похибка установки щодо Т-подібних пазів столу верстата не впливає на точність обробки лиски. Відповідно, $\Delta_{\text{пр}} = \Delta_{\text{пр1}} + \Delta_{\text{пр2}} = 0,12 + 0 = 0,12$ мм [17].

Похибка τ , пов'язана з методом обробки відповідає точності обробки на верстаті, для якого проектується пристрій. Для вертикально-фрезерних верстатів допуск на прямолінійність та паралельність траєкторії поперечного переміщення столу до 250 мм щодо його робочої поверхні для верстатів класу точності Н (нормальна точність) складає до 16 мкм. Відповідно, величина τ може бути прийнятною до 0,016 мм [17].

Після підстановки прийнятих параметрів (3.4\9) $\xi_{\text{доп}}$ матиме таке значення

$$\xi_{\text{доп}} = \sqrt{(0,36 - 0,12)^2 - 0,016^2} = 0,24 \text{ мм}$$

Отже, відповідно до залежності (3.6) можна записати $0,18 \text{ мм} < 0,24 \text{ мм}$.

Задана точність глибини лиски в розмір $7h14\text{мм}$ при вибраній схемі установки на свердлильній операції буде забезпечено.

3.7. Розрахунок точності забезпечення кутового положення оброблюваної лиски щодо отвору $\varnothing 4\text{мм}$

Перевіряємо можливість забезпечення заданої точності кутового розташування оброблюваної лиски при вибраній схемі встановлення на фрезерній операції щодо отвору Ø4мм.

Відповідно до креслення деталі при встановленні заготовки в проєктованому пристрої конструкторська база (вісь деталі) не збігається з технологічною базою (вісь оправки пристосування). Також відбувається не співпадіння осі отвору Ø4 мм та осі зрізаного пальця, що встановлюється в отвір Ø4 мм на вигляді Б, це призводить до зміщення кутового розташування оброблюваної лиски щодо отвору Ø4 мм. Отже, при встановленні заготовки в пристрій виникатиме похибка базування [17].

ε_6 – похибка базування у пристрої при встановленні в призму для отримання цього розміру дорівнює [17]:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,5TD \frac{1}{\sin \alpha} = 0,5 \times 30 \times \frac{1}{\sin 90} = 0,5 \times 30 = 15 \text{ мкм},$$

де TD – поле допуску на розмір Ø4^{+0,3}мм.

Похибка закріплення ξ_3 заготівлі у пристрої у такому разі можна прийняти рівну нулю, оскільки напрям вектора затиску не збігається з напрямом виконаного розміру.

Звідси фактична похибка ξ_ϕ установки заготовки в пристрій буде дорівнювати [17]:

$$\xi_\phi = \sqrt{0,15^2 + 0^2} = 0,15 \text{ мм}$$

Відповідно, $\xi_\phi = 0,15$ мм.

Допустима похибка $\xi_{\text{доп}}$ установки заготовки в пристрій для обробки отворів Ø4, була розрахована у формулі 3.6. Таким чином, $\xi_\phi = 0,41$ мм.

Отже, відповідно до залежності (3.6) можна записати $0,15 \text{ мм} < 0,41 \text{ мм}$.

Задана точність кутового розташування лиски при вибраній схемі установки на свердлильній операції щодо отвору буде забезпечена.

3.8. Загальний опис конструкції, принцип дії

Пристрій призначений для установки і закріплення заготовки при обробці на токарно-револьверному верстаті моделі 1341.

Патрон кріпиться гвинтами до перехідного фланця, що встановлюється на шпинделі верстата. Регулюється положення кулачків (3,4) щодо поршня пневматичного циліндра (1) за допомогою тяги (9) і гвинтів. Кулачки 3,4 переміщуються під дією важелів, що спираються на циліндричні гнізда в корпусі патрона (2). Осі (7), які розміщені в отворах важелів, оберігають їх від довільного зміщення. Тиск від поршня пневматичного циліндра передається на важелі через тягу (8).

Заготовка встановлюється на два кулачки у формі призми (3, 4). Після цього на вході пневмоциліндра подається стиснене повітря і відбувається затискання заготовки. Після закінчення обробки, повітря подається у поршневу порожнину пневмоциліндра (1) і відбувається розтискання заготовки.

3.9. Проектування контрольного пристрою. Розрахунок на точність

Точність контрольного пристрою залежить від похибок базування і точності вимірювального пристрою. Оскільки плита має дуже малу шорсткість поверхні, то похибкою розміщення по цій плиті можна знехтувати.

Тоді похибка вимірювання буде рівна [18]:

$$\varepsilon_{\bar{a}} = \sqrt{\varepsilon_{\bar{a}}^2 + \varepsilon_{\bar{a} \rightarrow \bar{e}-\bar{i}}^2 + \varepsilon_{\bar{n}}^2}, \quad (3.6)$$

де $\varepsilon_{\bar{a}} = 0,01 \text{ мм}$ - похибка еталону,

$\varepsilon_{\bar{a} \rightarrow \bar{e}-\bar{i}} = 0,015 \text{ мм}$ - похибка встановлення калібр-пробки,

$\varepsilon_{\bar{n}} = 0,04 \text{ мм}$ - похибка стійки,

$$\varepsilon_{\bar{a}} = \sqrt{0,01^2 + 0,015^2 + 0,04^2} = 0,0439 \text{ мм.}$$

Похибка вимірювання не впливає на кінцевий результат процесу вимірювання.

Деталь вважається придатною, якщо покази індикатора не перевищують 0,06 мм.

3.10. Загальний опис конструкції, принцип дії

Пристрій призначений для контролю точності відстані до осі отвору вхідного патрубка. Допустиме відхилення 1,0 мм. Пристрій складається з опорної плити 1 до якої кріпиться стійка 15 гвинтом 1 і штифтом 17, на якій розміщений палець 14, що фіксує деталь. На плиті 1 за допомогою гвинта 12 кріпиться стійка 2 з індикатором 13, який монтується за допомогою втулки 6 і гвинта 11. В контрольований отвір деталі встановлюється калібр-пробка з віссю 4, шайбою 5 і конусом 3, який контактує з накінецьником індикатора 7.

Деталь встановлюється на палець. В отвір, відстань до осі якого контролюється, вставляється калібр-пробка, до конуса якої доторкається накінецьник індикатора.

Попередньо пристосування налагоджується по еталону, причому відстань між пальцем, стійкою індикатора та його накінецьником – стала. Індикатор при налаштуванні встановлюється на нуль, (тобто, похибка вимірювання становить суму половини ціни поділки шкали індикатора і похибки еталону).

Висновки. У даному розділі здійснено проектування верстатного пристрою для фрезерної операції та пристрою для контролю точності відстані до осі отвору вхідного патрубка. Розроблено схему базування заготовки в пристрої. Заготовка встановлюється на призму 2 позбавляючи заготовку 4-х ступенів свободи. Зрізаний палець 13 позбавляє заготовку одного ступеня свободи, спеціальний притискний палець 19 позбавляє заготовку одного ступеня свободи. Для затискного пристрою здійснено розрахунок сили затиску яка становить $W_3 = 2710$ Н. Проведено детальний розрахунок параметрів механізованого приводу пристрою. Визначено зусилля на штоці циліндра, діаметр поршня та штоку та необхідний тиск повітря у системі. Розрахунок пристрою на забезпечення конструкторських розмірів показав, що задана точність кутового розташування лиски при вибраній схемі установки щодо отвору буде забезпечена. точність поверхонь, що обробляються – лиски (розміри $41 \pm 0,31$ мм, 7×14 мм,

отвір Ø4мм) забезпечується. Спроекований контрольний пристрій зменшує час на операцію перевірки на 44% у порівнянні з вимірюванням стандартним вимірювальним інструментом. Похибка вимірювання становить 0,04 мм.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

4.1. Уточнення типу виробництва

Зважаючи на фактичну трудомісткість, уточнюємо тип виробництва. Для розрахунку кількості верстатів, необхідних для виконання кожної операції, використовуємо відповідну формулу. (1.9):

$$m_{p005} = \frac{220000 \cdot 0,556}{60 \cdot 4059 \cdot 0,7} = 0,718.$$

Усі значення заносимо до таблиці 4.1.

Для кожної операції визначаємо кількість робочих місць, здійснюючи округлення. m_p збільшуємо до цілого числа і визначаємо кількість робочих місць. $P=1$.

Для кожної операції розраховується фактичний коефіцієнт завантаження робочого місця за допомогою наведеної формули. (1.11).

Усі значення P , $\eta_{з.ф.}$, O зводимо до таблиці 4.1

Таблиця 4.1 – Інформація для уточнення відповідного типу виробництва

Операції	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
005	0,718	1	0,718	0,975
010	0,488	1	0,488	1,489
015	0,47	1	0,47	1,428

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій. $K_{з.о.}$ по формулі (1.8):

$$K_{з.о.} = \frac{0,975 + 1,489 + 1,428}{1 + 1 + 1} = 1,297$$

Оскільки $1 \leq K_{з.о.} \leq 10$ тип виробництва багатосерійний.

4.2. Визначення кількості працівників на ділянці

Кількість основних працівників за робочими місцями розраховується за формулою [19]:

$$P_B = M_{p.с} \cdot m \cdot K_n, \quad (4.1)$$

$M_{p.с}$ – кількість посад для працівників-верстатників;

$$M_{p.с} = \frac{m_n}{K_M} = \frac{8}{1,8} = 4,4, \quad (4.2)$$

m_n – затверджена кількість верстатів на ділянці. Приймаємо 3;

K_M – коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування в умовах масового виробництва 19 - 2,2.

Приймаємо $K_M = 2$.

$$M_{p.с} = \frac{3}{2} = 1,5, \text{ приймаємо } 2$$

$m = 2$ – число робочих змін обладнання за добу;

K_n – коефіцієнт, який відображає необхідність залучення додаткових робітників для заміщення [19]:

$$K_n = \frac{\Phi_{н.р}}{\Phi_{д.р}} \quad (4.3)$$

де $\Phi_{н.р.} = 2070$ год – нормальний річний фонд часу для робітника;

$\Phi_{д.р.} = 1820$ год – дійсний річний фонд часу для робітника;

$$K_n = \frac{\Phi_{н.р}}{\Phi_{д.р}} = \frac{2070}{1820} = 1,14$$

$$P_B = 2 \cdot 2 \cdot 1,14 = 4,548 \approx 5 \text{ робітників};$$

Приймаємо $P_B = 5$ робітників.

Кількість працівників, які не працюють на верстатах, визначають у % від числа верстатників $1 \div 3\%$ для багатосерійного виробництва.

$$P_{\partial} = 3\%P_B = 0,03 \cdot 5 = 0,1$$

Приймаємо $P_{\partial} = 1$ робітник не верстатник.

Кількість допоміжних працівників на дільниці визначається відповідно до штатного розпису подібних виробничих підрозділів. Дільниці з малою кількістю обладнання (15–25 одиниць) зазвичай обслуговуються допоміжним персоналом загальноцехового складу.

4.3. Розрахунок виробничої площі дільниці

Площа визначається виходячи з площі та кількості верстатів.

005) Токарно-револьверний : $7 \times 2,6$

Верстат –1341;

010) Токарно-револьверний : $7 \times 2,6$

Верстат –1341;

015) Токарно-револьверний : $7 \times 2,6$

Верстат –1341;

Таблиця 4.2 – Площі верстатів

№	Верстат	Площа в плані, м	Питома площа, м ²	К-сть	Заг. питома площа, м ²
1	2	3	4	5	6
005	1341	$7 \times 2,6$	$35 \div 40$	1	35
010	1341	$7 \times 2,6$	$35 \div 40$	1	35
015	1341	$7 \times 2,6$	$35 \div 40$	1	35
				3	105

4.4. Розробка технологічного планування дільниці

На аркуші створюємо план ділянки у відповідному масштабі 1:50. На території дільниці розташовані три токарно-револьверні верстати моделі 1341. Усе обладнання, яке розміщується на дільниці, визначається за габаритами верстатів, враховуючи крайні точки виступаючих частин. Габарити спрощуються

до прямокутної форми. Для верстатів загального призначення використовуються готові шаблони. На одному робочому місці розташовується один працівник. Згідно з нормами, розраховуються відстані між верстатами, ширина проходів і проїздів між рядами обладнання.

Під час розміщення обладнання слід дотримуватись встановлених нормативів щодо площі та відстаней [19]:

- між верстатами і елементами споруд і колон 0,6–1,5м;
- розмірами проходів та проїздів 2–4м;
- розташування між устаткуванням.

Для визначення загальної площі ділянки використовуємо формулу [19]:

$$S = S_{\text{вир}} + S_{\text{д}} \quad (4.4)$$

де $S_{\text{вир}} = 105 \text{ м}^2$ - основна виробнича площа, $P_{\text{д}} = 3\% P_{\text{В}} = 0,03 \cdot 5 = 0,1$

$$S_{\text{д}} = 10\% S_{\text{вир}}, \quad (4.5)$$

$S_{\text{д}} = 0,1 \cdot 105 = 10,5 \text{ м}^2$ - допоміжна площа,

$$S = 105 + 10,5 = 115,5 \text{ м}^2.$$

Для розрахунку загальної площі ділянки застосовуємо формулу [19].

Ключові завдання, які необхідно вирішувати у процесі розробки технологічного планування, включають оптимізацію виробничих процесів, забезпечення максимальної ефективності використання ресурсів, організацію робочих місць та визначення точних термінів виконання планових заходів. Окрім цього, важливо враховувати можливі ризики, гарантувати дотримання стандартів якості та передбачати способи підвищення продуктивності, що сприятиме конкурентоспроможності підприємства на ринку:

- оптимальне використання та розподіл виробничих площ;
- найбільш раціонального розміщення обладнання;
- зменшення дистанцій транспортування матеріалів, заготовок, виробів.

Готова продукція переміщується на склад, що відповідає необхідним умовам зберігання. Таким чином, із проведених розрахунків і розташування

обладнання можна зробити висновок, що технологічне навантаження на нього оптимальне і відповідає встановленим вимогам.

4.5. Основні техніко-економічні показники дільниці

Таблиця 4.3 – Основні техніко-економічні показники дільниці

Найменування показників і одиниці вимірювань	По дільниці
1	2
Загальні положення (основні данні)	
1. Найменування виробу	Корпус
2. Річна програма випуску, т.	58,52
3. Працездатність виготовлення, год.	2038,67
4. Кількість основного обладнання, шт.:	-
• дрібного	-
• середнього	3
• крупного	-
• особливо крупного	-
• всього	3
5. Тип виробництва	Багатосерійний
6. Кількість робітників, чел.:	5
• основних	1
• допоміжних	1
• всього	6
7. Виробничі площі, м ² :	105
• основного виробництва	105
• допоміжного виробництва	10,5
Питомі показники (відносні)	
1. Середній коефіцієнт завантаження обладнання	0,559
2. Питома площа на один основний верстат, м ² :	

<ul style="list-style-type: none"> • загальна • виробнича 	38,5
	35
3. Річний випуск на один основний верстат, верстат-год.	679,6
4. Річний випуск на одного основного робітника, верстат-год.	407,7
5. Питома площа на одного основного робітника, м ² .	21

Висновки. Спроектовано механообробну дільницю для виготовлення деталі. Визначено кількість основних та допоміжних працівників. Виокремлено основну та допоміжні площі. На дільниці знаходиться 3 токарно-револьверні верстати моделі 1341. Все обладнання, яке підлягає розміщенню по дільниці за габаритами верстатів приймають свій контур по крайніх точках виступаючих частин.

РОЗДІЛ 5

АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ

5.1. Методика визначення ефективності процесу різання

Оптимальний вибір параметрів для процесу різання — це досягнення максимальної ефективності при дотриманні всіх умов та вимог щодо якості деталі й продуктивності її обробки. Це означає, що у кожен момент часу процес різання має працювати на максимумі своїх можливостей, не виходячи за межі встановлених допустимих критеріїв. Таке завдання оптимізації можна розглядати як однокритеріальне, де досягнення найкращих показників вирішується класичними методами нелінійного програмування. У рамках цього підходу можливо визначити найефективніші значення параметрів, які впливають на обробку деталі. До основних чинників, які впливають на процес різання, відносяться повздовжня подача за оберт заготовки, швидкість різання, а також головний параметр — глибина різання [20].

На практиці під час виконання будь-якого процесу різання жоден із його параметрів не залишається незмінним. Це зумовлено постійною динамікою як

зовнішніх умов, так і особливостей самої технологічної обробної системи. Під час точіння циліндричної поверхні виникають різноманітні фактори, які впливають на стабільність та якість обробки. Одним із них є випадкові зміни припуску та твердості матеріалу заготовки. Крім того, зона обробки поступово зміщується вздовж самої заготовки, що призводить до зміни точки прикладання сили в пружній технологічній системі. Це викликає виникнення пружних деформацій. З часом інструмент зношується, відбуваються зміни температури в зоні різання, а силові характеристики верстата залишаються нестабільними. Такі динамічні зміни суттєво ускладнюють підтримання стабільного стану процесу. Щоб забезпечити оптимальні результати обробки, критично важливо постійно контролювати і адаптувати процес. На кожному етапі роботи необхідно оперативно визначати нові оптимальні параметри впливу на процес різання. Це дозволяє зберігати заданий рівень характеристик і забезпечувати якісне виконання операції [20].

Оптимальне управління має бути гнучким і здатним адаптуватися до змінних умов процесу різання, при цьому функціонуючи автоматично. Найкращим рішенням для задоволення таких вимог є використання сучасних систем автоматизованого управління. Вони здійснюють контроль над параметрами подачі, швидкістю різання, а в окремих випадках і над глибиною різання, забезпечуючи високу ефективність і точність роботи.

Реалізація оптимального управління технологічними процесами, такими як різання, часто пов'язана з низкою викликів. Одним із найбільших є принципова неможливість створення такого вимірювального приладу, який міг би точно виконувати функції зворотного зв'язку в простій замкненій системі автоматичного управління (САУ). Через це оптимізація управління базується на аналізі допоміжних параметрів, які мають тісний зв'язок із критеріями оптимальності. Ці параметри визначаються за допомогою відповідних математичних моделей. У більшості випадків ключовим допоміжним параметром є потужність різання. Це один із найпоширеніших показників, що використовується для оцінки ефективності процесу. У сучасних умовах технологічної підготовки виробництва найбільш доцільним є впровадження таких

управлінських рішень, які реалізуються через програмне забезпечення. Щоб оцінити збурення і отримати дані про реальний стан процесу різання, використовуються різноманітні підходи. Часто вони передбачають непряме вимірювання таких характеристик, як припуск, температура у зоні різання, швидкість зношування інструменту тощо. Серед широкого спектра методів управління найбільш спорідненим із запропонованою системою є підхід, що оцінює стан процесу на основі актуального значення перетину шару припуску. Така система дозволяє не лише підвищити точність управління, але і значно покращити результативність усього технологічного процесу. Оптимізація через використання сучасних моделей і методів стає базовою умовою для досягнення стабільної якості та ефективності у виробництві [20].

На рисунку 5.1 представлено схему структури оптимального управління.

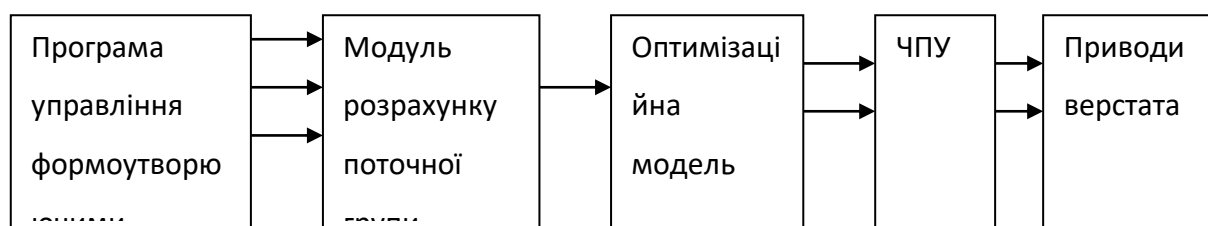


Рисунок 5.1 Структурна схема управління верстатом

Початкова інформація щодо перебігу процесу різання надходить з модуля, що розраховує поточну глибину різання. Цей модуль функціонує під керівництвом програми управління формоутворюючими рухами. Наступним кроком, відповідно до оптимізаційної математичної моделі різального процесу, визначаються найбільш ефективні режими різання, такі як величина подачі та швидкість різання. Отримані параметри передаються до модуля програмного управління, який формує команди для роботи відповідних приводів верстата.

У серці будь-якої системи автоматизованого управління (САУ) процесом різання лежить її оптимізаційна математична модель. Саме ця модель забезпечує зв'язок між критеріями оптимізації та керуючими параметрами, такими як швидкість і подача інструменту. Завдяки розв'язанню задачі оптимізації визначають ті керуючі впливи, які дозволяють досягти максимальної

продуктивності чи мінімальної собівартості виготовлення деталей, при цьому зберігаючи потрібну якість. Окрім традиційних критеріїв, як-от продуктивність і собівартість, часто враховується критерій максимальної швидкості зняття припуску. Вибір саме цього підходу залежить від результатів техніко-економічного аналізу. У виробничій практиці нерідко постають завдання пошуку балансу: необхідно забезпечити або максимум продуктивності, або мінімум витрат при заданому рівні стійкості інструменту. Таким чином, успішна оптимізація процесів різання ґрунтується на правильному балансуванні всіх факторів, що впливають на якість, ефективність виробництва та економічну вигідність [20].

5.2. Створення математичної моделі процесу різання під час токарної обробки

У традиційному підході до моделювання математична модель формується як система рівнянь, що описує взаємозв'язок між параметрами впливу, обмеженнями та обраним критерієм оптимальності, ґрунтуючись на класичних залежностях теорії різання. При токарній обробці різанням за один прохід із постійною глибиною, яка відповідає величині припуску на обробку, режими різання вважатимуться оптимальними за такого співвідношення подачі та швидкості різання, яке забезпечує мінімальний основний технологічний час. Відповідно, для поздовжнього точіння оптимізаційну математичну модель можна подати у вигляді наступної системи рівнянь та нерівностей.

Залежність між параметрами швидкості різання V , частотою обертання шпинделя n та періодом стійкості інструмента визначають відповідно до відомої теоретичної формули різання [21]:

$$V = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{C_v k_v}{T^m h^x S^{y_v}}; \quad n S^{y_v} = \frac{318 C_v k_v}{D T^m h^{x_v}}; \quad (5.1)$$

Оскільки всі залежності, які формують математичну модель, мають емпіричний характер, важливо враховувати одиниці вимірювання всіх фізичних величин. Зазвичай ці одиниці не відповідають міжнародній системі СІ. Так, у

залежності (5.1) частота обертання - n (об/хв), подача - S (мм/об), глибина різання - h (мм), період стійкості - T (хв), діаметр заготовки - D (мм) [22].

У математичній моделі (5.1) слід враховувати відомі з практики обробки різанням залежності стійкості різця не лише від матеріалу заготовки та характеристик інструменту, але й від геометричних параметрів ріжучої частини різця. Вплив основного та додаткового кутів у плані проявляється через вже відомі залежності [21] залежності для допустимої швидкості різання:

$$V = \frac{C_\phi}{\phi^u}; V = \frac{C_{\phi^1}}{\phi^{u^1}}; \quad (5.2)$$

Ці залежності є складовою математичної моделі процесу різання, а їхній вплив на обмеження (5.1) реалізується через коефіцієнт k_g , значення чого визначається за заданими умовами режимів різання [21].

Також є обмеження за потужністю різання N_p (кВт);

$$N_{cm} = \frac{P\pi Dn}{1000 \cdot 6 \cdot 10^4} = \frac{C_p h^{x_p} S^{y_p} k_p \pi Dn}{6 \cdot 10^7} \leq N_{cm} \eta, \quad (5.3)$$

Звідки [21]:

$$nS^{y_p} \leq \frac{1.91 \cdot 10^7 N_{cm} \eta}{C_p h^{x_p} k_p D}, \quad (5.4)$$

де N_{cm} - потужність верстату, кВт;

η - коефіцієнт корисної дії;

C_p, k_p, x_p, y_p - ці залежності є частками математичної моделі процесу різання, а їхній вплив на обмеження (5.1) реалізується через коефіцієнт.

Подача, яка регулюється необхідним рівнем шорсткості Rz обробки, визначається через детерміновану складову профілю шорсткості обробленої поверхні. Ця складова встановлюється відповідно до геометричних взаємозв'язків, що формують мікронерівності поверхневого шару деталі для кожного з чотирьох ймовірних варіантів формування верхівки профілю [21]. Такі значення є співвідношеннями між геометричними параметрами вершини різця у плані (головний $\angle p$, допоміжний $(p/$ кут у плані і радіус скруглення вершини різця у плані) і подачею на оберт.

При $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ вершина профілю утворюється на перетині головного та допоміжного різальних лез інструмента, при $\varphi > \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 > \arcsin(S/2r)$ вершина профілю утворюється в результаті перетину допоміжного різального леза з радіусною ділянкою вершини інструменту, при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ вершина профілю утворюється на перетині основного різального леза та радіусної частини вершини інструменту, при цьому $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ вершина профілю утворюється в результаті перетину виключно радіусної частини вершини інструмента. Таким чином, у умову визначення допустимої подачі з урахуванням шорсткості безпосередньо входить сама подача, що унеможлиблює отримання відповідної аналітичної залежності [24].

Для вирішення подібної задачі доцільно застосувати чисельний метод, побудований на основі принципу поступового наближення до розв'язку із заданим кроком, відповідно до алгоритму, блок-схема якого наведена на рисунку 5.2.

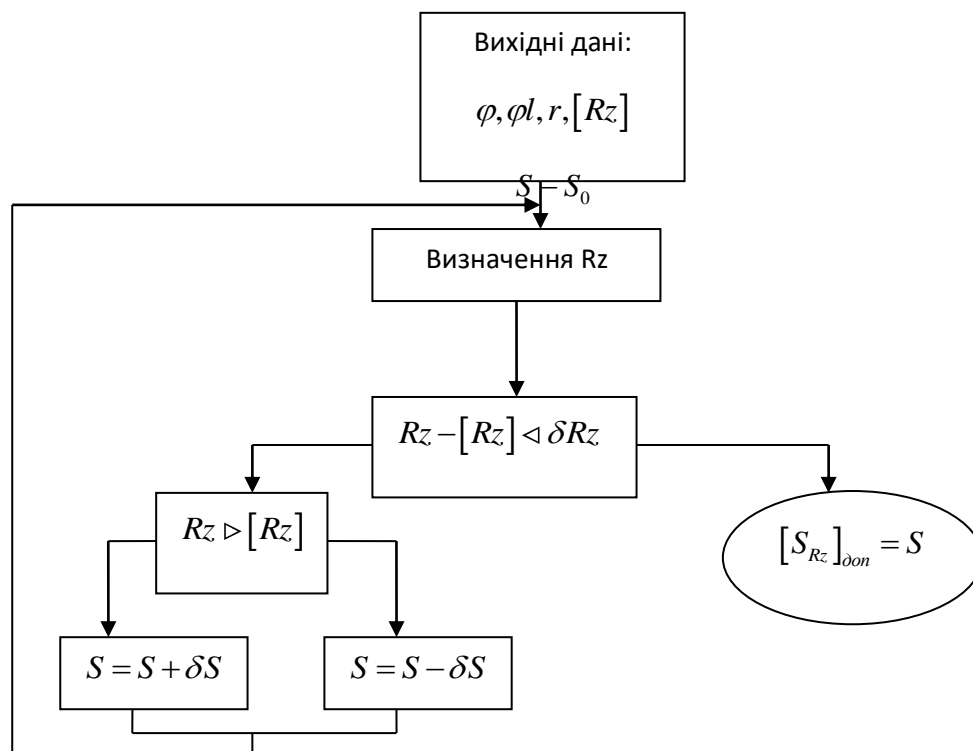


Рисунок 5.2 Блок-схема для алгоритму визначення подачі, яка залежить від допустимого рівня шорсткості оброблюваної поверхні

Отже, визначення допустимого рівня шорсткості обробленої поверхні деталі представлено у наступному вигляді [21]:

$$S \leq [S_{Rz}]_{\text{дон}} \quad (5.5)$$

Наступне обмеження, що впливає на повздовжню подачу, диктується вимогами до міцності та жорсткості конструкції токарно-обробного станку (ТОС). Наприклад, величина максимальної подачі, яку дозволяє привод подачі верстата, може бути визначена за допомогою такої залежності [22]:

$$[S_p]_{\text{дон}} = \left(\frac{2P_n}{C_p h^{X_p} k_p} \right)^{\frac{1}{Y_p}} \quad (5.6)$$

Максимальна можлива подача визначається як мінімальне значення серед подач, які забезпечують допустимий рівень міцності інструменту $[S_1]_{\text{дон}}$ або зусиллям тяги механізму подачі верстата $[S_p]_{\text{дон}}$.

$$S_{\min} \leq \{ [S_p]_{\text{дон}}, [S_1]_{\text{дон}} \}, \quad (5.7)$$

Конструктивні обмеження, які залежать від технічних характеристик металорізального верстата [23]:

Діапазон повздовжніх подач:

$$S_{\min} \leq S \leq S_{\max}, \quad (5.8)$$

Діапазон частот обертання шпинделя:

$$n_{\min} \leq n \leq n_{\max} \quad (5.9)$$

Як оцінювальну функцію за критерієм максимальної продуктивності беремо:

$$f = nS \rightarrow \max, \quad (5.10)$$

При цьому основний час обробки $t_0 = L/nS \rightarrow \min$ (де L - довжина обробки).

Обмеження, які визначаються гранично допустимою силою або моментом різання, розраховані на основі умов міцності інструменту або механізму подач металорізального верстата, а також обмеження щодо максимальної частоти

обертання шпинделя і максимальної подачі, взаємодіють таким чином, що не формують область допустимих значень для режимів різання. Однак зі зміною початкових параметрів процесу, зокрема глибини різання, ці обмеження можуть змінювати свій взаємний порядок.

5.3. Аналіз змінних параметрів різання під час точіння

Для ілюстрації процесу виконання розрахунків нижче наведено етапи досліджень, що спрямовані на отримання необхідних вихідних даних. Для розв'язання перших трьох завдань, пов'язаних із залежністю розрахунків від глибини різання, необхідно підготувати таблицю експериментальних даних. У цій таблиці слід визначити діапазон зміни параметра глибини різання та встановити зручний крок для таких змін. Це дозволить більш детально проаналізувати отримані результати та підвищити точність обчислень.

Таблиця 5.2 – Дані параметрів різання

№	$h, \text{мм}$	$n_{\text{онм}}$ об/хв	$S_{\text{онм}}$ мм/об	$N_{\text{різ}}$ кВт	$P_z, \text{Н}$	$S_{\text{хв}}$ мм/хв	V м/хв
1	0,5	1320	0,420	2,80	810	554	207
2	1,0	1192	0,420	4,88	1565	501	187
3	1,5	1120	0,420	6,75	2301	470	176
4	2,0	952	0,418	7,50	3011	398	150
5	2,5	768	0,418	7,48	3722	321	121
6	3,0	648	0,418	7,51	4426	271	102
7	3,5	624	0,362	7,51	4600	226	98
8	4,0	624	0,306	7,52	4603	191	98

На рисунку 5.3 демонструється стан області допустимих значень параметра D , що охоплює частоту обертання шпинделя та величину повздовжньої подачі,

визначений у процесі експериментальних досліджень на основі інформації із зазначеної в таблиці 5.1.

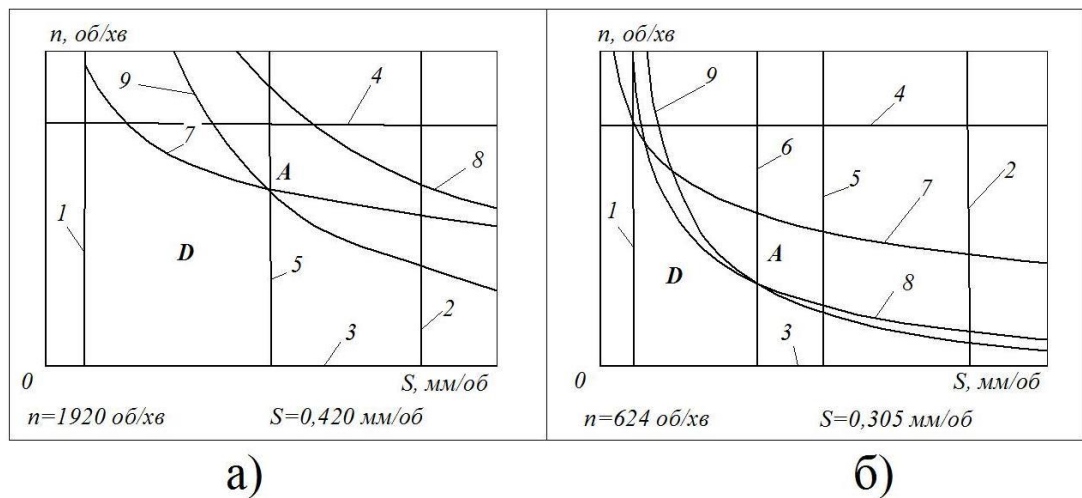


Рисунок 5.3 Результати встановлення найощадливішого режиму різання: а) для глибини різання 1 мм, б) для глибини різання 3 мм.

Лінії 1 і 2 відображають обмеження за мінімальною та максимальною подачею. Лінії 3 і 4 відповідають обмеженням за мінімальною та максимальною частотою обертання шпинделя. Лінія 5 визначає обмеження подачі з урахуванням заданої шорсткості поверхні, а лінія 6 – обмеження подачі за допустимим зносом механізму подачі привода верстата. Лінія 7 показує обмеження за стійкістю інструмента, а лінія 8 – за потужністю верстата. Нарешті, лінія 9 відображає функцію оптимізації, спрямовану на досягнення максимальної продуктивності.

Спостерігається, що зі зміною глибини різання вершина А області допустимих значень, яка відповідає оптимальному режиму різання за продуктивністю, формується в результаті перетину різних обмежень. Так, при глибині різання 1 мм ця вершина визначається обмеженнями за стійкістю інструмента та необхідною шорсткістю поверхні, тоді як при глибині різання 4 мм – обмеженнями за потужністю різання та максимально допустимою силою привода подачі.

На основі експериментальних даних та з використанням пакету Excell побудовано графіки відповідних залежностей, які наведені на рис. 5.4, 5.5 та 5.6. Аналіз результатів експерименту дозволяє зробити висновки про закономірності, за якими досягається оптимальний режим різання при зміні глибини різання.

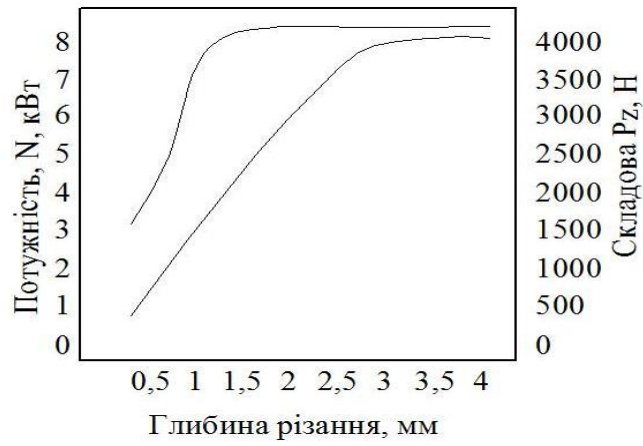


Рисунок 5.4 Вплив глибини різання на експериментально визначений оптимальний режим різання

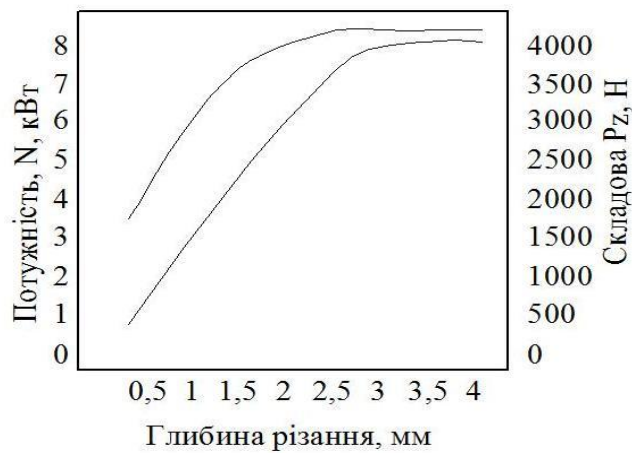


Рисунок 5.5 Вплив глибини різання на потужність і складову RPP сили різання при оптимальному режимі

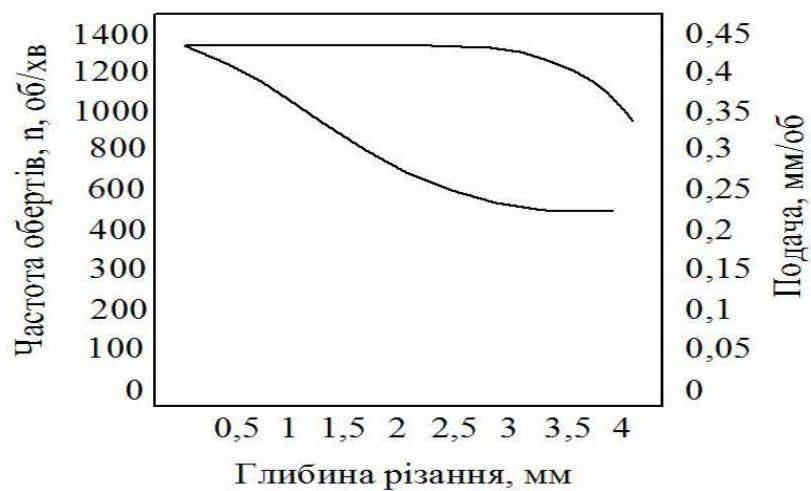


Рисунок 5.6 Вплив глибини різання на продуктивність і швидкість різання при оптимальному режимі

Огляд експериментальних результатів (рис. 5.4) свідчить про існування двох зон оптимальних параметрів обробки:

- При глибині різання до 3 мм оптимальні режими обробки забезпечуються постійною подачею на оберт заготовки, тоді як частота обертання шпинделя зменшується майже за лінійним законом;

- При глибині різання понад 3 мм оптимальні режими обробки передбачають підтримання постійної частоти обертання заготовки, тоді як поздовжня подача зменшується майже за лінійною залежністю.

Аналіз експериментальних даних показує, що оптимальна точка на фазовій площині $n-S$ формується переважно під дією трьох обмежень: за стійкістю інструмента, потужністю та шорсткістю поверхні. До глибини різання 3 мм основним обмеженням подачі є вимога до шорсткості обробленої поверхні. При збільшенні глибини різання починає діяти четверте обмеження – за силою подачі верстата (рис. 5.3 б)

Що стосується енергетичних характеристик оптимального процесу різання, висновки можна зробити на основі аналізу графіків на рис. 5.5. При глибині різання понад 2 мм верстат використовує повну доступну потужність, тобто головним обмеженням стає обмеження за потужністю. Для підвищення продуктивності доцільно застосовувати верстат більшої потужності.

Варто також зазначити, що при глибині різання більше 3 мм максимальні значення потужності збігаються з максимальною силою різання. Така закономірність свідчить про певну оптимальність конструктивного рішення та обґрунтованість вибору параметрів верстату.

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень (рис. 5.6) можна сформулювати наступні висновки:

- Продуктивність верстата, визначена часом обробки поверхні деталі та величиною поздовжньої подачі, знижується поступово;

- Продуктивність верстата оцінюється як обсяг матеріалу, видаленого за хвилину обробки ($h-S_a$) продуктивність зростає зі збільшенням глибини різання і після 2 мм виходить на постійний рівень, що добре корелює з графіком залежності потужності різання.;

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи магістра було вирішено важливе технічне завдання – вдосконалено технологічний процес виготовлення деталі корпус, спроектовано допоміжне технологічне обладнання для його реалізації та здійснено оптимізацію режимів різання.

Здійснено аналіз службового призначення деталі і характеристику об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь та вимоги до її якості. На основі оцінки мінімальної величини приведених витрат на виготовлення заготовки визначили доцільність застосування двох методів отримання заготовки – лиття в пісчано-глинясті форми та лиття під тиском. Різниця у вартості заготовки між цими методами в розрізі річної програми випуску становить 88 тис. грн. Проведено аналіз правильності методу обробки поверхонь. Прийнято метод обробки різанням, як найбільш поширений в машинобудуванні.

Враховуючи ступінь спеціалізації робочих місць, номенклатуру об'єктів виробництва, форму рухів виробів по робочих місцях визначено тип та організаційну форму виробництва. Тип виробництва – масовий, організаційна форма виробництва – потокова.

Проведено аналіз технологічності конструкції деталі. Встановлено, що матеріал дає можливість отримати заготовку методом лиття, деталь має зручні базові поверхні, деталь дозволяє створювати зручні чистові бази. Базування забезпечує точність обробки. Визначено допуски на технологічні розміри і проведено розрахунок припусків. Побудовано розмірні схеми та графічні дерева схем обробки. Розрахунки показали, що вибраний метод обробки, технологічні бази, обладнання та оснастка забезпечують задану точність обробки. Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева та розмірних ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показав, що запропонований варіант може бути прийнятий. Преш за все, всі контурні розміри витримуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій. Тобто, похибки обробки будуть залежати від точності технологічної системи.

Для всіх переходів визначено режими різання, підібрано металорізальне обладнання, здійснено розрахунок норм часу на виконання кожного з переходів технологічного процесу.

Спроековано верстатний пристрій для фрезерної операції та пристрій для контролю точності відстані до осі отвору вхідного патрубку. Розроблено схему базування заготовки в пристрої. Заготовка встановлюється на призму 2 позбавляючи заготовку 4-х ступенів свободи. Зрізаний палець 13 позбавляє заготовку одного ступеня свободи, спеціальний притискний палець 19 позбавляє заготовку одного ступеня свободи. Для затискного пристрою здійснено розрахунок сили затиску яка становить $W_3 = 2710$ Н. Розрахунок пристрою на забезпечення конструкторських розмірів показав, що задана точність кутового розташування лиски при вибраній схемі установки щодо отвору буде забезпечена. точність поверхонь, що обробляються – лиски (розміри $41 \pm 0,31$ мм, 7×14 мм, отвір $\varnothing 4$ мм) забезпечується.

Спроекований контрольний пристрій зменшує час на операцію перевірки на 44% у порівнянні з вимірюванням стандартним вимірювальним інструментом. Похибка вимірювання становить 0,04 мм.

Спроековано механообробну дільницю для виготовлення деталі. На дільниці знаходиться 3 токарно-револьверні верстати моделі 1341. Все обладнання, яке підлягає розміщенню по дільниці за габаритами верстатів приймають свій контур по крайніх точках виступаючих частин.

Проведено оптимізацію параметрів процесу різання при токарній обробці для забезпечення заданої якості поверхні при мінімальних енергозатратах на її обробку а також максимальній ефективності при механічній обробці. Оптимальними будуть такі параметри обробки: глибина різання – 2 мм; подача – до 0,3 мм/об; швидкість обертання шпинделя – 800-1000 об/хв.. Саме ці параметри забезпечують максимальну продуктивність обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

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

2. Основи технології машинобудування. Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня зі спеціальності 131 Прикладна механіка за освітньо-професійною програмою «Технології машинобудування» всіх форм навчання.] / С.П. Сапон. – 2-ге вид., перероб. і доповн. – Чернігів: НУЧП, 2022. 62 с.

3. Цвіркун Л.О., Омельченко О.В. Технологічні основи машинобудування : метод. рекомендації до вивч. дисц. / М-во освіти і науки України, Донец. нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського, Каф. загальноінженерних дисциплін та обладнання ; Л.О. Цвіркун, О.В. Омельченко. – Кривий Ріг : [ДонНУЕТ], 2020. 69 с.

4. Гущин О. В. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин : посібник для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 131 – «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» / О. В. Гущин. – Краматорськ : ДДМА, 2019. 159 с.

5. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафєєв; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

6. Дзюра В.О. Наукові основи забезпечення параметрів якості робочих поверхонь деталей машин у вигляді тіл обертання. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.08 «Технологія машинобудування» (з технічних наук). Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.413 с

7. Cao, B.; Yan, Y.; Wang, Y.; Liu, X.; Lin, J.C.-W.; Sangaiah, A.K.; Lv, Z. A multiobjective intelligent decision-making method for multistage placement of PMU in power grid enterprises. IEEE Trans. Industr. Inform. 2022,9, 7636–7644.

8. Основи технології машинобудування. Частина 2. Самостійна та індивідуальна робота студентів : навч. посіб. / О. В. Дерібо, Ж. П. Дусанюк, С. В. Репінський, С. І. Сухоруков – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 90 с.

9. Теорія різання [Електронний ресурс] : Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с.

10. Pankiv V. R. , Senchyshyn V. S. Methodical instructions for performing practical work on the subject «Special technologies in mechanical engineering» for students of all forms of study Direction of preparation 131 " Applied mechanics".Ternopil : Ivan Puluj Ternopil National Technical Universit, 2023. 63 p.

11. J. Chen, Z. Wang, Z. Liu, and S. Ju, “Experimental investigation of mechanical properties of steel half-grouted sleeve splice with Reinforcement bonding defects,” Journal of Building Engineering, vol. 50, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.jobe.2022.104113.

12. Яковенко І. Е., Пермяков О. А., Фесенко А. В. Технологічні основи машинобудування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 –Галузеве машинобудування / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков, А.В. Фесенко – Харків: НТУ «ХП», 2022. – 421с.

13. Яковенко І. Е.. Пермяков О. А. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеві машинобудування /І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков – Харків : НТУ «ХП», 2024. – 233с.

14. V. R. Pankiv, V. M. Baranovsky Synopsis of lectures on the subject «Special technologies in mechanical engineering» for students of all forms of study Direction of preparation 131 " Applied mechanics" Synopsis of lectures on the subject «Special technologies in mechanical engineering» for the training of specialists in the educational qualification level "Bachelor" in the direction of preparation 131 " Applied mechanics". - Ivan Puluj Ternopil National Technical Universit, 2023. 97 p.

15. Струтинський В.Б., Кириченко А.М. Захватні пристрої роботів. Монографія – Кропивницький: Видавництво ТОВ «КОД». 2020. – 386 с

16. Практичні роботи з дисципліни «Спеціальні розділи механічної обробки матеріалів» методичні вказівки [для здобувачів третього освітньо-наукового рівня вищої освіти спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», денної та заочної форм навчання] / [уклад.: Я.В.Васильченко]. – Краматорськ; Тернопіль : ДДМА, 2023. – 165 с

17. Теорія різання [Електронний ресурс]: Підручник для студентів спеціальності 131 – Прикладна механіка / О. В. Глоба, В. В. Вовк, Д. А. Красновид, В. І. Солодкий. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 248 с

18. Технологічна оснастка. Розрахунки. Проектування: навчальний посібник для студентів спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / І. Е. Яковенко, О. А. Пермяков – Харків: НТУ «ХП», 2024. – 232с

19. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Проектування машинобудівних виробництв» зі спеціальності 131 Прикладна механіка для підготовки освітнього рівня «магістр» / Укладачі : Комар Р.В., Окіпний І.Б., Сенчишин В.С. – Тернопіль: 2022. – 42 с

20. Пістунов І. М. Теорія ймовірностей та математична статистика для економістів. З елементами електронних таблиць : навч. посібн. / І. М. Пістунов, І. Ю. Турчанінова. – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – 174 с.

21. M Bogoljubova, A Afonarov, V Kozlov and O. Sumtsova Mathematical simulation and optimization of cutting modes in turning of titanium alloy workpieces / IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 124 (2019).

22. Bhuiyan, T. and Ahmed, I. Optimization of Cutting Parameters in Turning Process / SAE Int. J. Mater. Manf. 7(1):2019

23. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків : Вид-во «НТМТ», 2019. — 448 с.

