

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»**

**Оптимізація технологічного процесу виготовлення деталі вал
шляхом підвищення якості обробки**

спеціальність 131 Прикладна механіка
(шифр і назва спеціальності)

освітня програма «Прикладна механіка»
(назва освітньої програми)

Виконав: здобувач вищої освіти
групи ІМм-21
Макарук Андрій Миколайович

(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 – 2023 року

Луцький національний технічний університет

Факультет Транспорту та механічної інженерії

Кафедра Прикладної механіки та мехатроніки

Другий (магістерський) рівень

Освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»

Спеціальність 131 Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:
Завідувач кафедри

_____ **Р.РЕДЬКО**

“ _____ ” _____ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Макаруку Андрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптимізація технологічного процесу виготовлення деталі вал шляхом підвищення якості обробки, керівник роботи Самчук Людмила Михайлівна, к.т.н., доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» січня 2023 р. № 42/01-02.
2. Строк подання студентом роботи 1.12.2023 року.
3. Вихідні дані до роботи: креслення деталі вал тихохідний, річна програма випуску 35000 шт/рік, нормативно-технічна документація, довідникові дані
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. Розділ 1. Загальна частина Розділ 2. Технологічна частина Розділ 3. Конструкторська частина Розділ 4. Проектування механічної дільниці Розділ 5. Оптимізація параметрів різання Висновки. Список посилань.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Креслення дільниці – 1 лист (ф.А2). Креслення заготовки – 1 лист (ф.А1). Креслення карт налагодження – 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання *01.03.2023р.*

Керівник

_____ (підпис)

Завдання прийняв до виконання

_____ (підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Термін виконання етапів кваліфікаційної роботи магістра	Примітка
1.	<i>Загальна частина</i>	<i>14.04.2023р.</i>	
2.	<i>Технологічна частина</i>	<i>18.05.2023р.</i>	
3.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>18.07.2023р.</i>	
4.	<i>Проектування механічної ділянки</i>	<i>12.09.2023р.</i>	
5.	<i>Оптимізація параметрів різання</i>	<i>1.12.2023 р.</i>	
6.	<i>Представлення роботи до захисту</i>	<i>1.12.2023 р.</i>	
7.	<i>Електронний варіант роботи</i>	<i>1.12.2023 р.</i>	

Студент

_____ (підпис)

(Макарук А.М.)

Керівник роботи

_____ (підпис)

(Самчук Л.М.)

АНОТАЦІЯ

Макарук А.М. Оптимізація технологічного процесу виготовлення деталі вал шляхом підвищення якості обробки. – Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття кваліфікації другого (магістерського) рівня вищої освіти із спеціальності 131 Прикладна механіка – Луцький національний технічний університет. – Луцьк, 2023.

Робота присвячена питанням оптимізації технологічних процесів виготовлення деталей шляхом підвищення якості обробки. Без ефективного використання ресурсів виробництво не може бути конкурентоспроможним. Оптимізація параметрів механічної обробки дозволити задовольнити потреби споживача при мінімальних енергозатратах на виготовлення. Сучасні методи та системи оптимізації та прогнозування дозволяють проводити математичні обчислення без залучення натурних експериментів, тому застосування їх дозволяє отримати результати в найкоротші терміни безпосередньо при проектуванні технологічних процесів.

В роботі було виконано комплекс технологічно-конструкторських завдань для оптимізації технологічного процесу виготовлення деталі вал тихохідний. Розроблена графічна частина та технологічна документація.

Ключові слова: Вал, технологія, обробка, технологічна система, оптимізація.

ANNOTATION

Makaruk A.M. Optimization of the technological process of manufacturing a shaft part by improving the quality of machining. – 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, 2023.

The paper is devoted to the optimization of technological processes for manufacturing parts by improving the quality of processing. Without efficient use of resources, production cannot be competitive. Optimization of machining parameters will allow to satisfy the needs of the consumer with minimal energy costs for manufacturing. Modern methods and systems of optimization and forecasting allow for mathematical calculations without the involvement of field experiments, so their use allows for the shortest possible time to obtain results directly in the design of technological processes.

Key words: Shaft, technology, processing, technological system, optimization.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	10
1.1 Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва, аналіз технічних умов на деталь.....	10
1.2 Вибір методу одержання заготовки.....	11
1.3 Вибір методу обробки поверхонь.....	14
1.4 Визначення типу та організаційної форми виробництва.....	14
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	19
2.1 Аналіз технологічності конструкції деталі.....	19
2.2 Вибір технологічних баз.....	19
2.3 Визначення допусків на технологічні розміри та розрахунок припусків..	20
2.4 Розмірний аналіз технологічного процесу.....	25
2.5 Розрахунок режимів різання, вибір обладнання.....	30
2.6 Нормування технологічного процесу.....	33
3 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	36
3.1 Проектування технологічного оснащення.....	36
3.1.2 Проектування технологічного оснащення.....	36
3.1.3 Силовий розрахунок параметрів приводу.....	37
3.1.4 Розрахунок на точність.....	39
3.1.5 Загальний опис конструкції, принцип дії.....	40
3.2 Проектування контрольного пристрою.....	41
3.2.1 Розрахунок на точність.....	41
3.2.2 Загальний опис конструкції, принцип дії.....	42
4 ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ.....	44
4.1 Визначення кількості працівників на ділянці.....	44
4.2 Розрахунок виробничої площі ділянці.....	45
4.3 Розробка технічного планування ділянці.....	46
4.4 Основні техніко-економічні показники ділянці.....	46
4.5 Вибір вантажопідйомних і транспортних засобів на ділянці.....	47

5. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ.....	49
5.1 Методика оцінювання параметрів процесу різання.....	49
5.2 Розробка математичної моделі процесу різання при токарній обробці....	51
5.3 Обробка змінних даних параметрів різання при точінні.....	54
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	61

ВСТУП

В рамках магістерської роботи розглянуто та вирішимо ряд проблем щодо проектування технологічних процесів та вибору оптимальних параметрів механічної обробки при токарній обробці. В роботі використано сучасні підходи до проектування технологічного процесу виготовлення деталі та методом математичного прогнозування вибрано оптимальні параметри обробки, що забезпечують задану якість поверхні.

Актуальність теми. Сьогодні частка оброблення різанням у виготовленні більшості машин є досить значною. В різних галузях машинобудування на обробку різанням припадає від 20–30 % до 70–80 % загальної працездатності продукції цих галузей.

Технологічні процеси виготовлення деталей, які ґрунтуються на обробленні різанням, є найгнучкішими, що особливо важливо в сучасних умовах. Якість виготовлення деталей та процесів складання в машинобудуванні є необхідною умовою високої експлуатаційної якості машин. Різанням можна досягти найвищої точності розмірів, форми і взаємного розташування поверхонь та параметрів шорсткості. Зважаючи на це важливим є підбір раціональних параметрів різання які забезпечать мінімальні витрати на цей процес та одночасно дозволять досягти заданої якості поверхні.

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

Об'єкт дослідження – технологія обробки та режими різання при обробці деталі «Вал».

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

Методи дослідження. Використовуючи методи математичного моделювання при токарних операціях, параметри обробки були оптимізовані для досягнення найбільш ефективної обробки за найменших витрат. Комплекси технологічних процесів розробляються у вигляді технічної документації та технічного

оснащення, наявність яких є необхідною умовою забезпечення виробництва заданої кількості продукції та створених техніко-економічних показників.

Новизна одержаних результатів. Розроблене пристосування забезпечує ефективність технологічного обладнання виготовлення деталей. Математична модель, розроблена у формі системи рівнянь, що представляє зв'язок між впливами параметрів, обмеженнями та прийнятими критеріями оптимальності на основі класичних залежностей теорії різання для оптимізації режимів різання та зниження витрат на процес мінімізації якості деталей.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблено технологічний процес виготовлення деталі. Проведено аналіз технологічності деталі, розраховано та порівняно між собою 2 методи одержання заготовки та обрано оптимальний. Розрахувавши коефіцієнти закріплення операцій для кожної з операцій визначили тип виробництва – крупносерійний та його форму – потокова. Для заготовки проведено розрахунок припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним і табличним методами. Використання даних пристроїв дозволить скоротити час на виготовлення та перевірку основних параметрів геометричних розмірів деталі. 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.

Апробація результатів роботи. А. Макарук Побудова математичної моделі процесу різання при токарній обробці/ А. Макарук, Л. Самчук / Тези III студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ – 2023р. С.35-38.

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

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

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

Опираючись на умови роботи механізму, вибираємо матеріал для виготовлення тихохідного валу сталь 40Х як найбільш поширену в редукторобудуванні. Дана сталь призначається для виготовлення осей, валів, плунжерів, штоків, колінчастих і кулачкових валів, а також кілець, шпинделів, рейок, зубчастих вінців, зубчатих коліс, болтів, півосей, втулок і інших деталей підвищеної міцності [1].

Таблиця 1.1. – Хімічний склад сталі 40Х[2]

Кремній (Si)	Мідь (Cu), не більше	Марганець (Mn)	Нікель (Ni), не більше	Фосфор (P), не більше	Хром (Cr)	Сірка (S), не більше
0.17-0.37	0.30	0.50-0.80	0.30	0.035	0.80-1.10	0.035

Таблиця 1.2. – Механічні властивості в залежності від перетину[2]

Перетин, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	σ_s , %	σ , %	КСУ, Дж/м ²	НВ
Гарт 840-860 °С, вода, олива. Відпуск 580-650 °С, вода, повітря.						
301-500	345	590	14	38	49	174-217

Сталь 40Х схильна до відпуску. Завдяки великій міцності та досить хорошій прогартовуваності саме цю сталь використовують для виготовлення колінчастих валів, зубчастих коліс, осей і т.п. Недоліком сталі є схильність до відпускнуї крихкості [2].

Обираємо термообробку для колеса – поліпшення, а для шестерні загартування в ТВЧ, основні параметри термообробки наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. – Термообробка сталі 40Х [2].

Матеріал	Деталь	Вид термообробки	Твердість НВ		σ_s , МПа	σ_T , МПа
			серцевини	поверхні		
Сталь 40Х	колесо	поліпшення	269	285	950	700
	шестерня	поліпшення і загартування ТВЧ	300	438	850	550

1.2. Вибір методу одержання заготовки

«Продуктивність механічної обробки багато в чому залежить від виду матеріалу, розмірів і конфігурації деталі, а також від характеру виробництва. Зазвичай для тіл обертання заготовки отримують шляхом вирізання зі звичайного гарячекатаного або холоднокатаного прутка і відразу піддаються механічній обробці.» [3].

На виробництвах зі значними масштабами виробництва, а також при виготовленні валів більш складної конфігурації з істотно різними діаметрами поверхонь рекомендується отримувати заготовки методом пластичного деформування[3].

«Дана деталь – вал ступінчастий має не великі перепади діаметрів, тому можна розглядати заготовку з прокату. Але, оскільки тип виробництва деталі – серійний, можна також розглядати заготовку – поковку. Розглянемо заготовку – поковку вироблену на горизонтально кувальній машині. Розрахуємо ціну заготовки за формулою:

$$S_{заг.} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_c \cdot K_e \cdot K_m \cdot K_n \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{відх.}}{1000} \quad (1.1)$$

де C_i - ціна сталі 40Х за тону;

Q – маса заготовки;

q – маса деталі;

$S_{відх.}$ - ціна стружки;

k_t - коефіцієнт, що залежить від точності штампувань;

k_c - коефіцієнт, що залежить від групи складності заготівлі;

k_g - коефіцієнт, що залежить від маси заготівлі»[3];

Розрахуємо масу заготовки [4]:

$$Q = q \cdot 1,5; \quad (1.2)$$

$$Q = 1,427 \cdot 1,5 = 2,141 \text{ кг.}$$

Вибравши коефіцієнти з таблиць, ми можемо розрахувати ціну поковки:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{5200}{1000} \cdot 2,141 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1,29 \cdot 1,13 \cdot 1 \right) - (2,141 - 1,427) \cdot \frac{900}{1000};$$

$$S_{\text{заг.}} = 13,474 \text{ грн.}$$

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу [4]:

$$K_{\text{Б.М.}} = \frac{q}{Q}; \quad (1.3)$$

$$K_{\text{Б.М.}} = \frac{1,427}{2,141} = 0,67.$$

«Визначаємо собівартість:

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{\text{від.}}}{1000}; \quad (1.4)$$

де C_i - ціна сталі 40х за тонну;

Q – маса заготовки;

q – маса деталі;

$S_{\text{від.}}$ - ціна стружки »[4];

Розрахуємо масу заготовки за допомогою об'єму та щільності матеріалу [4]:

$$Q = \pi \cdot \frac{d}{4} \cdot h \cdot \rho; \quad (1.5)$$

$$Q = 3,14 \cdot \frac{50^2}{4} \cdot 192 \cdot 7,8 \cdot 10^{-6} = 2,941 \text{ кг.}$$

$$S_{\text{заг.}} = \left(\frac{3200}{1000} \cdot 2,941 \right) - (2,941 - 1,427) \cdot \frac{900}{1000} = 6,2 \text{ грн.}$$

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу [4]:

$$K_{B.M.} = \frac{q}{Q}; K_{B.M.} = \frac{1,427}{2,941} = 0,485.$$

Коефіцієнт використання матеріалу з прокату на багато більший від коефіцієнту використання матеріалу при заготовці з поковки, та рівний $\frac{0,67 - 0,485}{0,67} \cdot 100\% \approx 27\%$. Отже, як заготовку вибираємо поковку на ГKM.

«ГKM призначена для штампування з пруткового матеріалу висадкою і прошивкою поковок, форма яких близька формі тіл обертання. Переваги штампування на ГKM :

- 1) легко штампувати деталі, які неможливо виготовити на іншому обладнанні;
- 2) економія металу за рахунок штампування в основному в закритих штампах і в деяких випадках без нахилу штампування;
- 3) здобуття поковок високої якості; можливість вживання вставок для струмків, внаслідок чого економиться штампова сталь;
- 4) без ударна, спокійна, безпечна робота;
- 5) легкість автоматизації (автоматичні ГKM з горизонтальним роз'ємом матриць)»[5].

Отже, найбільш раціональним і економічно вигідним буде використання заготовки отриманої з поковки на горизонтально кувальній машині.

1.3. Вибір методу обробки поверхонь

«Обробка призначається згідно:

- 1) необхідно відповідно до вимог креслення валу запровадити термообробку (ТО) – загартування з відпуском;
- 2) вал – деталь не жорстка, у процесі термообробки можливо його короблення й відповідне зниження точності на 1 квалітет;
- 3) обробку валу після ТО – обробляють методами абразивної обробки»[6].

1.4. Визначення типу та організаційної форми виробництва

У машинобудуванні умовно виділяють три основні типи виробництва: масовий, серійний і одиничний. Також є дві форми організації: групова і потокова.

Тип виробництва, який є найбільш наочною загальною організаційно-технічною характеристикою виробництва, визначається ступенем спеціалізації робочого місця, номенклатурою об'єктів виробництва, формою руху продукції на робочих місцях[7]:

$$\ll K_{з.о.} = \frac{O}{P}, \quad (1.6)$$

де O – число операцій, що виконується на робочих місцях ділянки, цеха;

P – кількість робочих місць.

«Кількість робочих місць визначаємо за формулою »[7]:

$$\ll m_p = \frac{N \cdot T_{шт.к.}}{60 \cdot F_{\partial} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (1.7)$$

«де $N=35000$ шт. – річна програма випуску;

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

$\eta_{з.н.}=0,75$ – нормативний коефіцієнт завантаження;

$T_{шт.к.}$ - штучно-кулькуляційний час на операціях, хв. »[7];

$$\ll T_{шт.к.} = T_0 \cdot \varphi, \quad (1.8)$$

де φ - коефіцієнт, який залежить від операцій і типу виробництва;

T_0 - основний технологічний час.

Визначаємо основний технологічний час і штучно-кулькуляційний час,» [7]:

005 Фрезерно-центрувальна операція:

$$T_{01} = 0,507 \cdot l = 0,32xв,$$

$$T_{02} = 0,2 \cdot l = 0,18xв,$$

Основний технологічний і штучно-кулькуляційний час:

$$T_0 = 0,5 \text{ хв},$$

$$T_{\text{и-к}} = 1,51 \cdot 0,5 = 1,34 \text{ хв}.$$

010 Гідро-копірувальна операція:

$$T_{01} = 0,16 \cdot l = 0,28 \text{ хв},$$

«Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,28 \text{ хв},$$

$$T_{\text{и-к}} = 1,51 \cdot 0,28 = 1,24 \text{ хв}.$$

015 Гідро-копірувальна операція:

$$T_{01} = 0,16 \cdot l = 0,337 \text{ хв},$$

«Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,337 \text{ хв},$$

$$T_{\text{и-к}} = 1,51 \cdot 0,337 = 1,3 \text{ хв}.$$

020 Токарна операція з ЧПУ:

$$T_{01} = 0,507 \cdot l = 0,43 \text{ хв},$$

$$T_{02} = 0,2 \cdot l = 0,07 \text{ хв} \text{ »}[7],$$

«Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,5 \text{ хв},$$

$$T_{\text{и-к}} = 1,51 \cdot 0,5 = 1,34 \text{ хв}.$$

025 Шпоночно-фрезерна операція:

$$T_{01} = 0,507 \cdot l = 0,17 \text{ хв} \text{ »}[7]$$

Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,17 \text{ хв},$$

$$T_{\text{и-к}} = 1,51 \cdot 0,17 = 1,04 \text{ хв}.$$

030 Термообробка:

035 Шліфувальна операція:

$$T_{01} = 0,18 \cdot l = 0,33 \text{ хв},$$

«Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,33 \text{ хв},$$

$$T_{ш-к} = 1,51 \cdot 0,33 = 1,34 \text{ хв}.$$

040 Шліфувальна операція:

$$T_{01} = 0,021 \cdot l = 0,54 \text{ хв} \gg [7],$$

Основний технологічний і штучно-калькуляційний час:

$$T_0 = 0,54 \text{ хв},$$

$$T_{ш-к} = 1,51 \cdot 0,54 = 1,2 \text{ хв}.$$

Знайдемо середній штучно-кулькуляційний час $\gg [7]$:

$$T_{шт.к} = \frac{\sum T_{шт.к}}{n}, \quad (1.9)$$

$$T_{ш-ксер} = \frac{8,8}{8} = 1,1 \text{ хв}.$$

Для $\eta_{з.н}$ для серійного виробництва 0,75-0,85; приймаємо $\eta_{з.н} = 0,75 [7]$.

«Визначаємо розрахункову кількість обладнання для виконання кожної операції [7]:

$$\ll m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н}}, \quad (1.10)$$

«де $N = 35000$ шт.

$F_d = 4059$ год.)

$\eta_{з.н}$ - коефіцієнт завантаження

$$m_{p005} = \frac{35000 \cdot 1,34}{60 \cdot 4059 \cdot 0,75} = 0,25 \gg [7];$$

Кількість робочих місць $p = 1$.

Коефіцієнт завантаження обладнання $\gg [7]$:

$$n_{з.ф} = \frac{m_p}{p} < n_{з.н}, \quad (1.11)$$

$$n_{з.ф005} = \frac{0,25}{1} = 0,25$$

$n_{з.ф005} = 0,25 < 0,75$ – умова виконується.

Розраховуємо кількість операцій, які виконуються на цьому обладнанні [7]:

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

$$O_{005} = \frac{0,75}{0,25} = 3, \text{ приймаємо } O=3.$$

Таблиця 1.4. – Значення штучно-калькуляційного часу[7].

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	p	$n_{з,ф}$	O
005	1,34	0,25	1	0,25	3
010	1,24	0,23	1	0,23	3
015	1,3	0,24	1	0,24	3
020	1,34	0,25	1	0,25	3

Продовження таблиці 1.4

025	1,04	0,19	1	0,19	3
035	1,36	0,26	1	0,26	3
040	1,2	0,22	1	0,22	3
всього	8,8	1,64	7	1,64	21

Коефіцієнт закріплення операцій [7]:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P} = \frac{21}{7} = 3;$$

Оскільки $1 < K_{з.о.} < 10$, то виробництво Крупносерійне [7].

Визначаємо організаційну форму виробництва.

Добовий випуск виробів [7]:

$$N_c = \frac{N}{254} = \frac{35000}{254} = 137 \text{ шт}; \quad (1.13)$$

Добова продуктивність потокової лінії:

$$Q = \frac{F_c}{T_{шт.сер}} \cdot \eta_{з.ф.сер} = \frac{952}{1,1} \cdot 0,23 = 199 \text{ шт};$$

$Q_c \cdot 0.6 = 199 \cdot 0,6 = 119 < N_c = 137$, отже форма організації виробництва потокова [7].

$$\ll t_e = \frac{60 \cdot F_d}{N} = \frac{60 \cdot 4059}{35000} = 6,9xв,$$

де $F_d = 4059$ год»[7].

Висновки. Розробка технологічного процесу виготовлення – найбільш відповідальний процес виготовлення деталі чи виробу. Від якості розробки ТП залежить собівартість деталі, трудоемність процесу виготовлення, якість деталі та кількість можливих дефектів, що можуть виникнути під час виготовлення. Виходячи з службового призначення деталі та опираючись на умови роботи механізму було обрано матеріал деталі – Сталь 40Х. Методом порівняння двох методів отримання заготовки: прокат та поковка. Матеріал з прокату на багато більший від матеріалу з поковки, на 27% . Отже, як заготовку вибираємо поковку на ГKM. Розрахувавши коефіцієнти закріплення операцій для кожної з операцій визначили тип виробництва – крупносерійний та його форму – потокова.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз технологічності конструкції деталі

Одним із важливих етапів проектування є аналіз конструкції деталі, щоб її можна було виготовити. Метою цього кроку є виявлення можливостей зниження витрат і складності виробництва шляхом невеликих змін у конструкції. Для виготовлення валу необхідно вибрати матеріал, що має підвищену зносостійкість і високу твердість. Для цих цілей вибираємо конструкційну сталь марки 40 Х ГОСТ 1050-88 з наступним проведенням термічної обробки [8].

«В результаті якісної оцінки деталі на технологічність, можна зробити наступні висновки:

1. Матеріал деталі - сталь 40 Х ГОСТ 1050-88 повністю відповідає умовам експлуатації, зносостійкості, поверхневим деформаціям і т.п.;

2. Конструкція деталі забезпечує достатню жорсткість при механічній обробці на металорізальному устаткуванні;
3. Деталь має елементи, зручні для закріплення заготовки при обробці;
4. Форми поверхонь, що підлягають обробці, не представляють складнощі; є можливість максимального використання стандартизованих і нормалізованих різальних і вимірювальних інструментів»[8].

На підставі якісного аналізу на технологічність можна зробити наступний висновок: деталь цілком технологічна, немає необхідності вносити до її конструкції або використовуваного матеріалу, які-небудь зміни.

2.2. Вибір технологічних баз

Технологічна база використовується для визначення місця розташування деталі або компонента під час виробництва або ремонту. В процесі обробки на верстатах необхідно визначити поверхні, лінії або точки відносно яких будуть орієнтовані інші поверхні заготовки, які обробляються на даному установі.

«Для більшості деталей, які являються тілами обертання головною базою є вісь заготовки. Тому за чистову базу для обробки ступінчатого валу обираємо вісь заготовки і її торці, що обробляються на першій операції – фрезерно – центрувальній. Для підготовки чистової бази потрібно обрати чорнову базу, яка для даної деталі буде зовнішнім діаметром валу. Після підготовки чорнової бази для подальшої обробки використовують чистову базу, отже чистовою базою для обробки валу є центрові отвори, та торці валу. В тих випадках, коли потрібно змінювати базу, тобто для закріплення деталі приймати інші поверхні, необхідно звести похибки базування до мінімуму, для цього використовують спеціальні пристрої та обладнання. Таким випадком є нарізання шпоночного пазу, тоді деталь закріплюється за зовнішній діаметр деталі у призмах. Для більш точного позиціонування деталі при нарізанні шпоночного пазу можна окрім призм використовувати центра, але за таких умов значно збільшується підготовчо – заключний час на цю операцію»[8].

2.3. Визначення допусків на технологічні розміри та розрахунок припусків

Для розрахунку використовуються різні методи. У рамках магістерської роботи ви будете використовувати обчислювальний аналіз і табличні методи для розрахунку допусків для механічних процесів.

На поверхню $\text{Ø}40\text{h}7$ – розрахунково-аналітичним методом.

Для заготовок поковок $R_z = 200 \text{ мкм}$; $h=300 \text{ мкм}$ [9].

Значення цих параметрів після механічної обробки поверхні будуть рівними [9]:

- для чорнового точіння $R_z = 160 \text{ мкм}$, $h = 100 \text{ мкм}$;
- для чистового точіння $R_z = 25 \text{ мкм}$, $h = 30 \text{ мкм}$;
- для шліфування $R_z = 10 \text{ мкм}$, $h = 20 \text{ мкм}$.

«Залежно від умов виконання операцій використовуємо формулу для визначення просторових відхилень на заготовку:

$$\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}, \quad (2.1)$$

де ρ_1 - питома короблення валу, мкм;

ρ_2 - сумарне зміщення валу, мкм»[9];

$$\rho_1 = \sqrt{(K \cdot d)^2 + (K \cdot l)^2}, \quad (2.2)$$

де $K = 0.7 \text{ мкм/м}$ – питома короблення валу;

$d=40 \text{ мм}$ – діаметр валу;

$l = 58 \text{ мм}$ – довжина валу.

Тоді, $\rho_1 = \sqrt{(0.7 \cdot 40)^2 + (0.7 \cdot 58)^2} = 48 \text{ мкм}$;

$\rho_2 = 200 \text{ мкм}$;

$\rho = \sqrt{70^2 + 200^2} = 211 \text{ мкм}$ » [9];

Інші відхилення будуть рівні [2]:

Точіння чорнове:

$$\rho_m = K_y \cdot \rho = 0.05 \cdot 211 = 10,5 \text{ мкм},$$

де K_y - коефіцієнт уточнення форми [9].

Відхилення під час точного точіння і шліфування невеликі і не впливають на кінцевий результат розрахунку.

Тому їх можна ігнорувати.

Похибка при чорновому точінні $\varepsilon_\gamma = 82$ мкм [9].

При чистовому точінні та шліфовці $\varepsilon_\gamma = 0$ [9].

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.1

Таблиця 2.1. - Допуски на технологічні розміри [9]

Технологічні переходи	Елементи припуску, мкм			
	R_z	h	ρ	W
Заготовка	200	300	211	-
Чорнове точіння	160	100	10,5	82
Чистове точіння	25	30	0,5	0
Шліфування	10	20	-	0

На основі цих даних проводимо розрахунок мінімальних значень між операційних припусків по формулі [9]:

$$2Z_{i\min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_\gamma^2}), \quad (2.3)$$

Мінімальний припуск під чорнове точіння:

$$2Z_{1\min} = 2(200 + 300 + \sqrt{211^2 + 82^2}) = 1438 \text{ мкм};$$

Мінімальний припуск під чистове точіння:

$$2Z_{2\min} = 2(160 + 100 + \sqrt{10,5^2 + 0^2}) = 540 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3\min} = 2(25 + 30) = 110 \text{ мкм}$$

«Розрахунковий розмір d починається з кінця, тобто з розміру $\varnothing 40,025$ мм, послідовним відхиленням разового мінімального припуску кожного технологічного переходу.

$$\ll d_{p4} = 40,025 \text{ мкм};$$

$$d_{p3} = d_{p4} - 2Z_{\min3} = 40,025 + 0,11 = 40,135 \text{ мкм},$$

$$d_{p2} = d_{p3} - 2Z_{\min2} = 40,135 + 0,54 = 40,675 \text{ мкм},$$

$$d_{p1} = d_{p2} - 2Z_{\min1} = 40,675 + 1,438 = 42,113 \text{ мкм} \gg [9].$$

Допуски для кожного способу приймаються відповідно до якості того чи іншого виду обробки з урахуванням розрахунків.

Таблиця 2.2. - Значення допусків при обробці[9]

№	Технологічні переходи	Квалітет точності	Розрах. розмір d_p , мм	Допуск T , мкм	Гранич. розміри, мм		Гранич. значення припусків, мкм	
					d_{\min}	d_{\max}	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Заготовка	14	42,133	620	42,23	42,6	-	-
2	Чорнове точіння	11	40,675	160	40,103	40,565	1438	1898
3	Чистове точіння	9	40,135	62	40,675	40,82	540	638
4	Шліфування	7	40,025	25	40,135	40,172	110	147

Граничні розміри валу розраховуються наступним чином: - результат округлення індивідуального розміру d до відповідного допуску переходу.

– результат віднімання відповідного допуску переходу від максимального граничного розміру d .

«Таким чином, для шліфування:

$$d_{\max} = 40,025 \text{ мкм}, \quad d_{\min} = 40,025 - 0,25 = 40,0 \text{ мкм},$$

для чистового точіння:

$$d_{\max} = 40,135 \text{ мкм}, \quad d_{\min} = 40,135 - 0,065 = 40,07 \text{ мкм},$$

для чорнового точіння:

$$d_{\max} = 40,675 \text{ мкм} , d_{\min} = 40,675 - 0,160 = 40,515 \text{ мкм} ,$$

для заготовки:

$$d_{\max} = 42,133 \text{ мкм} , d_{\min} = 42,133 - 0,620 = 41,513 \text{ мкм} .$$

Мінімальна межа допуску відповідає різниці в максимальній межі цієї міграції порівняно з попередньою міграцією, а максимальне значення відповідає різниці в мінімальній межі»[9].

Тоді для шліфування:

$$2Z_{\min 3}^{\varphi} = 40,025 + 0,11 = 40,135 \text{ мм} , 2Z_{\max 3}^{\varphi} = 40,025 + 0,147 = 40,172 \text{ мм} .$$

Для чистового точіння:

$$2Z_{\min 2}^{\varphi} = 40,135 + 0,54 = 40,675 \text{ мм} , 2Z_{\max 2}^{\varphi} = 40,135 + 0,638 = 40,82 \text{ мм} .$$

Для чорнового точіння:

$$2Z_{\min 1}^{\varphi} = 40,675 + 1,43 = 40,103 \text{ мм} , 2Z_{\max 1}^{\varphi} = 40,675 + 1,89 = 40,565 \text{ мм} .$$

Загальні припуски $Z_{\min}^{\text{заг}}$ і $Z_{\max}^{\text{заг}}$ отримуємо додаючи проміжні припуски [9]:

$$2Z_{\min}^{\text{заг}} = 1438 + 540 + 110 = 2088 \text{ мкм} , 2Z_{\max}^{\text{заг}} = 1898 + 638 + 147 = 2683 \text{ мкм} .$$

Для всіх інших поверхонь, що обробляються, припуски знаходимо табличним методом і значення заносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. – Загальні припуски і допуски на оброблювані поверхні[9]

Поверхня деталі	Клас точності розмірів	Степінь точності поверхні	Ряд припуску	Допуск розміра, мм	Спосіб кінцевої обробки	Значення припуску, мм
1	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	0,8	Чистова	1,9
2,3,4,5	7Т – 11	9 – 16	4 – 7	0,7	Чистова	1,3

1-7	7Т – 11	9 – 16	4 – 7	0,7	Чистова	1,8
1-13	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	0,8	Чистова	1,8
14,15	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	1	Чистова	2,0
16,17	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	0,9	Шліфування	1,8
18	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	0,9	Шліфування	1,9
19	7Т – 11	9 – 16	3 – 6	0,8	Чорнова	0,9

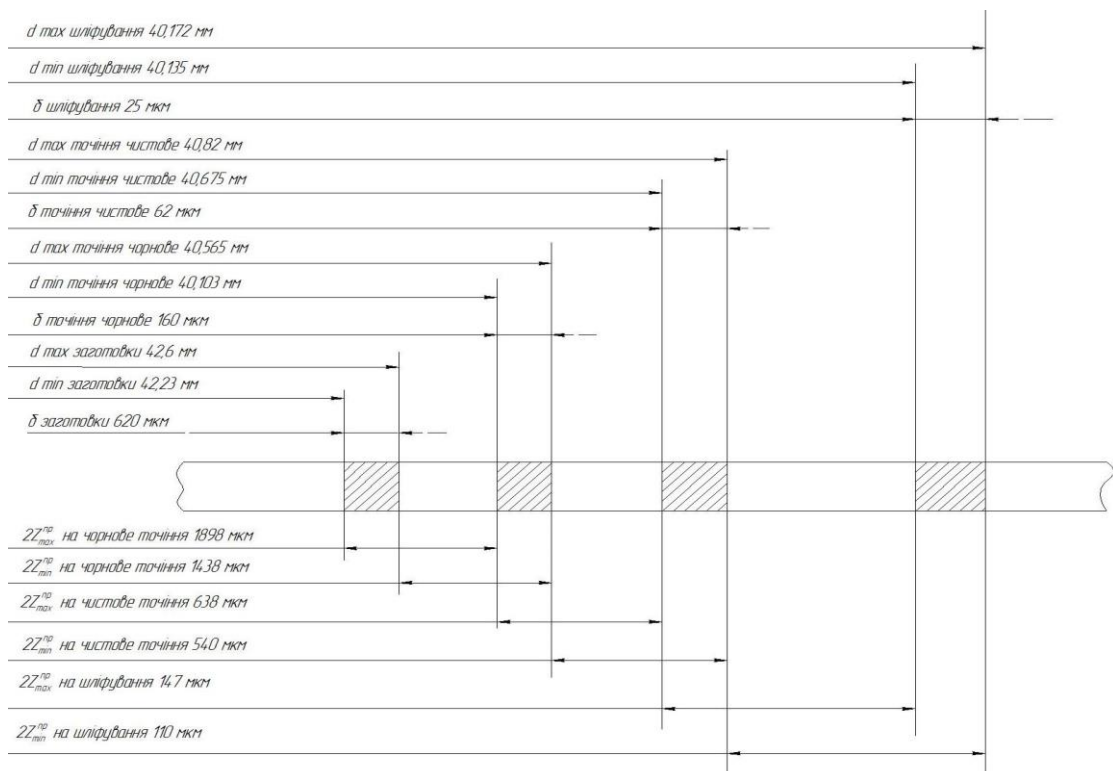


Рисунок 2.1 Схема графічного розміщення припусків і допусків на обробку $\varnothing 40h7$

2.4. Розмірний аналіз технологічного процесу

Визначаємо розміри заготовки і допуски технічних операцій і роблять висновки про якість запропонованого варіанту ТП.

Розміри А по осьовому напрямку [10].

$$\begin{aligned}
 A_{01} &= 193,0h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, & A_{02} &= 191,5h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, & A_{03} &= 190,0h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, \\
 A_{04} &= 188,5h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, & A_{05} &= 187h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, & A_{06} &= 40h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \\
 A_{07} &= 39h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, & A_{08} &= 116,8h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, & A_{09} &= 115,7h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, \\
 A_{10} &= 115h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, & A_{11} &= 81,3h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, & A_{12} &= 80,4h7({}_{-0,11}^{+0,062})\text{мм}, \\
 A_{13} &= 80h9({}_0^{+0,02})\text{мм}, & A_{14} &= 17h9({}_0^{+0,032})\text{мм}, & A_{15} &= 15h9({}_0^{+0,036})\text{мм}, \\
 A_{16} &= 51,2h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, & A_{17} &= 50h19({}_0^{+0,036})\text{мм}.
 \end{aligned}$$

«Розрахунок припусків по осьовому напрямку:

$$\begin{aligned}
 Z_{01}^H &= A_{01} - A_{02} = 193 - 191,5 = 1,5\text{мм}, \\
 Z_{01}^{\max} &= A_{01}^{\max} - A_{02}^{\min} = 193,062 - 191,5 = 1,562\text{мм}, \\
 Z_{01}^{\min} &= A_{01}^{\min} - A_{02}^{\max} = 193,0 - 191,562 = 1,438\text{мм}, \\
 Z_{02}^H &= A_{02} - A_{03} = 191,5 - 190 = 1,5\text{мм}, \\
 Z_{02}^{\max} &= A_{02}^{\max} - A_{03}^{\min} = 191,562 - 190 = 1,562\text{мм}, \\
 Z_{02}^{\min} &= A_{02}^{\min} - A_{03}^{\max} = 191,5 - 190,062 = 1,438\text{мм}, \\
 Z_{03}^H &= A_{03} - A_{04} = 190,0 - 188,5 = 1,5\text{мм}, \\
 Z_{03}^{\max} &= A_{03}^{\max} - A_{04}^{\min} = 190,062 - 188,5 = 1,562\text{мм}, \\
 Z_{03}^{\min} &= A_{03}^{\min} - A_{04}^{\max} = 190,0 - 188,562 = 1,438\text{мм}, \\
 Z_{04}^H &= A_{04} - A_{05} = 188,5 - 187 = 1,55\text{мм}, \\
 Z_{04}^{\max} &= A_{04}^{\max} - A_{05}^{\min} = 188,562 - 187,0 = 1,562\text{мм}, \\
 Z_{04}^{\min} &= A_{04}^{\min} - A_{05}^{\max} = 188,5 - 187,062 = 1,438\text{мм} \text{»}[10], \\
 Z_{05}^H &= A_{06} - A_{07} = 40 - 39 = 1\text{мм}, \\
 Z_{05}^{\max} &= A_{06}^{\max} - A_{07}^{\min} = 40,036 - 38,89 = 1,146\text{мм},
 \end{aligned}$$

$$\ll Z_{05}^{\min} = A_{05}^{\min} - A_{06}^{\max} = 39,89 - 39,036 = 1,038 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^H = A_{08} - A_{09} = 116,8 - 115,7 = 1,1 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^{\max} = A_{08}^{\max} - A_{09}^{\min} = 116,862 - 115,7 = 1,162 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^{\min} = A_{08}^{\min} - A_{09}^{\max} = 116,8 - 115,762 = 1,038 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^H = A_{09} - A_{10} = 115,7 - 115,0 = 0,7 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^{\max} = A_{09}^{\max} - A_{10}^{\min} = 115,762 - 114,89 = 0,872 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^{\min} = A_{09}^{\min} - A_{10}^{\max} = 115,7 - 115,036 = 0,664 \text{ мм},$$

$$Z_{08}^H = A_{11} - A_{12} = 81,3 - 80,4 = 0,9 \text{ мм},$$

$$Z_{08}^{\max} = A_{11}^{\max} - A_{12}^{\min} = 81,362 - 80,29 = 1,072 \text{ мм},$$

$$Z_{08}^{\min} = A_{11}^{\min} - A_{12}^{\max} = 81,19 - 80,436 = 0,754 \text{ мм},$$

$$Z_{09}^H = A_{12} - A_{13} = 80,4 - 80 = 0,4 \text{ мм} \gg [9],$$

$$Z_{09}^{\max} = A_{12}^{\max} - A_{13}^{\min} = 80,436 - 80 = 0,436 \text{ мм},$$

$$Z_{09}^{\min} = A_{12}^{\min} - A_{13}^{\max} = 80,29 - 80 = 0,29 \text{ мм},$$

$$Z_{10}^H = A_{14} - A_{15} = 17 - 15 = 2 \text{ мм},$$

$$Z_{10}^{\max} = A_{14}^{\max} - A_{15}^{\min} = 17,032 - 15 = 2,032 \text{ мм},$$

$$Z_{10}^{\min} = A_{14}^{\min} - A_{15}^{\max} = 17 - 15,036 = 1,938 \text{ мм},$$

$$Z_{11}^H = A_{16} - A_{17} = 51,2 - 50 = 1,2 \text{ мм},$$

$$Z_{11}^{\max} = A_{16}^{\max} - A_{17}^{\min} = 51,236 - 50 = 1,236 \text{ мм},$$

$$Z_{11}^{\min} = A_{16}^{\min} - A_{17}^{\max} = 50,89 - 50,036 = 0,854 \text{ мм}.$$

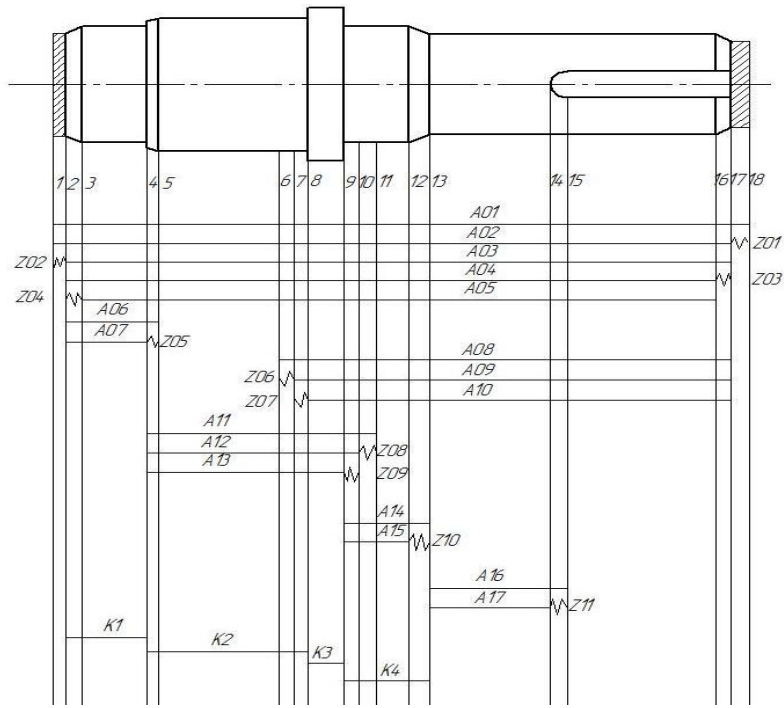


Рисунок 2.2 Розмірна схема лінійних розмірів в осьовому напрямку

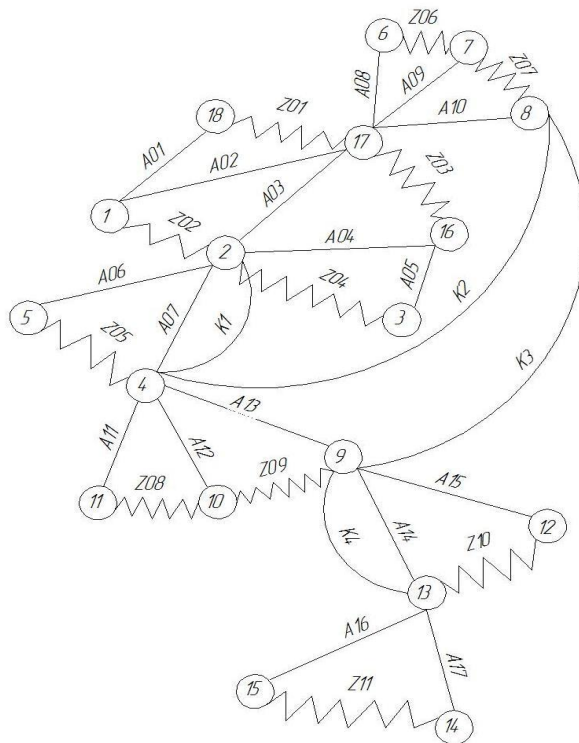


Рисунок 2.3 Граф-дерево комплексної схеми обробки в осьовому напрямку
Розміри А по радіальному напрямку.

$$\begin{aligned}
& \ll A_{01} = 24,2h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, \quad A_{02} = 18,7h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \quad A_{03} = 16,2h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \\
& A_{04} = 23,6h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \quad A_{05} = 23,0h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, \quad A_{06} = 17,6h7({}_{0,11}^{+0,036})\text{мм}, \\
& A_{07} = 17,5h9({}_0^{+0,062})\text{мм}, \quad A_{08} = 15,6h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \quad A_{09} = 15,0h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \\
& A_{10} = 4,0h7({}_{-0,11}^{+0,036})\text{мм}, \quad A_{11} = 0,03H10({}_0^{+0,011})\text{мм}, \quad L_1 = 0,05\text{мм}, \quad L_2 = 0,025\text{мм}. \gg [9]
\end{aligned}$$

«Розрахунок припусків по радіальному напрямку:

«Розрахунок припусків по радіальному напрямку:

$$Z_{01}^H = A_{01} - A_{04} + (L_1 + L_2) = 24,2 - 23,6 + (0,05 + 0,025) = 0,675\text{мм},$$

$$Z_{01}^{\max} = A_{01}^{\max} - A_{04}^{\min} + (L_1 + L_2) = 24,262 - 23,49 + (0,05 + 0,025) = 0,847\text{мм},$$

$$Z_{01}^{\min} = A_{01}^{\min} - A_{04}^{\max} + (L_1 + L_2) = 24,2 - 23,636 + (0,05 + 0,025) = 0,639\text{мм},$$

$$Z_{02}^H = A_{04} - A_{05} + (L_1 + L_2) = 23,6 - 23,0 + (0,05 + 0,025) = 0,675\text{мм},$$

$$Z_{02}^{\max} = A_{04}^{\max} - A_{05}^{\min} + (L_1 + L_2) = 23,636 - 23 + (0,05 + 0,025) = 0,561\text{мм},$$

$$Z_{02}^{\min} = A_{04}^{\min} - A_{05}^{\max} + (L_1 + L_2) = 23,49 - 23,062 + (0,05 + 0,025) = 0,503\text{мм},$$

$$Z_{03}^H = A_{02} - A_{06} + (L_1 + L_2) = 18,7 - 17,8 + (0,05 + 0,025) = 0,975\text{мм},$$

$$Z_{03}^{\max} = A_{02}^{\max} - A_{06}^{\min} + (L_1 + L_2) = 18,736 - 17,49 + (0,05 + 0,025) = 1,312\text{мм},$$

$$Z_{03}^{\min} = A_{02}^{\min} - A_{06}^{\max} + (L_1 + L_2) = 18,59 - 17,836 + (0,05 + 0,025) = 0,829\text{мм},$$

$$Z_{04}^H = A_{06} - A_{07} + (L_1 + L_2) = 17,8 - 17,5 + (0,05 + 0,025) = 0,375\text{мм},$$

$$Z_{04}^{\max} = A_{06}^{\max} - A_{07}^{\min} + (L_1 + L_2) = 17,836 - 17,5 + (0,05 + 0,025) = 0,411\text{мм},$$

$$Z_{04}^{\min} = A_{06}^{\min} - A_{07}^{\max} + (L_1 + L_2) = 17,136 - 17,562 + (0,05 + 0,025) = 0,249\text{мм}$$

$$Z_{05}^H = A_{03} - A_{08} + (L_1 + L_2) = 16,2 - 15,6 = 0,05 + 0,025 = 0,675 \text{ мм},$$

$$Z_{05}^{\max} = A_{03}^{\max} - A_{08}^{\min} + (L_1 + L_2) = 16,236 - 15,49 + (0,05 + 0,025) = 0,821 \text{ мм},$$

$$Z_{05}^{\min} = A_{03}^{\min} - A_{08}^{\max} + (L_1 + L_2) = 16,09 - 15,636 + (0,05 + 0,025) = 0,529 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^H = A_{08} - A_{09} + (L_1 + L_2) = 15,6 - 15 + (0,05 + 0,025) = 0,675 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^{\max} = A_{08}^{\max} - A_{09}^{\min} + (L_1 + L_2) = 15,636 - 14,89 + (0,05 + 0,025) = 0,821 \text{ мм},$$

$$Z_{06}^{\min} = A_{08}^{\min} - A_{09}^{\max} + (L_1 + L_2) = 15,49 - 15,036 + (0,05 + 0,025) = 0,529 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^H = A_{10} - A_{11} = 4 - 0 = 4 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^{\max} = A_{10}^{\max} - A_{11}^{\min} = 4,036 - 0 = 4,036 \text{ мм},$$

$$Z_{07}^{\min} = A_{10}^{\min} - A_{11}^{\max} = 3,89 - 0 = 3,89 \text{ мм}.$$

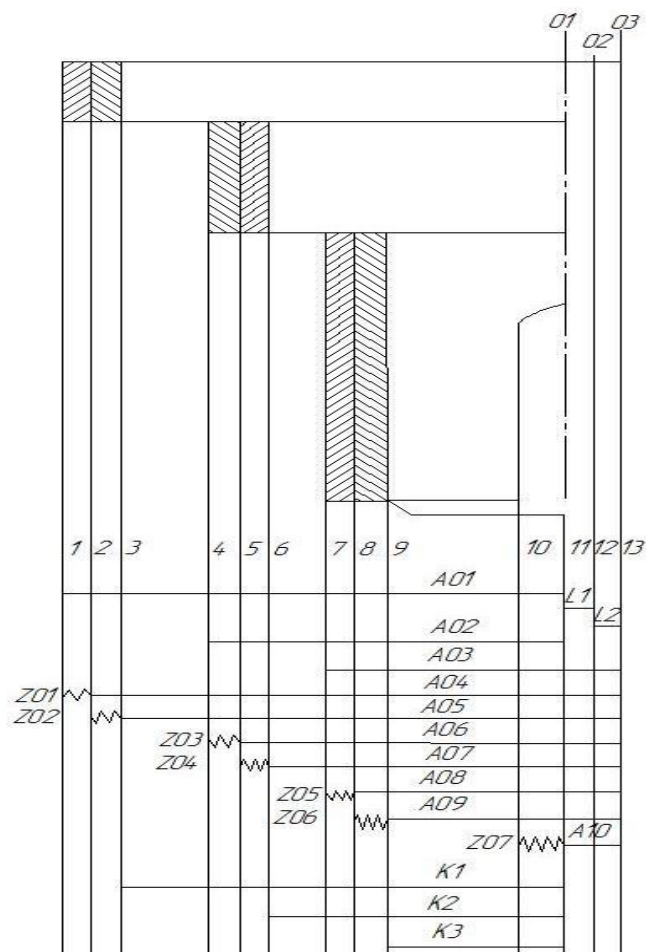


Рисунок 2.4 Розмірне креслення радіальної довжини

«Режими різання розраховуємо табличним методом. Розглянемо методику розрахунку на прикладі першої операції – 005 фрезерно – центрувальна.

Визначаємо довжину робочого ходу супорту за формулою:

$$L_{p.x} = L_{різ} + y + L_{дон}; \quad (2.4)$$

«де $L_{різ}$ – довжина різання;

y - підвід, врізання та перебіг інструменту;

$L_{дон}$ - додаткова довжина ходу, яка обумовлюється в деяких випадках особливостями наладки і конфігурацією деталей»[11];

Вибираємо данні з маршруту обробки та табличних даних:

$$L_{різ} = 17 \text{ мм}; \quad y = 5 \text{ мм}; \quad L_{дон} = 0,$$

$$L_{p.x} = 17 + 5 = 22 \text{ мм}.$$

Призначаємо величину подачі супорта на оборот шпинделя »[11]:

$$S_o = 0,55 \text{ мм/об};$$

Визначаємо стійкість інструменту по нормативам [11]:

$$T_p = 50 \text{ хв};$$

Розрахуємо швидкість різання за формулою [11]:

$$V = V_{табл} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3; \quad (2.5)$$

«де $V_{табл}$ – табличне значення швидкості;

K_1 - коефіцієнт, який залежить від матеріалу, що оброблюється;

K_2 - коефіцієнт, який залежить від стійкості та марки матеріалу ріжучою частини;

K_3 - коефіцієнт, який залежить від виду обробки [11];

$$V_{табл} = 88 \text{ м/хв}; \quad K_1 = 1; \quad K_2 = 1; \quad K_3 = 1,05;$$

$$V = 88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,05 = 92,4 \text{ м/хв} \text{.} \text{»[11]}$$

«Число обертів шпинделя верстата:

$$n = \frac{1000 \cdot 88}{3,14 \cdot 38} = 774,39 \text{ хв}^{-1}$$

Число обертів верстату:

$$n = 630 \text{ хв}^{-1};$$

$$V = \frac{\pi d n}{1000}; \quad (2.6)$$

«де d – діаметр деталі у місці обробки;

n - число обертів шпинделя;

$$V = \frac{3,14 \cdot 38 \cdot 630}{1000} = 75,17 \text{ м/хв} \gg [11];$$

Розрахуємо основний машинний час обробки за формулою [12]:

$$t_M = \frac{L_{p.x}}{S_o \cdot n}; \quad (2.7)$$

«де $L_{p.x}$ - довжину робочого ходу супорту;

S_o - подача супорту на оберт шпинделя;

n - число обертів шпинделя;

$$t_M = \frac{22}{0,6 \cdot 630} = 0,0634 \text{ хв}; \gg [12]$$

Аналогічним методом розраховуємо режими різання на інші операції, визначенні дані записуємо до таблиці 2.4

Таблиця 2.4. – Дані режимів різання [12]

Таблиця 2.4. – Дані режимів різання [12]

Найменування операції	Швидкість різання $V, \text{ м/хв}$	Подача $S, \text{ мм/об}$	Глибина різання $t, \text{ мм}$	Кількість проходів n	обертання $n, \text{ 1/хв}$	Машинний час $t, \text{ хв}$	інструмента $T, \text{ хв}$
005 Фрезерно-центрувальна	72,9	84 мм/хв	1,3	1	580	0,507	100
010 Гідрокопіювальна чорнова	96,536	0,55	0,98	1	630	0,282	50

015 Гідрокопіювальна чорнова	96,536	0,55	0,875	1	630	0,337	50
020 Токарна чистова з ЧПУ	144,44	0,15	0,42	1	1243,2	1,433	50
025 Шпоночно - фрезерна	25,12	0,01 мм/ зуб	0,375	1	1000	1,725	60
035 Шліфувальна	54,95	0,6	0,25	2	500	0,330	
040 Шліфувальна	54,95	0,6	0,25	2	500	0,547	

«Вибираємо на кожну операцію верстат:

005 Фрезерно-центрувальний МР76М;

010 Гідрокопірувальний напівавтомат 1Н713;

015 Гідрокопірувальний напівавтомат 1Н713;

020 Токарно-гвинторізний 16К20Ф3;

025 Шпоночно-фрезерний 6Д92;

030 Піч ТВЧ;

035 Круглошліфувальний 3М151;

040 Круглошліфувальний 3М151 »[12].

2.6 Нормування технологічного процесу

«Розраховуємо норми штучно-калькуляційного часу на фрезерно-центрувальну операцію 005.

$$T_{шт-к} = \frac{T_{n-3}}{n} + T_{шт}, хв \quad (2.8)$$

$$T_{шт-к} = T_0 + (T_{yc} + T_{30} + T_{yn} + T_{из}) * k + T_{об.см}, хв \quad (2.9)$$

«де T_{n-3} - підготовчо-заклучний час, хв.;

T_0 - основний час, хв.;

n – кількість деталей в настройковій партії, шт.;

T_{yc} - час на встановлення та зняття деталі, хв.;

T_{30} - час на закріплення та відкріплення деталі, хв.;

T_{yn} - час приймання керування, хв.;

T_{uz} - час на вимірювання деталі, хв.;

$T_{обст}$ - час на обслуговування робочого місця та відпочинок, хв.;

k – поправочний коефіцієнт»[12].

$$T_{yc} = 0,08 \text{ »}[13]$$

Час на вмикання верстата кнопкою – 0,02хв;підвести та одвести фрези та свердла від деталі – 2·0,06 хв [14]. Тоді:

$$T_{yn} = 0,02 + 2 \cdot 0,06 = 0,14 \text{ хв}$$

$$T_{uz} = 2 \cdot 0,12 = 0,16 \text{ хв}$$

Поправочний коефіцієнт допоміжного часу при серійному виробництві [14]:

$$k = 1,85$$

Допоміжний час [14]:

$$T_{\epsilon} = (T_{yc} + T_{30} + T_{yn} + T_{uz}) \cdot k \quad (2.10)$$

$$T_{\epsilon} = (0,08 + 0,14 + 0,16) \cdot 1,85 = 0,7 \text{ хв}$$

Оперативний час [14]:

$$T_{он} = T_0 + T_{\epsilon} \quad (2.11)$$

$$T_{он} = 0,507 + 0,7 = 1,21 \text{ хв}$$

Час перерв і обслуговування в роботі становить 6% робочого часу [14]:

$$T_{обот} = \frac{1,21 \cdot 6}{100} = 0,073 \text{ хв}$$

«Підготовчо-заклучний час на налагоджування станка – 12хв.; отримання інструмента та пристосування й здача його після закінчення обробки – 10 хв [14].

Тоді:

$$T_{n-3} = 12 + 10 = 22xв$$

Кількість деталей в партії :

$$n = \frac{N \cdot a}{254}, \quad (2.12)$$

де N – програма випуску деталей,шт.;

a – періодичність запуску в днях (a=12)

$$n = \frac{35000 \cdot 12}{254} = 936,8 \approx 937шт$$

Штучно-калькуляційний час »[14]:

$$T_{шт-к} = \frac{22}{378} + 0,507 + (0,08 + 0,14 + 0,16) \cdot 1,85 + 0,073 = 1,34xв$$

Результати визначення часу на інші операції розраховуємо аналогічним чином. Всі дані заносимо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. – Таблиця норм часу по операціям, хв.[13]

Таблиця 2.4. – Таблиця норм часу по операціям, хв.[13]

Номер та найменування операції	То	Тв			Топ	Тоб.о	Тшт	Тп-з	п	Тш-к
		Тус Тзо	Туп	Тиз						
005 Фрезерно-центрувальна	0,507	0,08	0,14	0,16	1,21	0,073	1,28	22	937	1,34
010 Гідрокопію-	0,282	0,07	0,07	0,32	1,133	0,068	1,2	16	937	1,24

вальна										
015 Гідро- копію- вальна	0,33 7	0,07	0,07	0,32	1,19	0,07	1,26	16	937	1,3
020 Токарна з ЧПУ	1,43	0,07	0,07	0,32	2,28	0,14	2,4	16	937	2,4 6
025 Шпоноч но- фрезерн а	1,72 5	0,14	0,1	0,12	2,39	0,14	2,53	21	937	2,5 9
035 Шліфу- вальна	0,33	0,07	0,06	0,12	0,79	0,05	0,84	7	937	0,8 6
040 Шліфу- вальна	0,54 7	0,07	0,06	0,24	1,23	0,07	1,3	7	937	1,3 2

Висновки. Провівши аналіз деталі на технологічність зробили висновок, що деталь цілком технологічна, немає необхідності вносити до її конструкції або використовуюваного матеріалу, будь які зміни. В якості технологічних баз в даній деталі будуть виступати зовнішні циліндричні поверхні. Для більш точного позиціонування деталі при нарізанні шпоночного пазу окрім призм будуть використовувати центра. Для заготовки проведено розрахунок припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним і табличним методами.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Проектування технологічного оснащення

Шпоночно – фрезерний верстат 6Д912, призначений для обробки шпонкових пазів мірними і немірними фрезами, шириною від 4 до 25мм і глибиною до 26 мм, Точність оброблюваного паза по N9, шорсткість оброблених поверхонь паза: стінки Rz20, дна - Rz40. Наявність на верстаті автоматичних циклів обробки пазів, оснащення самоцентруючими лещатами і механізмом затиску інструменту, дозволяє істотно розширити його технологічні можливості.

3.1.2 Вибір і обґрунтування принципу дії, структурної схеми

«Вибір обладнання здійснюється залежно від типу обробки, типу машини та типу виробництва». Вибране обладнання спрямоване на забезпечення: Правильної установки деталей, скорочення простоїв Підвищення продуктивності праці, надійної безпеки праці. Розширюйте технічні можливості верстатів і автоматично фіксуйте точність обробки та економічну ефективність.

У даній роботі ми розглянемо пристрій для вирізання шпонкових пазів. Положення деталі фіксується силою затиску W. Деталі розміщені на двох призматичних опорах з опорними дисками. Призми використовуються для вирівнювання заготовки в просторі та поглинання сил затиску та різання заготовки під час обробки. Конструкція і розміри внутрішніх компонентів пристрою найчастіше вибираються з стандарту»[15].

В якості затискного механізму використовується пневматичний привід, що складається з поршня і штока. До переваг можна віднести: Швидка робота, проста конструкція, незалежність роботи пневматичного приводу від коливань температури навколишнього середовища [15].

3.1.3 Силовий розрахунок параметрів приводу

Після вибору способу кріплення (опори) деталі та розміщення навісного елемента на пристрої визначають розмір, положення та напрямок зусилля затиску деталі. Далі обирають силовий привід для переміщення затискного елемента.

Сила P спрямована від патрона і намагається витягнути заготовку з пристосування. Розрахунок ведеться за станом сили P .

Максимальний крутний момент, який прагне обертати заготовку, визначається »[16]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D_{фр}}{2 \cdot 1000} \quad (3.1)$$

«де $D_{фр} = 8$ мм – діаметр фрези;

$$M_{кр} = \frac{330 \cdot 8}{2 \cdot 1000} = 1,32 \text{ »[16]Нм.}$$

«Визначаємо необхідне зусилля затиску деталі в пристосуванні за формулою:

$$W = \frac{2k_z \cdot M_{кр}}{(f_1 + f_2) \cdot D_d \cdot \sin \alpha} \quad (3.2)$$

«де k_z – коефіцієнт запасу сил закріплення;

$f_1 = 0,16$ – коефіцієнт контакту з заготовкою;

$f_2 = 0,16$ – коефіцієнт тертя контакту з затиском;

D_d – діаметр встановлювальної поверхні;

$\alpha = 90^\circ$ – кут призми»[16];

$$k_z = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (3.3)$$

«де $k_0 = 1,5$ - гарантований коефіцієнт запасу;

$k_1 = 1,1$ – коефіцієнт, що залежить від стану базових поверхонь;

$k_2 = 1,45$ - коефіцієнт, що враховує затуплення інструментів;

$k_3 = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує ударне навантаження на інструмент;

$k_4 = 1,25$ - коефіцієнт, що характеризує стабільність сил приводу;

$k_5 = 1,1$ - коефіцієнт, що враховує зручність керування механізмами;

$k_6 = 1,25$ - коефіцієнт, що враховує визначеність розташування опорних точок [16].

$$k_z = 1,5 \cdot 1,1 \cdot 1,45 \cdot 1,1 \cdot 1,25 \cdot 1,1 \cdot 1,25 = 4,52.$$

Таким чином, отримуємо:

$$W = \frac{2 \cdot 4,52 \cdot 1,32}{(0,16 + 0,16) \cdot 0,05 \cdot \sin 90^\circ} = 745,8 \text{ Н.}$$

При одночасній обробці двох деталей сумарна сила затиску складатиме »[16]:

$$W_c = 2 \cdot W;$$

$$W_c = 2 \cdot 745,8 = 1491,6 \text{ Н}$$

У розробленому пристрої деталі стискаються пневматичною камерою, основним параметром якої є діаметр.

Сила, яка діє на стрижень при подачі стисненого повітря в порожнину стрижня, визначається рівнянням .

[16]:

$$Q = 0,75 \cdot \pi / 16 \cdot [(D + d)^2 - d_1] \cdot \rho \quad (3.4)$$

«де D – діаметр діафрагми всередині пневмокамери, мм;

$d = 110$ мм – діаметр опорного диска пневмокамери;

$d_1 = 50$ мм – діаметр штока;

$\rho = 0,4$ Мпа – тиск стисненого повітря»[16].

Порівнюючи зусилля на штоці та потрібне зусилля затиску $W=Q$, знаходимо діаметр пневмокамери[16]:

$$W = \sqrt{\frac{Q \cdot 16}{0,75 \cdot \pi \cdot 2,09 \cdot \rho}} = \sqrt{\frac{1491,6 \cdot 16}{0,75 \cdot 3,14 \cdot 2,09 \cdot 0,4 \cdot 10^6}} = 0,06 \text{ м.} \quad (3.5)$$

Враховуючи номенклатуру оброблюваних деталей, у яких діаметр поверхні кріплення більше діаметра кожної деталі, приймаємо діаметр пневмокамери $D=240$ мм.

Фактичне зусилля затиску дорівнює [16]:

$$W = \frac{0,75 \cdot 3,14}{16} [(240 + 110)^2 - 50^2] \cdot 0,4 \cdot 10^6 = 7056 \text{ Н.} \quad (3.6)$$

Фактичне зусилля [16]:

$$W_{\phi} > W \quad (3.7)$$

$$7056 > 1491,6.$$

Таким чином, розроблений пристрій забезпечує надійне закріплення заготовки.

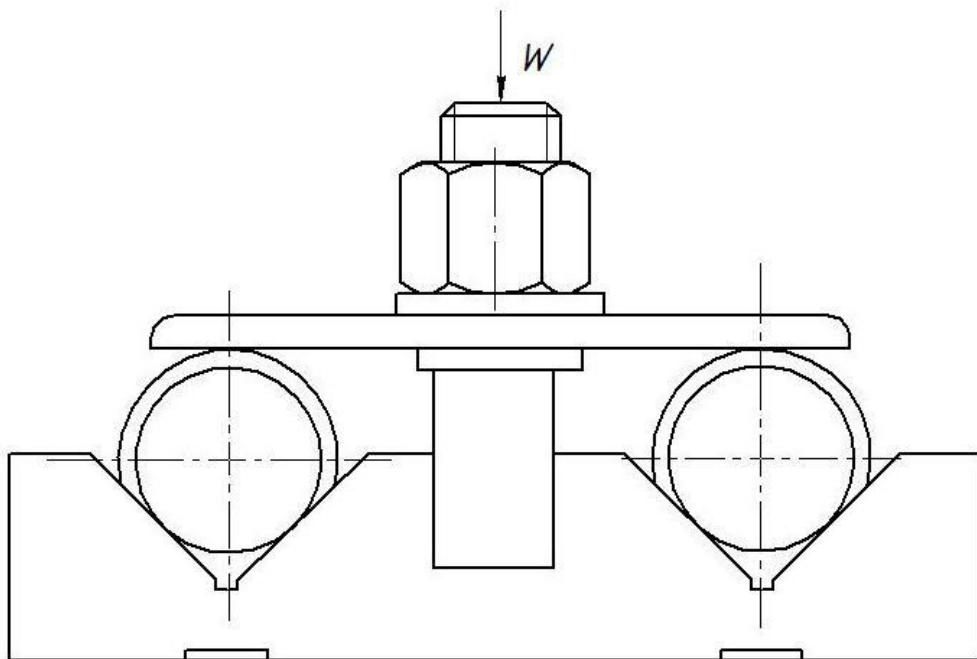


Рисунок 3.1 Схема для розрахунку потрібної сили затиску W

3.1.4 Розрахунок на точність

Розраховуємо похибку установки $\varepsilon_{уст.}$

$$\varepsilon_{уст.} = \sqrt{\varepsilon_{\delta.}^2 + \varepsilon_{з.}^2 + \varepsilon_{пр.}^2}, \quad (3.8)$$

«де $\varepsilon_{\delta.}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{з.}$ – похибка закріплення;

$\varepsilon_{пр.}$ – похибка пристрою.

Оскільки, для даного випадку спостерігається принцип єдності баз, то $\varepsilon_x = 0$ [17].

ε_z виникає через зміщення конструктивної бази під дією сил затиску ($\varepsilon_z = 0,11$ мм).

$$\varepsilon_{\text{зат.}} = \sqrt{0 + 0,11^2} = 0,11 \text{ мм.}$$

Таким чином, похибку пристосування визначаємо по формулі [17]:

$$\varepsilon_{\text{сп.}} = T_{\text{д.}} - (K_{\varepsilon_z} + \Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} + \Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}}), \quad (3.9)$$

$$\ll K_{\varepsilon_z} = 0;$$

$$\Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} = 0,11 \text{ мм};$$

$$\Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} = K' \cdot \Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} = K' \cdot W_{\text{м.з.}},$$

$$W_{\text{м.з.}} = 0,25 \text{ мм};$$

$K' = 0,6 \dots 0,8$ – коефіцієнт зменшення похибки.

$$\varepsilon_{\text{сп.}} = 0,46 - (0 + 0,11 + 0,2) = 0,15 \text{ мм.}$$

Тоді сумарна похибка [17]:

$$\sum \Delta_{\varepsilon} = K' \cdot \Delta_{\varepsilon_z} + \Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} + \Delta_{\varepsilon_{\text{зат.}}} + \varepsilon_{\text{сп.}}; \quad (3.10)$$

$$\sum \Delta_{\varepsilon} = 0 + 0,11 + 0,2 + 0,15 = 0,45 \text{ мм.}$$

Оскільки, $\sum \Delta_{\varepsilon} < T_{\text{д.}}$, то даний пристрій витримує необхідну точність при обробці деталі» [17].

3.1.5 Загальний опис конструкції, принцип дії

Пристрій призначений для фрезерування шпонкових канавок (детальний вид) шириною 8x9 і довжиною 40 мм на натяжних валах на вертикально-фрезерних верстатах моделі 6Д92.

Під час обробки деталей встановлюється на пристосуванні з циліндричною поверхнею $\varnothing 35$ кб на призмі 12 (подвійна напрямна основа віднімає від заготовки 4 ступені свободи) і штовхається штоком 1.

Деталь зупиняється в осьовому напрямку за допомогою регульованого упору (основа упору знімає один ступінь свободи від заготовки).

Додатковий упор - фреза для ключів (1 ступінь свободи).

"Таким чином, цей пристрій гарантує часткове заземлення деталі (5 ступенів свободи).

Положення шпонкової канавки не є фіксованим, що дозволяє таку елементарну схему.

Заготівля пневматично затискається з подвійною камерою.

Для цього в порожнину стрижня подають стиснене повітря, мембрану з опорним диском і закріпленим на ньому стрижнем відгинають вниз, пропускають через стрижень, з'єднаний зі стрижнем гвинтом, і затискають стрижнем деталі.

Зараз стаття знаходиться на редагуванні.

Для звільнення деталі в безстержневу порожнину направляють стиснене повітря, діафрагма згинається вгору, а стрижень піднімається разом з нею.

Розроблений пристрій є реконфігурованим і відповідає вимогам масового виробництва.

Під час механічної обробки на заготовку діє сила різання P_z (технічна частина кінцевого паперу)»[17].

3.2. Проектування контрольного пристрою

«Контроль якості поверхні має велике значення в сучасному машинобудуванні, особливо при виготовленні змінних деталей.

Обладнання для контролю деталей використовується на проміжних стадіях обробки і остаточного контролю деталей для демонстрації точності розмірів, взаємного розташування поверхонь і точності геометрії.

Обладнання вимагає високої точності та продуктивності.

Щоб забезпечити максимальну єдність пристрою, його елементи повинні бути спроектовані так, щоб після завершення роботи їх можна було використовувати для інших цілей.

В якості елемента управління вибрати стрілоподібний індикатор, встановлений на універсальній підставці»[15].

Пристосування налаштовується за еталоном, при цьому відстані між пальцем, голівкою індикатора і штифтом - постійні. Індикатор при налаштуванні виставляється на нуль, (таким чином похибка вимірювання являє собою суму половини ціни поділки шкали індикатора 0,01 мм і похибки еталона).

3.2.1 Розрахунок на точність

Розрахувати точність виготовлення приладу.

Основна помилка = 0.

Похибка установки в цьому випадку становить 0,07 мм [17].

Помилка в розташуванні пристрою на машині визначається такою помилкою: [17]:

- биттям δ_δ ;
- зміщенням δ_{cm} осі пристосування;
- биття δ_u кінцевого паска шпинделя;

Приймаємо величину $\delta_\delta = 0,01$ мм.

Максимальне зміщення δ_{cm} осі пристосування щодо осі складає» [17]:

$$\delta_{cm} = S_{\max}, \quad (3.11)$$

S_{\max} – максимальний зазор в цьому з'єднанні.

$$S_{\max} = \delta_{cv} = 0,04 + 0,025 = 0,065 \text{ мм.}$$

Биття δ_u кінцевого паска шпинделя приймаємо рівним 0,011 мм.

Таким чином [17]:

$$\varepsilon_{pn} = \sqrt{\delta_\delta^2 + \delta_u^2 + \varepsilon_{cm}^2} \text{ мм.} \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_{pn} = \sqrt{0,01^2 + 0,01^2 + 0,065^2} = 0,06 \text{ мм.}$$

Помилки через несувісність інструменту через відсутність у пристрої напрямних елементів [17].

Припускаючи стандартну похибку 0,005 мм, похибка вимірювання мм становить: $\varepsilon = 0,01 + 0,005 = 0,015$.

Деталь вважається придатною, якщо показання індикатора не перевищують 0,02 мм.

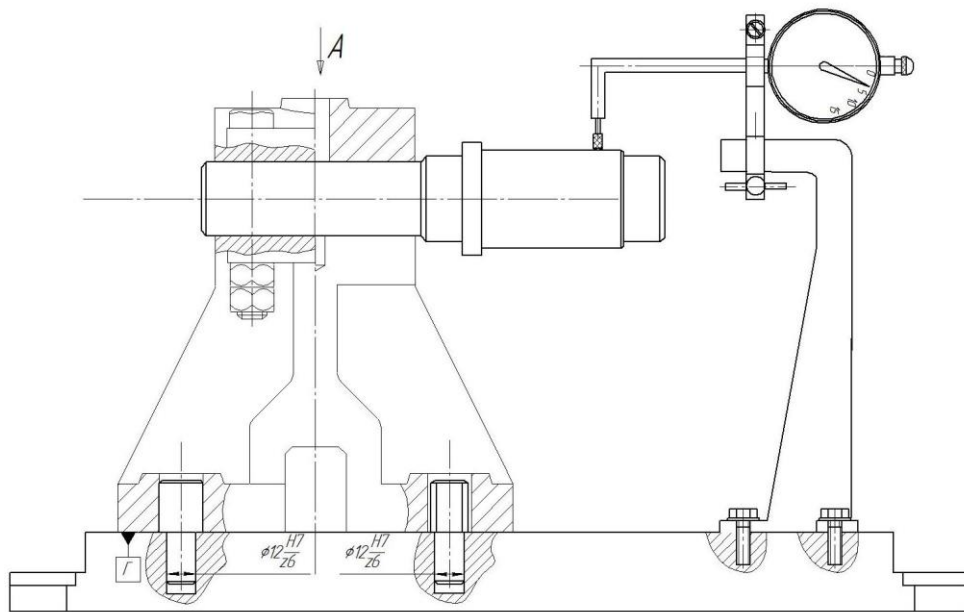


Рисунок 3.2 Схема базування та вимірювання деталі

3.2.2 Загальний опис конструкції, принцип дії

У нашому випадку ми показали, як контролюється поверхня валу Ø40. Складається з двох складових блоків. Для більш надійної фіксації також є різьбовий картридж, в який вставляється вал і затягнутий гайкою.

Підшипник міститься всередині корпусу, а вал закріплений для забезпечення можливості прокручування. Кришка має втулку для змащування підшипників. Рамка дисплея кріпиться до пластини за допомогою штифта 7 і гвинтів. Під час роботи індикатор виноситься по стійці на поверхню валу і торкається голівкою до стінки деталі. Коли головка покажчика вібрує, стрілка показує певний результат»[17].

Висновки. У даному розділі розроблені затискний та контрольні пристрої. Використання даних пристроїв дозволить скоротити час на виготовлення та перевірку основних параметрів геометричних розмірів деталі. У затискному пристрої деталь базується по двох призматичних опорах з опорними дисками. Затиск здійснюється за допомогою пневмоциліндра двосторонньої дії. Пристрій дозволяє затиснути дві деталі одночасно. Контрольний пристрій призначений для контролю поверхні валу Ø40.

РОЗДІЛ 4

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАНІЧНОЇ ДІЛЬНИЦІ

4.1. Визначення кількості працівників на дільниці

За робочими місцями кількість основних робітників визначається за формулою [18]:

$$P_B = M_{p.в} \cdot m \cdot K_n, \quad (4.11)$$

«де $M_{p.в}$ – кількість місць робітників-верстатників [18]:

$$M_{p.в} = \frac{m_n}{K_m} = \frac{7}{1,8} = 3,8 \text{»} [18], \quad (4.12)$$

«де m_n - прийнята кількість верстатів на дільниці;

K_m - коефіцієнт багатOVERстатного обслуговування – для крупносерійного виробництва – 1,5...1,8,3» [18];

m – число змін роботи обладнання в добу;

K_n - коефіцієнт, що враховує додаткову кількість робітників для зміни [18]:

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

« $\Phi_{д.р}$ де $\Phi_{н.р}$ - номінальний річний фонд часу для робітника (2070 год.) [18];

$\Phi_{д.р}$ - дійсний річний фонд часу для робітника (1820 год.) [18].

Отже: $P_B = 3,8 \cdot 2 \cdot 1,14 = 9 \text{чол.}$

Чисельність робітників, які не є механізаторами, визначається у відсотках до чисельності механізаторів (для великого виробництва) від 1 до 3%, тому кількість робітників, які не є механізаторами, становить: $0,03 \cdot 3,8 = 0,11$ - 1 прийнято» [18].

Тоді кількість основних робітників рівна $P_г = 10 \text{чол.}$

Знаходимо, наближено, кількість подібних виробів та деталей для виготовлення у цеху [18]:

$$B_n = \frac{C_n}{m_n} = \frac{140}{7} = 20 \text{дет}, \quad (4.13)$$

«де C_n - прийнята кількість верстатів у цеху, $C_n = 140$;

m_n - прийнята кількість верстатів на дільниці виготовлення деталі 7,

Приймаємо $B_n = 20$

Уточнюємо кількість верстатів у цеху за прийнятою кількістю виробів
»[18]:

$$B_n \cdot m_n = C_n = 20 \cdot 7 = 140 \text{ верстатів}; \quad (4.14)$$

Ручні місця слюсарів на виробничій дільниці [18]:

$$M_M = 2\% C_n = 0,02 \cdot 140 = 2,8. \quad (4.15)$$

Приймаємо $M_M = 3$ робітники.

4.2. Розрахунок виробничої площі дільниці

«Виробнича площа механоскладального цеху розраховується за формулою:

$$F_{вир} = F_{вер} \cdot C_{п} = 8,1 \cdot 20 + 5,4 \cdot 20 + 5,4 \cdot 20 + 7,7 \cdot 20 + 8 \cdot 20 + 12,3 \cdot 20 + 13,2 \cdot 20 = 1184 \text{ м}^2 \quad (4.16)$$

«де $C_{п}$ – прийнята кількість основних верстатів цеху;

$F_{вер}$ - питома площа на 1 верстат, м^2 » [18].

Таблиця 4.2 – Габарити та площа верстатів [18]

Таблиця 4.2 – Габарити та площа верстатів [18]

№п/п	Верстат	Габарити, м	Питома площа, м^2	Кількість верстатів
1	MP76M	4,3x1,8	8,1	1
2	1Н713	2,1x2,4	5,4	1
3	1Н713	2,1x2,4	5,4	1
4	16К20Ф3	5,1x1,5	7,7	1
5	6Д92	3,2x2,5	8	1
6	3М151	3,7x3,3	12,3	1
7	3М151	3,7x3,3	12,3	1

$$F_{\text{вир.дет}} = m_{\Pi} \cdot F_{\text{вер.дет}} = 1 \cdot 8,1 + 1 \cdot 5,4 + 1 \cdot 5,4 + 1 \cdot 7,7 + 1 \cdot 8 + 1 \cdot 12,3 + 1 \cdot 12,3 = 59,8 \text{ м}^2 \quad (4.17)$$

Виробнича площа складальної дільниці [19]:

$$F_{\text{вир.ск}} = (30...40)\% F_{\text{вир}} = 0,35 \cdot 1184 = 414 \text{ м}^2 \quad (4.18)$$

«Площа слюсарної дільниці [19]:

$$F_{\text{сл.д}} = P_{\text{сл}} \cdot F_{\text{сл}} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ м}^2, \quad (4.20)$$

«де $P_{\text{сл}}$ - кількість слюсарів;

$F_{\text{сл}}$ - питома площа на 1 слюсаря, 4...6 м²» [19].

4.3. Розробка технічного планування дільниці

Планування площі механічного цеху здійснюється з урахуванням технічних вимог до обробки деталі, її конструктивних особливостей, деталей обробки і деталей устаткування, що використовується згідно з техпроцесом обробки деталі.

«Отже, планування ділянки виконується в такому порядку: - Визначення типу продукції.

- Розрахунок кількості обладнання.
- Розрахунок виробничих площ і допоміжних площ.
- Розрахунок річної працездатності.
- Визначення транспортної системи цеху.

На листі викреслюємо план дільниці в масштабі 1:100» [19]. На дільниці знаходиться 7 верстатів: 2 фрезерних, 2 шліфувальних, 1 токарно-гвинторізний та 2 гідрокопірувальні напів-автомати. Тому вибираємо сітку колон з шириною дільниці $L = 24 \text{ м}$ і кроком колон $t = 12 \text{ м}$ [19].

4.4 Основні техніко-економічні показники дільниці

Таблиця 4.3 - Техніко-економічні показники дільниці [19]

Найменування показників і одиниці вимірювань.	Дільниця.
1. Найменування виробу.	Вал тихохідний
2. Річна програма випуску, т.	35

Продовження таблиці 4.3

3. Працездатність виготовлення, год.	6,9
4. Кількість основного обладнання.	7
5. Тип виробництва.	Середньо серійний.
6. Кількість основних робітників.	9
7. Виробничі площі, м ² .	59,8
8. Середній коефіцієнт завантаження обладнання.	3
9. Питома площа на один верстат, м ² .	8
10. Річний випуск на один основний верстат, шт..	500
11. Питома площа на одного основного робітника, м ² .	6,6

4.5. Вибір вантажопідійомних і транспортних засобів на дільниці

Для забезпечення цеху заготовками і матеріалами, відвантаження готової продукції та транспортування її на термічну обробку використовуються електрокари та автомобілі, візки та інші засоби транспортування вантажів.

«Розрахунок кількості необхідних транспортних засобів вантажів здійснюється за формулою [20]:

$$\Gamma_i = \frac{Q \cdot i \cdot T_r \cdot K_n}{q \cdot K_p \cdot \Phi_r \cdot 60}, \quad (4.21)$$

«де Q – річна маса вантажу, що перевозиться (можна приймати середнє значення із суми маси заготовки та деталі), т;

$$Q = \left(\frac{48,5 + 60,6}{2} \right) \cdot 1000 = 55 \text{ т};$$

$i = 3$ – середня кількість транспортних операцій електрокара;

$T_m = 15 \text{ хв}$ – час одного рейсу;

$K_n = 0,9$ – коефіцієнт нерівномірності подачі вантажу;

$q = 5 \text{ т}$ – вантажопідйомність транспортного засобу;

$K_p = 0,5$ – коефіцієнт використання палива;

$\Phi_r = 4015 \text{ год}$ – річний фонд часу при двозмінній роботі обладнання.

$$\Gamma_i = \frac{55 \cdot 3 \cdot 15 \cdot 0,9}{5 \cdot 0,5 \cdot 4015 \cdot 60} = 0,003 = 1,2 \cdot 10^{-3} [20]$$

Розрахунок кількості засобів, які транспортують вантаж поштучно (кран-балки, крани) проводять за формулою»[20]:

$$\Gamma_k = \frac{N \cdot i \cdot T_r \cdot K_n}{\Phi_r \cdot 60}, \quad (4.22)$$

«де $i = 6$ – кількість транспортних операцій на заготовку;

$T_m = 4 \text{ хв}$ – час одного рейсу;

$K_n = 1,2$ – коефіцієнт нерівномірності роботи;

$\Phi_r = 4015 \text{ год}$ – річний фонд часу при двозмінній роботі обладнання.

$N = 35000 \text{ шт.}$ – річна програма випуску деталей»[20].

$$\Gamma_k = \frac{N \cdot i \cdot T_r \cdot K_n}{\Phi_r \cdot 60} = \frac{1000 \cdot 6 \cdot 4 \cdot 1,2}{4015 \cdot 60} = 0,1 = 1.$$

Приймаємо 1 кран-балку.

Висновки. У даному розділі визначено основні та допоміжні площі необхідні для виготовлення деталі, кількість основних та допоміжних працівників. Розроблено план ділянки. На ділянці знаходиться 7 верстатів: 2

фрезерних, 2 шліфувальних, 1 токарно-гвинторізний та 2 гідрокопірувальні напів-автомати. Визначено кількість вантажопідйомний та транспортних засобів.

РОЗДІЛ 5

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РІЗАННЯ

5.1. Методика оцінювання параметрів процесу різання

«Оптимальним вважається вплив параметрів на процес різання, який дає максимальний ефект у будь-який момент часу і при цьому задовольняє всі умови та обмеження щодо якості деталі та продуктивності її виготовлення. У цьому сенсі задача оптимізації є однокритеріальною і може бути розв'язана за допомогою класичних методів нелінійного програмування. Можна визначити оптимальні значення параметрів, що впливають на процес різання.

Фактори, які впливають на процес різання, включають поздовжню подачу, обертання заготовки та швидкість різання, але основним фактором є глибина різання. Теоретично, враховуючи умови повороту, значення подачі на оберт і швидкість різання будуть постійними, що призведе до максимальної продуктивності»[21].

Однак насправді жоден з його параметрів не є постійним, коли виконується просування різання. Це визначається безперервними змінами як зовнішніх факторів, так і характеристик самої системи технічної обробки (ТОС).

Наприклад, при точінні циліндричної поверхні хаотично змінюється винос і твердість, зона обробки переміщується вздовж заготовки, внаслідок чого змінюється точка прикладання сили і пружна деформація в пружному ТОС, викликаючи зношення інструменту. З часом температура в зоні різання змінюється, і робочі характеристики машини перестають бути постійними.

Тому на кожній стадії процесу необхідно постійно визначати нові оптимальні значення впливів, що діють на процес різання, щоб підтримувати вихідні властивості на оптимальному рівні [21].

Тому оптимальне управління повинно бути динамічним і виконуватися автоматично з урахуванням зміни умов різання.

Автоматичні системи керування, які контролюють подачу, швидкість різання та, у деяких випадках, глибину різання, найкраще відповідають цим вимогам.

«Основна складність реалізації оптимального керування за допомогою простої замкненої системи керування пов'язана з принциповою неможливістю створення вимірювального пристрою, який використовує її як пристрій зворотного зв'язку.

Таким чином, можна оптимально керувати процесом різання виключно на основі оцінки допоміжних параметрів, пов'язаних з необхідними критеріями оптимальності, за допомогою відповідної математичної моделі. Одним із допоміжних параметрів процесу зазвичай є продуктивність різання.

У сучасних системах технічної підготовки виробництва найбільш раціональними є управління, реалізовані за допомогою програмних засобів.

Як правило, для оцінки збурень та отримання інформації про фактичний хід процесу різання в ACS використовуються різні підходи, засновані на непрямих вимірюваннях, таких як заготовка, температура зони різання, швидкість зносу інструменту тощо..

Найближчим підходом до запропонованого методу є той, який оцінює процес на основі поточних значень перетинів шару допуску» [21].

На рисунку 5.1 представлено схему структура оптимального управління.

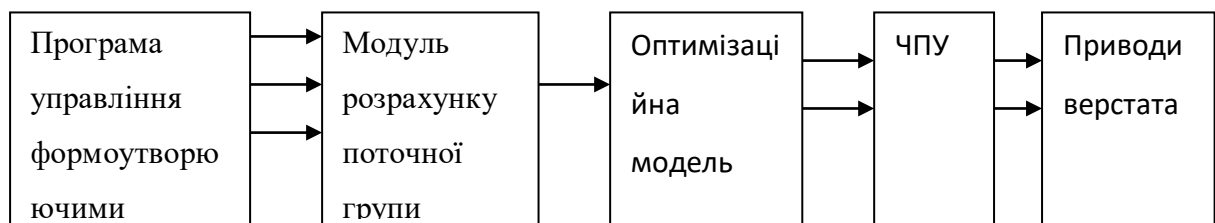


Рисунок 5.1 Структурна схема управління верстатом

Первинна інформація про хід процесу різання отримується з модулю розрахунку поточної глибини різання, який керується програмою управління формоутворюючими рухами. Далі у відповідності до оптимізаційної математичної моделі процесу різання визначаються оптимальні величини режимів різання

(наприклад, подачі і швидкості різання). Визначені величини надходять до модуля програмного управління, що надає команди для відповідних приводів верстату.

«Таким чином, основою будь якої САУ оптимізації процесу різання є його оптимізаційна математична модель, що зв'язує критерій оптимізації з керуючим впливом - подачею і швидкістю різання. В результаті розв'язання задачі оптимізації знаходять керуючий вплив, що забезпечує максимум продуктивності або мінімум собівартості при виконанні щодо якості деталі. Крім традиційних критеріїв оптимізації (продуктивність чи собівартість) в залежності від результатів техніко-економічного аналізу застосовують критерій максимальної швидкості зняття припуску. Часто на виробництві ставиться таке завдання - досягнення максимальної продуктивності або мінімальної собівартості при заданих значеннях стійкості інструменту»[21].

5.2. Розробка математичної моделі процесу різання при токарній обробці

У традиційному підході до побудови математична модель будується у формі системи рівнянь і виражається через зв'язок між ефектами параметрів, обмежень і передбачуваних критеріїв оптимальності на основі класичних залежностей теорії різання.

«Під час різання за один прохід на токарному верстаті з постійною глибиною різання, що дорівнює зніманню заготовки, цей режим різання з поєднанням швидкості подачі та різання є оптимальним, коли основний час розробки мінімальний.

Отже, для поздовжнього точіння математичну оптимізаційну модель можна виразити такими рівняннями та нерівностями: Зв'язок між параметрами швидкості різання V , швидкості шпинделя n і періодом стабільності інструменту є результатом залежностей, відомих із теорії різання » [22]:

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

Оскільки всі залежності, що складають математичну модель, є емпіричними, не можна забувати про одиниці вимірювання всіх фізичних величин.

Традиційно ці одиниці вимірювання не відповідають системі вимірювання СІ.

Так, у залежності (5.1) частота обертання - n (об/хв), подача - S (мм/об), глибина різання - h (мм), період стійкості - Γ (хв), діаметр заготовки - D (мм) [23].

«У математичній моделі (5.1) залежність стійкості різця повинна враховувати не тільки матеріал заготовки та властивості інструменту, але й геометричні параметри різаної деталі, які видно з процесу різання.

Вплив великих і малих кутів на планування відображено у відомій «[22] Залежності допустимої швидкості різання: ».

$$V = \frac{C_\phi}{\phi^u}; V = \frac{C_{\phi 1}}{\phi^{u1}}; \quad (5.2)$$

Такі залежності входять до математичної моделі процесу різання, а їх вплив на обмеження (5.1) виконується за рахунок коефіцієнту κ_s , величина якого розраховується за конкретними умовами обробки [22].

Наступне 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 [22]:

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

«де N_{cm} - ефективна потужність верстату, кВт;

η - коефіцієнт корисної дії;

C_p, k_p, x_p, y_p - коефіцієнти і показники емпіричної залежності сили різання, що залежать від режиму та умов обробки»[22].

Подача обмежена необхідною шорсткістю Rz для механічної обробки і може бути визначена детермінантами профілю шорсткості обробленої поверхні.

Цей фактор також визначається геометричною залежністю формування мікрорівномірності обробленої поверхні. Поверхневий шар деталі для кожного з чотирьох можливих випадків, що утворюють верхню частину профілю [22].

Такі випадки визначаються 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 формується перетином головного і допоміжного різальних лез інструменту, при $\varphi > \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 > \arcsin(S/2r)$ вершина профілю формується перетином допоміжного різального леза і радіусною частиною вершини інструменту, при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ вершина профілю формується перетином головного різального леза і радіусною частиною вершини інструменту, а при $\varphi < \arcsin(S/2r)$ і $\varphi_1 < \arcsin(S/2r)$ вершина профілю формується перетином виключно радіусної частиною вершини інструменту. Таким чином, умова визначення допустимої (за шорсткістю) подачі входить сама подача, що унеможлиблює отримання відповідної аналітичної залежності» [24].

Для розв'язання такої задачі доцільно використовувати чисельний метод, який побудований за принципом наближення із заданим кроком до розв'язку у відповідності до алгоритму, блок-схема якого представлена на рисунку 5.2.

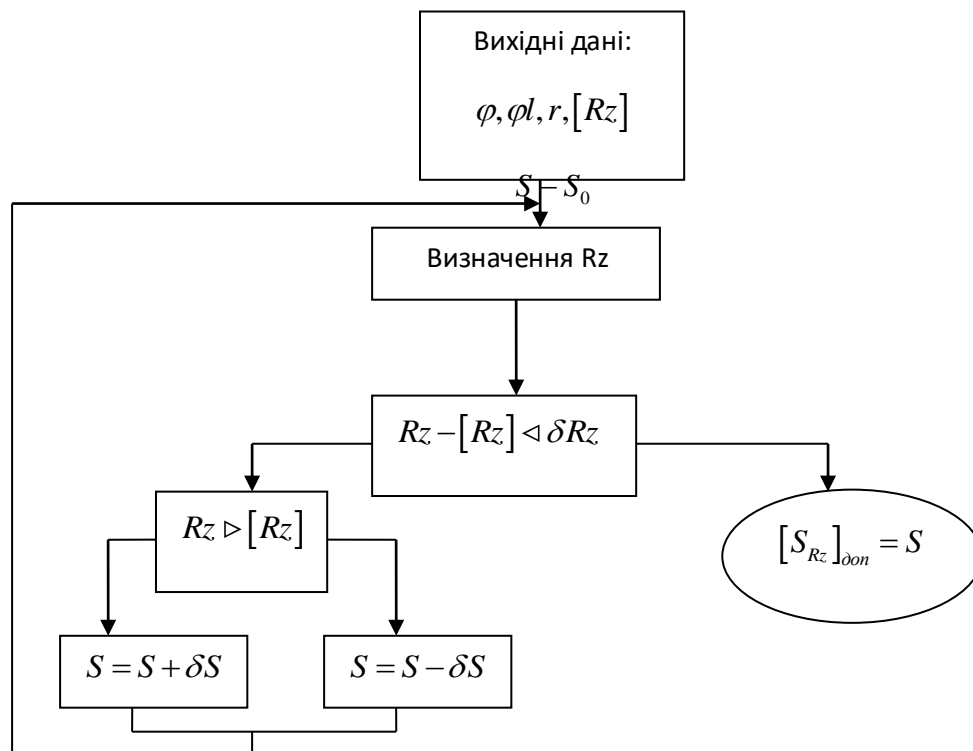


Рисунок 5.2 Блок-схема алгоритму визначення подачі, що зумовлена допустимою шорсткістю оброблюваної поверхні

Тому допустима межа шорсткості для обробленої поверхні деталі має форму .

[22]:

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

Наступне обмеження на поздовжню подачу обумовлено вимогами до міцності та жорсткості. Наприклад, подачу, що відповідає максимальному зусиллю, що забезпечується приводом подачі верстата, можна розрахувати відповідно до таких залежностей: [22]:

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

«Максимально можлива подача вибирається як найменша з подач, що допускається міцністю інструменту інструменту $[S_1]_{\text{дон}}$ або тяговою силою механізму подачі верстату $[S_p]_{\text{дон}}$.

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

Конструктивні обмеження, що визначаються за можливостями металорізального верстату» [25]:

Діапазон повздовжніх подач:

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

Діапазон частот обертання шпинделя:

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

В якості оціночної функції за критерієм максимальної продуктивності приймаємо:

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

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

Обмеження, які накладаються гранично допустимою силою або моментом різання, що визначаються як найменше значення розраховане виходячи з умов міцності інструменту чи механізму подач металорізального верстату та

обмеження за максимальними частотою обертання шпинделя і максимальною подачею розташовані так, що не утворюють область допустимих значень режиму різання. Проте, зі зміною вихідних даних процесу і, зокрема, глибини різання, обмеження можуть мінятися місцями.

5.3. Обробка змінних даних параметрів різання при точінні

У якості прикладу виконання розрахунку нижче представлений хід досліджень для отримання вихідних даних. Для виконання розрахунків за першими трьома завданнями, які виконуються у функції глибини різання, необхідно скласти таблицю експериментальних даних, визначивши діапазон і крок зміни глибини різання, таблиці 5.2.

№	$h, \text{мм}$	$n_{\text{онм}}$ 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

Таблиця 5.2. – Дані параметрів різання

На рисунку 5.3 представлений стан області допустимих значень D частоти обертання шпинделя і повздовжньої подачі при проведенні експериментальних досліджень за даними таблиці 5.1.

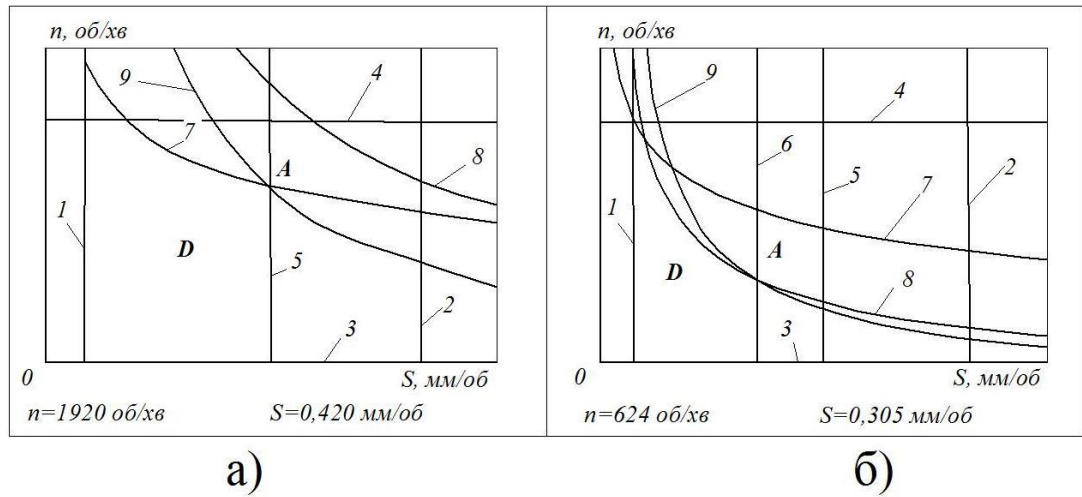


Рисунок 5.3 Результати визначення оптимального режиму різання: а) при глибині різання 1мм, б) при глибині різання 3 мм

Лінія 1 і 2 - обмеження за мінімальною і максимальною подачею, лінія 3 та 4 обмеження за мінімальною і максимальною частотою обертання шпинделя, лінія 5 - обмеження подачі за заданою шорсткістю поверхні, лінія 6 обмеження подачі за допустимою сплюю механізму подачі привода верстата, лінія 7 обмеження за стійкістю інструменту, лінія 8 - обмеження за потужністю верстату. Лінія 9 відображає функцію оптимізації за максимальною продуктивністю.

«Видно, що із зміною глибини різання вершина *A* області допустимих значень, що відповідає оптимальному (за продуктивністю) режиму різання утворюється перетином різних обмежень. Так при глибині різання 1 мм ця вершина утворена обмеженнями за стійкістю інструменту і за необхідною шорсткістю поверхні, а при глибині 4мм обмеженнями за потужністю різання і максимально допустимою силою приводу подачі» [25].

За експериментальними даними, і використанням пакету Exsell побудовані графіки відповідних залежностей, що представлені на рис.5.4 рис. 5.5 і рис. 5.6 З аналізу експериментальних результатів можна зробити висновки щодо законів за якими досягається оптимальний режим різання при зміні глибини різання.

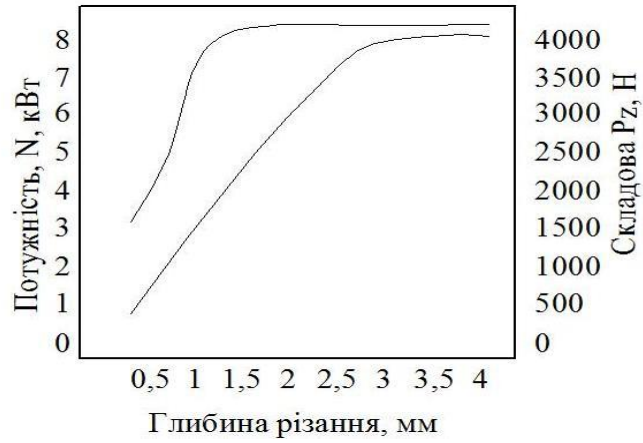


Рисунок 5.4 Експериментальні залежності оптимального режиму різання від глибини різання

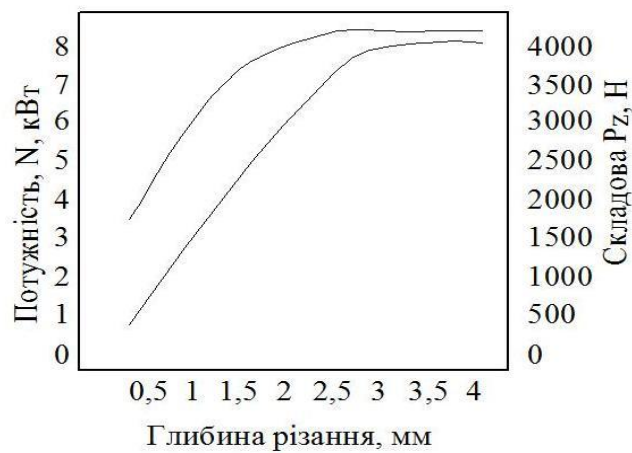


Рисунок 5.5 Експериментальні залежності потужності різання і складової Р сили різання від глибини різання при оптимальному режимі різання

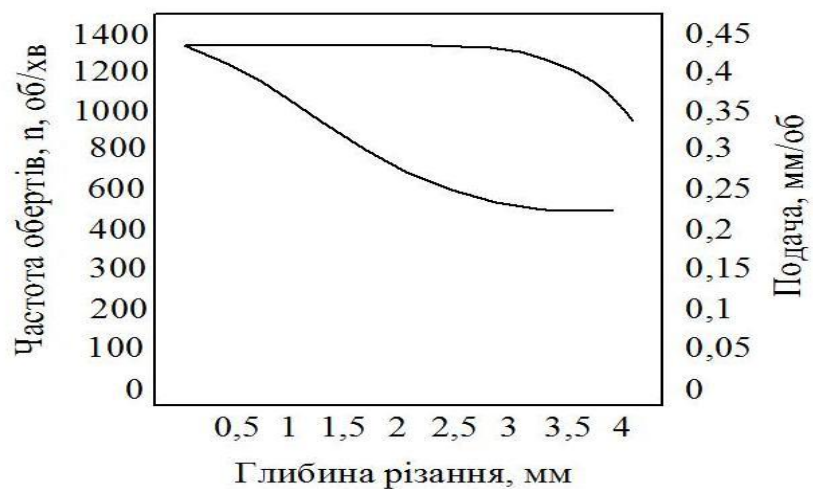


Рисунок 5.6 Експериментальні залежності продуктивності і швидкості різання від глибини різання при оптимальному режимі

«Аналіз отриманих експериментальних результатів (рис. 5.4) свідчить, що оптимальні параметри обробки мають дві зони:

- Оптимальна обробка до глибини різання 3 мм відбувається з постійною подачею на оберт заготовки, проте частота обертання знижується майже за лінійною залежністю;

- Оптимальна обробка з глибиною різання, що перевищує 3 мм виконується з постійною частотою обертання заготовки, проте повздовжня подача знижується також майже за лінійною залежністю.

При аналізі даних експериментів можна помітити, що оптимальна точка фазової площини $n-S$ утворюється в основному трьома обмеженнями: за стійкістю, за потужністю і за шорсткістю. До глибини різання 3 мм основним обмеженням, що накладаються на подачу, обмеження за необхідною шорсткістю обробленої поверхні. При збільшенні глибини різання вступає в дію четверте обмеження - за силою подачі верстату (рис. 5.3 б)»[25].

Стосовно енергетичних характеристик оптимального процесу різання, можна зробити висновки з аналізу графіків на рис. 5.5. При глибині різання більше за 2мм використовується вся можлива потужність верстату, тобто головним обмеженням є обмеження за потужністю. Для підвищення продуктивності необхідно використовувати більш потужний верстат. Слід звернути увагу на те, що при глибині різання більше 3 мм максимальні значення потужності співпадають і максимальною силою різання. Такий результат свідчить про певну оптимальність конструктивного рішення вибору параметрів верстату.

«З аналізу результатів експериментальних досліджень, що представлені на рис. 5.6, можна зробити наступні висновки:

- Продуктивність верстату, яка оцінюється за часом оброблення поверхні деталі, тобто за величиною повздовжньої подачі, поступово знижується;

- Продуктивність верстату, яка оцінюється за об'ємом зрізаного припуску за хвилину ($h-S_a$) зі збільшенням глибини різання збільшується, а після 2мм залишається постійною - такий результат добре корелюється з графіком залежності потужності різання;

- Оптимальна швидкість різання також знижується до глибини різання 3 мм, а потім залишається постійною»[25].

Висновки. У даному розділі 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.

ВИСНОВКИ

Під час проведення магістерської сертифікаційної роботи були вирішені важливі технічні завдання. Розроблено технологічний процес виготовлення деталі «вал», розроблено технічне оснащення для її виготовлення, спроектовано станції обробки та оптимізовано режими різання. Основи математичного моделювання.

На основі аналізу показників точності, шорсткості та матеріаломісткості показників проведено оцінку технологічності деталі та показано, що вона є технічною частиною. Тип виробництва фіксований і великосерійний. Порівнявши два варіанти отримання заготовки, ми виявили, що отримання заготовки пресуванням у НСМ є найбільш економічним методом, а використання матеріалу значно вище, ніж у кованої заготовки, точніше 27%.

Для заготовки проведено розрахунок припусків на механічну обробку розрахунково-аналітичним і табличним методами. Якісний аналіз розмірної схеми граф-дерева та розмірних ланцюгів в осьовому і радіальному напрямках показує, що запропонований варіант може бути прийнятий. Перш за все, всі конструктивні розміри витримуються безпосередньо при виконанні технологічних операцій.

Затискачі та елементи керування призначені для швидкого регулювання та заміни деталей. Коли ми розраховували точність джиги, ми виявили, що точність розробленого джиги становила 0,07 мм у порівнянні із зазначеною точністю 0,4 м. Додатково були розраховані параметри затиску.

Це виконується з урахуванням усіх сил, що діють на заготовку, і зазначених умов рівноваги сил при збереженні повного контакту між базовою поверхнею обробленої заготовки та основними елементами заготовки пристрій.

Розроблений контрольний пристрій призначений для контролю діаметром 40 мм. Коли ми розраховували точність контрольного пристрою, ми виявили, що точність пристрою становила 0,08 мм, що відповідало вимогам.

Визначаються основні і допоміжні ділянки, кількість основних і допоміжних робітників, необхідних для виготовлення деталі. Створено план ділянки. На об'єкті є сім верстатів: два фрезерні, два шліфувальні, один токарно-різбонарізний верстат, два гідрокопіювальних напівавтомати. Визначається кількість підйомно-транспортних засобів.

Параметри процесу різання під час точіння оптимізовані для забезпечення заданої якості поверхні з мінімальним енергоспоживанням обробки та максимальною ефективністю обробки. Оптимальними є такі параметри обробки: Глибина різання – 2 мм. Подача – максимум 0,3 мм/об: Швидкість обертання шпинделя – від 800 до 1000 об/хв. Ці параметри максимізують продуктивність системи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Крижний Г.К., Пупань Л.І. Класифікація та маркування конструкційних металів і сплавів: Навч. посібник. – Харків: НТУ «ХП» 2007.с.467.
2. Чумак М. Г. Матеріали та технологія машинобудування / М. Г. Чумак. – Київ: Либідь, 2000. – 368 с.
3. Боженко Л.І. Технологія машинобудування. Проектування та виробництво заготовок: Підручник / Л.І. Боженко. – Львів: Світ, 1996. – 368 с.
4. Плескач В.М., Акімов І.В., Мітяєв О.А. Технологічні методи виробництва заготовок деталей машин: підручник / за заг. ред. доц. В.М.Плескача. Запоріжжя: Просвіта, 2013. 370 с.
5. Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування: навч. посібник.- Львів: «Магнолія 2006», 2007. -500 с.
6. Розробка технологічного процесу виготовлення деталі. Методичні вказівки до виконання курсової роботи (проекту) з дисципліни "Технологія машинобудування" для студентів Механіко-машинобудівного інституту, інженерно-фізичного та поліграфічного факультетів /Укл. С. С. Добрянський , В. К. Фролов, В. А. Ковальов. – К. "Політехніка", 2002. – 78с.
7. Рудь В.Д. Курсове проектування з технології машинобудування: Навч. посібник / В.Д. Рудь. – Луцьк, 1996. – 300 с.
8. 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.
9. Методичні вказівки та контрольні завдання з дисципліни «Теорія різання». Для студентів спеціальності «Технологія машинобудування» Розрахунок режимів різання при сверленні /Сост. В. В.Коваленко і др. К.: КПІ, 1985. – 60 с.
10. Приходько, В. П. Розмірне моделювання та аналіз технологічних процесів: навчальний посібник для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / В. П. Приходько ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 249 с

11. Грабченко А.І. Розрахунок найвигідніших режимів різання при точінні: навч. посіб. / А. І. Грабченко, М. Д. Узунян, Н. В. Зубкова та ін. – Х. : НТУ «ХП», 2014. – 88 с.
12. Youssef, Helmi A. Machining technology: machine tools and operations / Helmi A. Youssef, Hassan El-Hofy. - CRC Press, Taylor & Francis Group. - 2008.- 672р.
13. Малюк Л.П. Організація виробництва на підприємствах : навч. Полтава : ПУСКУ, 2009. —посібник / Л.П. Малюк, Т.П. Кононенко. 254 с.
14. 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.
15. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С.С. Добрянський, Ю.М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 13,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.
16. Веселовська Н.Р., Іскович-Лотоцький Р.Д., Ковальова І.М. Металообробне обладнання: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт. – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2014. – 56 с.
17. Павленко І.І., Мажара В.А. Технологічне оснащення. Методичні вказівки до виконання курсового проекту студентами спеціальності “Прикладна механіка”. – Кропивницький: ЦНТУ, 2017. – 36 с.
18. Цигилик І. І. Економіка й організація виробництва : навч. посібник / І. І. Цигилик, О. І. Мозіль, Н. В. Кірдякіна. – К. : Центр навчальної літератури, 2009. – 176 с.
19. Гальчук Т.Н. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні. Методичні вказівки до самостійної роботи для студентів спеціальності 6.090202 – „Технологія машинобудування» денної та заочної форм навчання / Гальчук Т.Н. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – 46с.

20. Поліщук Л. К., Іскович-Лотоцький Р. Д. Обладнання та транспорт механообробних цехів. Частина 1. Кінематика верстатів : Навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 154 с.

21. Білушак Г. І., Чабанюк Я. М. Теорія ймовірностей і математична статистика. Практикум. – Львів, 2001. – 418 с.

22. 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 (2016).

23. Bhuiyan, T. and Ahmed, I. Optimization of Cutting Parameters in Turning Process / SAE Int. J. Mater. Manf. 7(1):2014

24. Клименко Г.П. Основи раціональної експлуатації ріжучого інструмента : Учеб. пособие. – К: ДГМА, 2006. – 200 с.

25. 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», 2017. — 448 с.