

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра прикладної механіки та мехатроніки

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ
ОСВІТИ «МАГІСТР»

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ МЕХАНІЧНОЇ
ОБРОБКИ ПРИВОДНОГО ВАЛУ 19-0821

спеціальність 131 Прикладна механіка
освітня програма Прикладна механіка

Виконав: здобувач вищої освіти
Групи ІМм-21
Мороз Владислав Олександрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Гулієва Наталія 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

Ступінь вищої освіти: магістр

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 131 Прикладна механіка

Освітня програма: Прикладна механіка

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(Редько Р.Г.)

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ
Морозу Владиславу Олександровичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Розробка технологічного обладнання для механічної обробки приводного валу 19-0821.

Керівник роботи Гулієва Наталія Михайлівна, к.т.н., доцент.

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 14 ” червня 2025 р. № 391/01-07

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: Креслення валу приводного 19-0821, річна програма випуску 4000шт/рік, нормативні дані.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):
Анотація. Вступ. Розділ 1. Загальна частина. Розділ 2. Технологічна частина. Розділ 3. Конструкторська частина. Розділ 4. Науково-дослідна частина 5. Проектування механічного цеху. Загальні висновки. Список використаної літератури. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Креслення деталі – 1 лист (ф. А2), КН – 1 лист (ф. А2), складальне креслення верстатного пристрою – 1 лист (ф.А1), складальне креслення контрольного пристрою – 1 лист (ф.А1), план цеху – 1 лист (ф.А1).

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

15.06.2025 р.*КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН*

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Загальна частина</i>	<i>17.09.2025р.</i>	
2.	<i>Технологічна частина</i>	<i>23.09.2025р.</i>	
3.	<i>Конструкторська частина</i>	<i>13.10.2025р.</i>	
4.	<i>Науково-дослідна частина</i>	<i>11.11.2025р.</i>	
5.	<i>Проектування механічної дільниці</i>	<i>18.11.2025р.</i>	
6.	<i>Висновки та пропозиції</i>	<i>25.11.2025р.</i>	
7.	<i>Формування списку використаної літератури</i>	<i>25.11.2025р.</i>	
8.	<i>Формування додатків</i>	<i>25.11.2025р.</i>	
9.	<i>Оформлення ілюстративного матеріалу</i>	<i>02.12.2025р.</i>	
10.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>02.12.2025р.</i>	
11.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>02.12.2025р.</i>	
12.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи магістра до захисту</i>	<i>16.12.2025р.</i>	

Здобувач вищої освіти

Мороз В.О.

Керівник кваліфікаційної роботи

Гулієва Н.М.

АНОТАЦІЯ

Мороз В.О. Розробка технологічного обладнання для механічної обробки приводного валу 19-0821. Рукопис.

Кваліфікаційна робота магістра ОП «Прикладна механіка» спеціальності 131 Прикладна механіка. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота магістра складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаної літератури, додатків.

У роботі розглянуто розробку технологічного обладнання для механічної обробки приводного валу 19-0821. Метою дослідження є створення раціональної конструкції та вибір оптимальних технологічних рішень, що забезпечують підвищення точності, продуктивності та надійності процесу обробки. Проаналізовано технічні вимоги до деталі, особливості її геометрії та матеріалу. Розроблено конструкцію спеціального оснащення та визначено режими механічної обробки, що гарантують отримання необхідних параметрів якості. Представлено техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованого рішення та його вплив на зниження трудомісткості й собівартості виготовлення валу.

Ключові слова: приводний вал, технологічний процес, цех, деталь, механічна обробка, верстат, проектування.

ABSTRACT

Moroz V.O. Development of technological equipment for mechanical processing of the drive shaft 19-0821. Manuscript.

Qualification master's thesis OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Qualification master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, general conclusions, a list of used literature, appendices.

The work deals with the development of technological equipment for mechanical processing of the drive shaft 19-0821. The research method is the creation of a rational design and the selection of optimal technological solutions that ensure increased accuracy, productivity and reliability of the processing process. The technical requirements for parts, the features of its geometry and material are analyzed. The design of special equipment is developed and the machining modes are determined, which guarantee the receipt of additional quality parameters. The feasibility study of the effectiveness of the proposed solution and its impact on reducing labor intensity and cost of production are presented.

Keywords: drive shaft, technological process, workshop, part, machining, machine tool, design.

ЗМІСТ

Вступ	8
Розділ 1. Загальна частина	10
1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва	10
1.2. Вибір методу отримання заготовки в умовах управління проектами	12
1.3. Вибір методу обробки поверхонь	15
Розділ 2. Технологічна частина	21
2.1. Розрахунок виробничої програми, встановлення типу та організаційної форми виробництва	21
2.2. Відпрацювання деталі на технологічність	22
2.3. Визначення допусків та припусків на технологічні розміри	24
2.4. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання	26
2.5. Нормування технологічного процесу	27
Розділ 3. Конструкторська частина	40
3.1. Проектування технологічного обладнання	42
3.2. Проектування контрольного пристрою	43
Розділ 4. Науково-дослідна частина	33
4.1. Автоматичне проектування технологічного процесу	33
4.2. Автоматизовані методи механічної обробки приводного валу	33
Розділ 5. Проектна частина	37
5.1. Проектування цеху механічної обробки приводного валу	37
5.2. Обладнання цеху механічної обробки деталей	38
5.3. Розрахунок такту роботи	39
5.4. Доцільність впровадження проектних рішень у виробництво	42
Загальні висновки	47
Список використаної літератури	49
Додатки	52

ВСТУП

Актуальність теми. Динамічний розвиток машинобудівної галузі супроводжується підвищенням вимог до продуктивності, точності та надійності виготовлення деталей. Серед них особливе місце займають деталі типу валів, які забезпечують передачу крутного моменту, узгоджену роботу механізмів і формування кінематичних зв'язків у машинах. Якість їх обробки безпосередньо впливає на ефективність, довговічність та енергетичні характеристики обладнання. Тому вдосконалення технологій виготовлення приводних валів є важливим завданням сучасного машинобудівного виробництва.

Зі зростанням рівня автоматизації та модернізації виробничих систем зростає потреба у розробці високоефективного технологічного обладнання, яке забезпечить оптимальні умови механічної обробки валів. Раціональний вибір способів закріплення, базування, інструментального оснащення та режимів різання дозволяє знизити собівартість продукції, підвищити точність і забезпечити стабільну якість поверхонь. Це, у свою чергу, сприяє поліпшенню технологічної підготовки виробництва й підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

Розроблення технологічного обладнання для механічної обробки приводного валу включає комплексне дослідження конструктивних характеристик деталі, визначення ефективних схем обробки та створення вдосконалених технологічних рішень. Такий підхід дає можливість покращити точність взаємного розташування елементів валу, підвищити якість поверхневих шарів та забезпечити надійну експлуатацію механізмів, у яких він використовується.

Мета роботи полягає у створенні технологічного обладнання та розробленні раціонального технологічного процесу механічної обробки приводного валу, що гарантує високу точність, якість обробки та економічність його виготовлення.

Методи дослідження: аналіз літературних джерел і нормативних документів; інженерні розрахунки; техніко-економічний та порівняльний аналіз технологічних варіантів.

Предмет дослідження охоплює процеси механічної обробки валів, вибір режимів різання, методів базування й закріплення, інструментального та технологічного оснащення.

Об'єкт дослідження – технологічне обладнання та організація процесу обробки приводного валу на підприємстві машинобудівної галузі.

Наукова новизна полягає у формуванні комплексного підходу до створення вдосконаленого технологічного оснащення та процесу механічної обробки приводного валу, що дає можливість підвищити точність, надійність і економічну ефективність виробництва.

Практичне значення результатів полягає в можливості їх використання при проектуванні або модернізації технологічного оснащення для обробки валів, а також при розробці технологічних процесів на машинобудівних підприємствах.

Особистий внесок. Результати дослідження представлені на IV Студентській науково-технічній конференції (Луцьк, 2025) та відображені у 1 науковій тезі.

Усі етапи кваліфікаційної роботи – від аналізу вихідних даних до розроблення технологічних та організаційних рішень, їхнього економічного обґрунтування та підготовки проекту – виконані магістрантом самостійно.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва

Механізм розвантаження зернового вагона призначений для відкривання та закривання розвантажувальних люків вагона-зернового, а також для їх надійного фіксування під час руху поїзда. Приводний вал є складальною одиницею цього механізму й забезпечує передавання зусилля від працівника, який обертає кермо приводу, до важільної системи механізму розвантаження.

Приводний вал (рис. 1.1) складається з чотирьох елементів: валу 1, гайки 2 та двох труб 3.

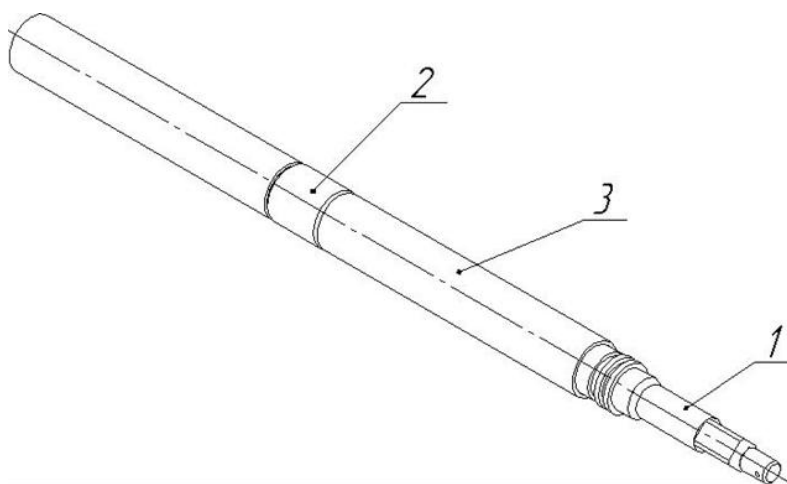


Рисунок 1.1 Ескіз приводного валу: 1 – вал, 2 – гайка, 3 – труба

Ці елементи з'єднуються між собою методом електродугового зварювання в середовищі вуглекислого газу. Дві труби виготовляють на дільниці заготовок за допомогою стрічкопилкових або дискових верстатів та механічних ножівок. Вал 1 та гайка 2 потребують механічної обробки.

Труба, розташована між валом і гайкою, служить для передавання крутного моменту від вала до гайки. Інша труба виконує захисну функцію –

використовується як кожух, що оберігає гвинт з'єднаної деталі – тяги. Гайка 2 входить до складу гвинтової пари, тоді як вал 1 є ведучою частиною приводного вузла.

Загальний вигляд деталі «Вал» наведено на рисунку 1.2.

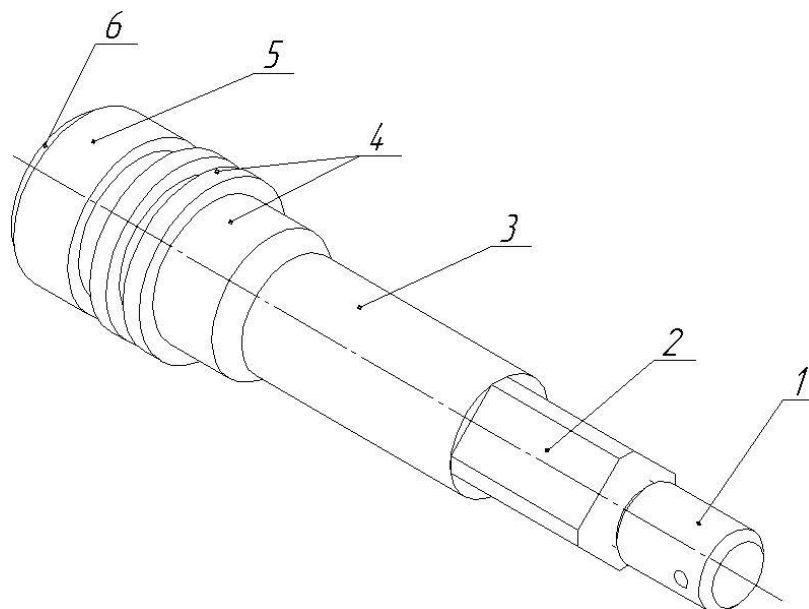


Рисунок 1.2 Ескіз валу

Поверхні 4 є основними базовими поверхнями, поверхні 1 і 6 виконують роль допоміжних баз, а поверхні 5 і 3 належать до вільних.

Вивчення властивостей матеріалу під час проектування технологічного процесу виготовлення деталей дає можливість правильно обрати режими обробки, інструмент та обладнання, а також визначити найбільш раціональний спосіб отримання заготовки.

У машинобудуванні здебільшого застосовують конструкційні сталі: низьковуглецеві, середньовуглецеві, низьколеговані прокатні та литі сталі, а також корозійностійкі матеріали. У базовому варіанті для виготовлення деталей «Вал» використовується низьколегована сталь 09Г2С, а як заготовку застосовують гарячекатаний круглий прокат.

Сталь конструкційна 09Г2С відповідно до ДСТУ 8541:2015 [1] належить до групи низьколегованих низьковуглецевих сталей. До низьковуглецевих

відносять сталі з умістом вуглецю менше ніж 0,25 %. Низьколегованими вважають сталі, що містять не більше 0,22 % вуглецю та невелику кількість легувальних елементів (їх загальний вміст не перевищує 2,5 %). Механічні властивості та хімічний склад сталі 09Г2С наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 09Г2С, ДСТУ 8541:2015

Зміст елементів, %								
C	Mn	Si	S	Ni	Cr	P	Cu	N
≤ 0,12	1,3–1,7	0,5–0,8	≤ 0,04	≤ 0,3	≤ 0,3	≤ 0,035	≤ 0,3	≤ 0,012

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 09Г2С, ДСТУ 8541:2015

Клас міцності	Зріз сортового прокату, мм	Товщина сортового прокату, мм	Межа текучості, Н/мм ²	Відносне видовження при розриві, %	Тимчасовий спротив, Н/мм ²
265	20–100	20–160	265	≤ 21	≤ 430

Виготовлення заготовки планується здійснювати методом лиття, ця сталь 09Г2С має дуже хороші фізико-механічні властивості. Серед них підвищена міцність, добра зварюваність та стабільність властивостей у широкому діапазоні температур.

1.2. Вибір методу отримання заготовки в умовах управління проектами

Заготовки деталей у серійному виробництві повинні мати мінімальні припуски, а технологія їх отримання має бути економічно обґрунтованою. Для таких умов найбільш доцільним є використання лиття в пінополістирольні форми [2].

Точність розмірів і якість поверхні заготовок, отриманих цим методом, значно вищі порівняно з традиційним литтям у піщані форми. Це забезпечується застосуванням одноразових пінополістирольних моделей, виготовлених у

металевих прес-формах із компенсацією усадки металу, а також відсутністю операцій, які погіршують точність – складання форми чи витягання моделі.

Пінополістирольна модель відтворює форму майбутнього виливку з високою точністю, що дозволяє ще до початку виробництва перевірити геометрію деталі та внести зміни в конструкцію без додаткових витрат. Метод особливо ефективний для деталей зі складною криволінійною геометрією – лопаток турбін, елементів насосів, зубців тощо.

Перевагою є і можливість виготовлення великогабаритних та складних моделей шляхом збирання їх із кількох елементів. Технологічний процес гнучкий, адже моделі можуть виготовлятися такими методами:

- 1) вирізання розкаленим дротом з блоку полістиролу;
- 2) фрезеруванням на трьохосьових верстатах із ЧПК;
- 3) формуванням в автоклавах об'ємом 100–1000 л;
- 4) виготовленням на напівавтоматах методом теплового удару.

Готові моделі з'єднують у модельні блоки разом шляхом склеювання або термічного з'єднання. Невеликі моделі збирають у вузол. Після фарбування протипригарним шаром та сушіння такі блоки або вузли можуть довго зберігатися без втрати геометрії.

Кожна технологічна стадія виконується на окремій ділянці. Для великих об'ємів виробництва доцільно застосовувати напівавтомати, що потребують пару, стисненого повітря, вакууму та електропостачання.

Лиття в пінополістирольні форми ефективні як для одиничного, так і для серійного виробництва. До витрат на організацію належать проектування та виготовлення прес-форм. Метод дає змогу отримувати виливки масою від 10 г до 2 т, з чистотою поверхні Rz40 і точністю до 7-го класу згідно ДСТУ ISO 4987:2015 [3].

Для моделей застосовуємо ливарний полістирол фракції 0,3–0,9 мм, який попередньо спінюємо парою та висушуємо. У прес-форму подаємо спінений

матеріал, який спікаємо в автоклаві. Інший спосіб виготовлення – на модельних автоматах, що підвищує продуктивність у 2–4 рази.

Модельні блоки фарбуємо протипригарним складом і сушимо при 40–60 °С. Формування здійснюємо у спеціальних опоках із пошаровим ущільненням піску на вібростолі. Опоки подаємо на заливання, під'єднуючи їх до вакуумної системи, що забезпечує необхідну міцність форми.

Розплавлений метал заливаємо безпосередньо в полістирольні форми. Під час заливання пінополістирол газифікується, а метал займає його місце. Газові продукти відсмоктуються вакуумною системою. Метал точно повторює форму моделі.

Охолодження триває від кількох хвилин до кількох годин, залежно від маси та товщини деталі. Після витягання з опоки відливки відрізаємо, очищуємо від залишків покриття.

Цей метод є екологічно безпечним. Оскільки при формувальні суміші традиційного лиття містяться смоли, які забруднюють повітря при нагріванні. У литті в пінополістирольні форми, він повністю розкладається на гази, які відразу потрапляють у систему очищення. Пісок після просіювання та охолодження повертається у виробництво; втрати можуть становити лише 0,5–1 %.

Метод лиття в пінополістирольні форми дозволяє значно зменшити витрати на обладнання, скоротити кількість операцій, відмовитися від піщаних форм і обладнання для їх виготовлення; знизити об'єм фінішної обробки, мінімізувати відходи, зменшити трудомісткість у 2–4 рази, знизити енергоспоживання у 2–3 рази, оптимізувати виробничі площі та скоротити витрати на додаткові матеріали у 3–5 разів.

Враховуючи зазначені переваги, для виготовлення заготовок деталей «Вал» приймаємо виливки 1-ї групи за ДСТУ ISO 4987:2015 з точністю 8-0-0-8 згідно ДСТУ 8981:2020 [4].

1.3. Вибір методу обробки поверхонь

На вибір оптимального методу обробки поверхонь заготовки впливають такі фактори, як призначення деталі, функції окремих поверхонь, а також вимоги до їх точності, шорсткості та геометричної конфігурації. Оброблення поверхонь слід здійснювати поетапно, виконуючи кілька послідовних переходів, на кожному з яких застосовується відповідний вид обробки – від чорнової до чистової [5].

У конструкції приводний вал є поверхні, до яких не висуваються високі вимоги щодо точності чи шорсткості, тому для них достатньо провести лише чорнове оброблення [6].

Для подальших розрахунків використовуємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання. Для умов середьосерійного виробництва його значення становить 0,85–0,95. У нашому випадку приймаємо $= 0,9$.

Визначаємо кількість обладнання, потрібну для виконання кожної операції:

010

$$m_p = \frac{4000 \cdot 4,28}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,079; P=1;$$

015

$$m_p = \frac{4000 \cdot 5,13}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,095; P=1;$$

020

$$m_p = \frac{4000 \cdot 7,29}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,134; P=1;$$

025

$$m_p = \frac{4000 \cdot 6,77}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,125; P=1;$$

030

$$m_p = \frac{4000 \cdot 7,7}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,142; P=1;$$

035

$$m_p = \frac{4000 \cdot 5,55}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,102; P=1;$$

040

$$m_p = \frac{4000 \cdot 6,17}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,114; P=1;$$

045

$$m_p = \frac{4000 \cdot 1,82}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,034; P=1;$$

050

$$m_p = \frac{4000 \cdot 2,51}{60 \cdot 4015 \cdot 0,9} = 0,046; P=1.$$

4. Визначаємо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання [5]:

010

$$\eta_{\text{д.з.обл.}} = \frac{0,079}{1} = 0,079;$$

015

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,095}{1} = 0,095;$$

020

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,134}{1} = 0,134;$$

025

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,125}{1} = 0,125;$$

030

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,142}{1} = 0,142;$$

035

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,102}{1} = 0,102;$$

040

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,114}{1} = 0,114;$$

045

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,034}{1} = 0,034;$$

050

$$\eta_{\partial.з.обл.} = \frac{0,046}{1} = 0,046.$$

2. Обчислюємо кількість операцій:

$$010 \ O = \frac{0,9}{0,079} = 11,39;$$

$$015 \ O = \frac{0,9}{0,095} = 9,47;$$

$$020 \ O = \frac{0,9}{0,134} = 6,72;$$

$$025 \ O = \frac{0,9}{0,125} = 7,2;$$

$$030 \ O = \frac{0,9}{0,142} = 6,34 ;$$

$$035 \ O = \frac{0,9}{0,102} = 8,82;$$

$$040 \ O = \frac{0,9}{0,114} = 7,9;$$

$$045 \ O = \frac{0,9}{0,034} = 26,47;$$

$$050 \ O = \frac{0,9}{0,046} = 19,57.$$

Дані розрахунки представляємо в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Визначення кількості верстатів та операцій

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
010	4,28	0,079	1	0,079	11,39
015	5,13	0,095	1	0,095	9,47
020	7,29	0,134	1	0,134	6,72
025	6,77	0,125	1	0,125	7,2
030	7,7	0,142	1	0,142	6,34
035	5,55	0,102	1	0,102	8,82
040	6,17	0,114	1	0,114	7,9
045	1,82	0,034	1	0,034	26,47
050	2,51	0,046	1	0,046	19,57

$$\sum O = 11,39 + 9,47 + 6,72 + 7,2 + 6,34 + 8,82 + 7,9 + 26,47 + 19,57 = 103,88;$$

$$\sum P = 1+1+1+1+1+1+1+1+1 = 9.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{103,88}{9} = 11,54.$$

Оскільки за умовою $10 \leq K_{з.о.} = 11,54 \leq 20$, то будемо приймати середньосерійний тип виробництва.

Висновок до Розділу 1. Було наведено аналіз конструкції та робочих характеристик приводного валу 19-0821, визначено його функції у складі механізму та основні експлуатаційні вимоги. Проведено огляд сучасних технологічних процесів механічної обробки валів та обладнання, що застосовується у промисловості, що дозволило виявити ключові тенденції та

недоліки існуючих технічних рішень. Також встановлено основні технологічні параметри, які необхідно забезпечити для виготовлення деталі заданої точності та якості.

Отримані результати стали підґрунтям для формування технічних вимог до нового технологічного обладнання та визначили напрями подальшого дослідження в рамках розробки конструкції установки для механічної обробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання:

1) Проаналізувати конструктивні особливості приводного валу 19-0821, його функціональне призначення, вимоги до точності, шорсткості та механічних властивостей.

2) Дослідити існуючі методи й обладнання для механічної обробки валів, оцінити їхні переваги, недоліки та сферу застосування.

3) Визначити оптимальну послідовність операцій і методи обробки для досягнення необхідних геометричних параметрів та якості поверхні валу.

4) Розробити технічні вимоги до нового технологічного обладнання, включно з конструктивними, технологічними та експлуатаційними параметрами.

5) Обґрунтувати вибір конструкції обладнання, визначити принцип його роботи та особливості компонування.

6) Виконати необхідні інженерні розрахунки на міцність, жорсткість, продуктивність і точність роботи розроблюваної установки.

7) Оцінити економічну ефективність і доцільність впровадження нового обладнання у виробничий процес.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз виробничої програми, встановлення типу та організаційної форми виробництва

Визначаємо річну програму запуску виробу:

$N_{\text{вип.}} = 4000 \text{ шт.}$ – планова програма випуску виробів.

$$N_{\text{зан.}} = 4000 \cdot \left(1 + \frac{4}{100} + \frac{5}{100} + \frac{5}{100} \right) = 4560 \text{ шт.}$$

На підставі програми запуску встановлено, що тип виробництва може бути середньосерійним, що відповідає $K_3 = 10 \dots 20$ відповідно до ДСТУ 2960-94 [7].

Визначимо тип організаційної форми виробництва [8].

Добовий випуск виробів:

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_{\text{д.}} = \frac{4000}{254} = 16 \text{ шт.}$$

Визначаємо добову продуктивність поточної лінії:

$$\eta_{\text{д.з.обл.сер.}} = \frac{0,079 + 0,095 + 0,134 + 0,125 + 0,142 + 0,102 + 0,114 + 0,034 + 0,046}{9} = 0,097;$$

$$T_{\text{шт.-к.сер.}} = \frac{2,85 + 3,42 + 4,86 + 4,51 + 5,13 + 3,7 + 4,11 + 1,21 + 1,67}{9} = 3,5;$$

$$Q_o = \frac{952}{3,5} \cdot 0,097 = 272 \text{шт.}$$

$$N_o > Q_o \cdot 0,6;$$

$$16 < 272 \cdot 0,6 = 163.$$

Добовий випуск виробів менший добової продуктивності поточної лінії, то буде застосовуватися групова форма організації виробництва.

Отже, приймаємо середньосерійний тип виробництва з груповою формою його організації.

2.2. Аналіз технологічності конструкції деталі

Для проведення аналізу технологічності конструкції деталі необхідне виконання наступних умов:

1) Забезпечення раціональної технології виготовлення.

Конструкція деталі спрощує процеси токарної обробки, зварювання та контролю. Усі поверхні, що підлягають механічній обробці, мають доступність для ріжучого інструмента без необхідності застосування спеціального оснащення.

2) Уніфікація та стандартизація.

Основні розміри та посадки виконані відповідно до стандартних діаметрів валів, що дозволяє використовувати типові різці та калібри, а також мінімізувати індивідуальні переходи.

3) Технологічність зварних з'єднань.

Зварні шви №1 та №2 виконані у зручному положенні, мають достатню доступність для зварювального інструмента. Конструкція передбачає можливість якісної підготовки крайок та подальшої механічної обробки після зварювання.

4) Можливість контролю якості.

Конструкція забезпечує можливість неруйнівного контролю зварних швів, а також зручність вимірювання діаметрів, довжин та співвідношенні поверхонь.

5) Технологічність складання.

Конструкція вала дозволяє виконати зварювання та подальші технологічні операції без додаткового складного оснащення, що зменшує трудомісткість і витрати виробництва.

6) Надійність та жорсткість у процесі обробки.

Геометрія заготовки забезпечує достатню жорсткість при токарних та шліфувальних операціях, що мінімізує відхилення та вібрації під час обробки [9].

Оскільки приводний вал є технологічною деталлю, то розрахуємо коефіцієнт уніфікації елементів.

$$K_{ун.ел.} = \frac{10}{24} = 0,42 \leq 0,6 \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Квалітети точності на оброблені поверхні наводимо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Квалітети точності

A_i	n_i	$A_i \times n_i$
H12	4	48
H11	2	22
H10	2	20
H9	3	27
H8	1	8
H7	2	14
H6	2	12
	$\sum n_i = 16$	$\sum A_i \times n_i = 151$

$$A_{сер.} = \frac{151}{16} = 9,44,$$

$$K_{T.O} = 1 - \frac{1}{9,44} = 0,9 \geq 0,8 \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Визначимо коефіцієнт шорсткості поверхонь:

Таблиця 2.2 – Шорсткість на поверхні

B_i	n_i	$B_i \cdot n_i$
6,3	4	25,2
3,2	4	12,8
1,6	4	6,4
0,8	2	1,6
0,4	2	0,8
	$\Sigma = 16$	$\Sigma = 46,8$

$$B_{сер.} = \frac{46,8}{16} = 2,93,$$

$$K_{ш.} = \frac{1}{2,93} = 0,34 \Rightarrow \text{отже, деталь технологічна.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу для виготовлення заготовки:

$$K_{в.м.} = \frac{2,17}{2,58} = 0,84,$$

Деталь є технологічною та задовольняє всі умови.

2.3. Визначення допусків та припусків на технологічні розміри

Призначимо припуски на поверхню деталі «Вал» дослідно-статистичним методом відповідно до [10].

Мінімальний припуск під час послідовної обробки протилежних поверхонь $Z_{i \min}$, мм, визначаємо за формулою:

$$Z_{i \min} = (R_z + h)_i - 1 + \Delta \Sigma_i - 1 + \varepsilon_i \quad (2.1)$$

де R_z – висота мікронерівностей, мкм;

h – глибина дефектного шару, мкм;

$\Delta \Sigma$ – загальне відхилення положення поверхні, мкм;

ε – похибка встановлення, мкм;

i – порядковий номер операції.

Мінімальний припуск при паралельній обробці протилежних поверхонь $2Z_{i \min}$, мм, визначаємо за формулою:

$$2Z_{i \min} = 2[(R_z + h)_i - 1 + \Delta \Sigma_i - 1 + \varepsilon_i] \quad (2.2)$$

Результати розрахунку припусків зводимо в таблиці 2.3 та 2.4.

Таблиця 2.3 – Розрахунок припусків діаметральних розмірів

Розмір діаметру, мм	Показники припуску, мкм			Розрахунковий припуск $2Z_{i \min}$, мкм	Розрахунковий мінімальний розмір, мм	Допуск на виготовлення T_d , мкм	Прийняті розміри по переходах, мм		Отримані межі припусків, мкм	
	R_z	h	Δ				d_{\max}	d_{\min}	$2Z_{\max}$	$2Z_{\min}$
36	80	100	640	1640	35,3	1200	38,2	37	2,9	1,7
24	80	100	640	1640	23,48	1100	26,3	25,2	2,82	1,72
44	80	100	640	1640	43,57	1200	46,5	45,3	2,93	1,73
245	80	100		360	243	1800	246,5	244,7	3,5	1,7

Таблиця 2.4 – Розрахунок припусків лінійних розмірів

Поверхня, мм	Показники припуска, мкм		Розраху нковий припуск $Z_{i \min}$, мкм	Розрахунков ий мінімальний розмір, мм	Допус к на вигот овлен ня T_a , мкм	Прийняті розміри по переходах, мм		Отримані межі припусків, мкм	
	Rz	h				a_{\max}	a_{\min}	Z_{\max}	Z_{\min}
41	80	100	180	39,75	1000	41	40	1,25	0,25
51,3	80	100	180	49,5	1000	50,7	49,7	1,2	0,2

2.4. Розрахунок режимів різання, вибір обладнання

Розрахунок режимів різання наводимо за [11]. Дані по розрахунках наводимо в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Розрахунок режимів різання

Обладнання	Діаметр, мм	Глибина різання, мм	Подача, мм/об	Швидкіст ь, м/хв	Частота обертання шпинделя, об/хв	Основний час, хв
Токарно- гвинторізний верстат 163	24	1,3	0,39	94,2	1300	0,04
	4	2	0,26	15,7	1300	0,05
	56	1,3	0,39	219,8	1300	0,08
	52	2	0,26	204,1	1300	0,03
	36/35,6/24	1,2	0,15	141,3	1300	0,42
	44/54	50	0,05	21,2	130	1,6
	19,5/19	14	0,05	31,6	630	0,66
	M24	0,6	3,2	94,2	1300	0,02
Вертикально- фрезерний верстат 6Т12- 1	21×47	3,5	0,12	280	1210	480
Вертикально- свердильний верстат 2А135	5	2,5	0,14	31,4	2100	0,1
	8	0,5	0,14	50,2	2100	0,01

2.5. Нормування технологічного процесу

Визначимо технічно обґрунтовані норми часу [12].

Продуктивність праці працівника характеризується кількістю деталей, оброблених на певному робочому місці за одиницю часу.

Технічно обґрунтована норма часу – це штучний час $T_{шт.}$, хв, потрібний для виконання конкретної операції. Він визначається за формулою:

$$T_{шт.} = T_{осн.} + T_{дод.} + T_{т.о} + T_{о.о} + T_{відп.} \quad (2.3)$$

де $T_{осн.}$ – основний час, протягом якого відбувається зміна розмірів, форми та стану поверхні заготовки;

$T_{дод.}$ – допоміжний час, що витрачається на виконання додаткових робіт, необхідних для здійснення основного процесу (керування верстатом, установлення, закріплення та зняття деталі, підведення та відведення інструменту, вимірювання тощо).

$T_{осн.} + T_{дод.}$ – операційний час.

$T_{т.о}$ – час технологічного обслуговування верстату під час роботи (змащування, прибирання стружки, заміна інструменту);

$T_{о.о}$ – час організаційного обслуговування, витрачений на підготовку верстату на початку зміни, його прибирання в кінці, а також передачу наступному працівникові;

$T_{відп.}$ – час на відпочинок та природні потреби.

Перед початком роботи працівник витрачає певний час на вивчення креслення, налагодження верстату, інструменту й оснащення, а також на отримання консультації майстра. Це підготовчо-завершальний час $T_{п.з.}$, який припадає на підготовку до обробки партії заготовок.

Повний (калькуляційний) час виконання операції T_k під час обробки деталі визначають за формулою:

$$T_k = T_{um} + T_{n,з}n \quad (2.4)$$

де n – кількість деталей у партії.

Результати розрахунків наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Розрахунок норм часу на обробку

Операція	$T_{осн.}$, хв	$T_{дод.}$, хв	$T_{т.о.}$, хв	$T_{о.о.}$, хв	$T_{відп.}$, хв	T_{um} , хв	$T_{н.з.}$, хв
010	0,09	2,5	0,09	0,08	0,09	2,85	30,00
015	0,11	3	0,08	0,18	0,11	3,42	30,00
020	0,42	4	0,12	0,16	0,15	4,86	30,00
025	1,6	2,5	0,11	0,15	0,14	4,51	30,00
030	0,66	4	0,13	0,17	0,16	5,13	30,00
035	0,36	3	0,09	0,13	0,12	3,70	30,00
040	0,24	3,5	0,10	0,14	0,13	4,11	30,00
045	0,1	1	0,04	0,03	0,04	1,21	25,00
050	0,02	1,5	0,04	0,06	0,05	1,67	25,00

Висновок до Розділу 2. У технологічній частині було проаналізовано виробничу програму та встановлено, що виготовлення деталі доцільно організувати за середньосерійним типом із груповою формою виробництва. Проведена оцінка конструкції показала, що деталь є технологічною, оскільки має раціональну форму, доступність для обробки, уніфіковані елементи, зручність виконання зварних з'єднань та можливість якісного контролю. Розраховано допуски, припуски та режими різання, а також визначено технічно обґрунтовані норми часу для виконання операцій. Отримані результати підтверджують ефективність обраного технологічного процесу та його відповідність вимогам виробництва.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Проектування технологічного оснащення

Проектування пристосування для обробки деталей різанням включає два основні етапи: розрахунок похибок базування та визначення параметрів силового механізму затиску.

У розглянутому випадку обробки діаметра 5 мм на вертикально-свердлильному верстаті похибка базування дорівнює нулю, оскільки конструкторські та технологічні бази співпадають [13].

Під час свердління на заготовку діють осьова сила та крутний момент. Осьову силу P_o визначаємо за формулою:

$$P_o = 10 \cdot C_p \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (3.1)$$

де C_p – постійний коефіцієнт сили, що залежить від умов обробки;

q, y – показники степенів, що визначаються умовами обробки;

D – діаметр свердла, мм;

S – подача, мм/об;

K_p – коефіцієнт, що враховує конкретні умови різання.

Обчислимо:

$$P_o = 10 \cdot 68 \cdot 5^1 \cdot 0,12^{0,7} \cdot 1 = 771 \text{ Н.}$$

Крутний момент під час свердління $M_{кр}$ визначаємо за формулою:

$$M_{кр} = 10 \cdot C_m \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_p \quad (3.2)$$

де C_m – постійний коефіцієнт, що характеризує момент різання.

Отже:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 5^2 \cdot 0,12^{0,8} \cdot 1 = 1,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахункова схема розміщення деталі в пристосуванні показана на рисунку 3.1.

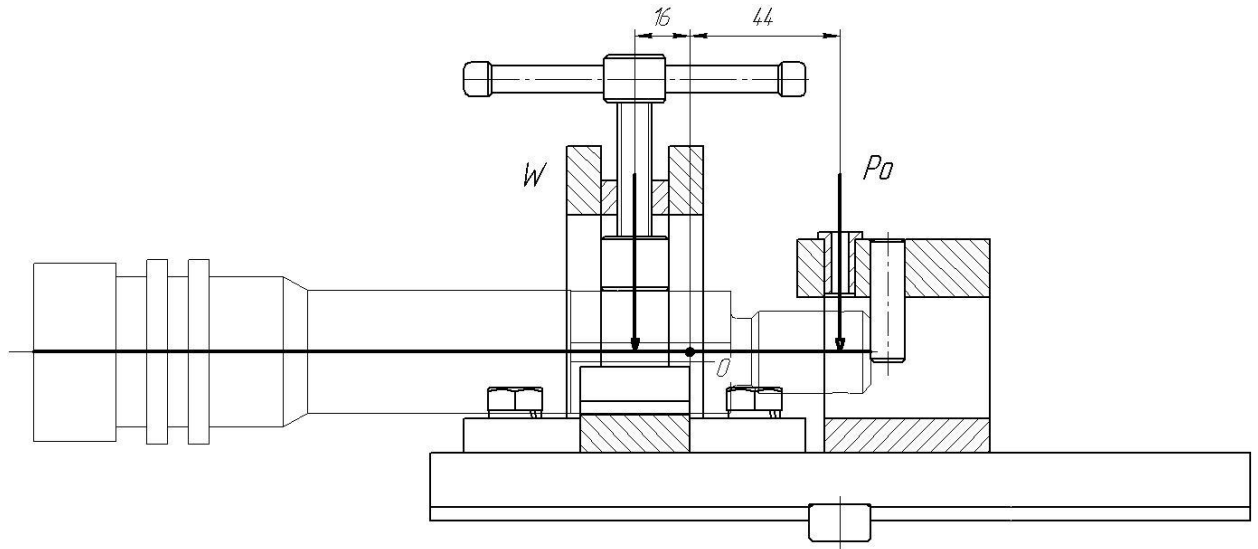


Рисунок 3.1 Розрахункова схема пристосування

На основі цієї схеми зусилля затиску W визначаємо за формулою:

$$W = \left(\frac{44}{16}\right) \cdot P_0 \cdot K, \quad (3.3)$$

де K – коефіцієнт запасу (приймаємо $K = 1,5$).

Одержимо:

$$W = \left(\frac{44}{16}\right) \cdot 771 \cdot 1,5 = 3180 \text{ Н.}$$

Гвинтовий прижим діаметра 10 мм створює силу 4200 Н [14].

Оскільки $3180 \text{ Н} < 4200 \text{ Н}$, то обраний гвинтовий затискач забезпечує необхідне зусилля притиску деталі.

3.2. Проектування контрольного пристрою

Точність контрольного пристосування визначається точністю вимірювальних головок, стійок-штативів та опорних плит, на які встановлюється деталь. Оскільки поверхня плити має дуже низьку шорсткість, похибку базування по ній можна не враховувати [15].

Отже, загальна похибка вимірювання складається з:

$$\varepsilon_{\text{в}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{Г}} + \varepsilon_{\text{Ш}}}, \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_{\text{в}} = \sqrt{0,001^2 + 0,004^2} = 0,004 \text{ мм.}$$

де $\varepsilon_{\text{Г}}$ – похибки вимірювальної головки;

$\varepsilon_{\text{Ш}}$ – похибки штативів.

Ці похибки не впливають на кінцевий результат контролю.

Як контрольне обладнання використовується спеціальне пристосування, призначене для перевірки радіального биття та паралельності.

З креслення шліцьової протяжки видно, що необхідно контролювати зубці фрези, для яких задано допуск на відхилення форми – радіальне биття $0,016 \text{ мм}$ відносно вимірювальної бази.

Спеціальне пристосування складається зі стола 1, валиків 4 та призми 3, за допомогою яких фіксуються передній 2 та задній 5 центри затиску. Контрольована протяжка встановлюється між центрами та закріплюється заднім затиском за допомогою рукояток. На стіл 1 монтується штатив із затискною гайкою та рукояткою, на якому розміщується індикатор годинникового типу.

Отримані покази індикатора порівнюються з параметрами допусків на відхилення форми циліндричних поверхонь відповідно до креслення та вимог ДСТУ 2498-94 [16].

Висновок до Розділу 3. У конструкторській частині було розроблено технологічне оснащення для виконання операцій свердління та контролю геометричних параметрів деталі. Проведено розрахунок похибок базування й визначено необхідне зусилля затиску, що підтвердило відповідність обраного прижимного елемента вимогам процесу обробки. Також спроектовано контрольний пристрій для перевірки радіального биття та паралельності, визначено його конструкцію, принцип роботи та складові елементи. Отримані розрахунки і технічні рішення забезпечують надійність закріплення деталі, точність вимірювань та відповідність вимогам стандартів, що підтверджує ефективність розробленого технологічного та контрольного оснащення.

РОЗДІЛ 4

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1. Автоматичне проектування технологічного процесу

Автоматичне проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» є важливим напрямом підвищення ефективності машинобудівного виробництва. Використання сучасних систем автоматизованого проектування (САПР) дозволяє значно скоротити час розробки технологічної документації, підвищити точність вибору обладнання, режимів обробки та інструментів [17].

У процесі автоматичного проектування враховуються геометричні параметри валу, вимоги до точності та шорсткості поверхонь та типу виробництва. На основі цих даних система формує оптимальну послідовність технологічних операцій, вибирає тип верстатів і оснащення, а також розраховує норми часу.

Для симуляції візьмемо токарний верстат іКС4 із системою керування SIEMENS 808DA, програма SinuTrain, Demo-Lathe 840d.

4.2. Автоматизовані методи механічної обробки приводного валу

Створення нової програми для верстата розпочинається з завдання. Деталь виготовляється з заготовки типу «циліндр». Задаємо її параметри:

- зовнішній діаметр $X_A = 70$ мм;
- права сторона заготовки $Z_A = 1$ мм;
- ліва сторона $Z_I = -458$ мм abs;
- глибина захоплення заготовки кулачками $Z_B = -400$ мм abs.

Параметри відведення інструменту X_{RA} , X_{RI} , Z_{RA} і точки зміни інструменту X_T , Z_T , а також швидкості обертання при відведенні S_1 .

Відцентруємо деталь. Для цього кнопкою «Свердл.» Викликаємо діалог «Центр. свердління. Вибираємо інструмент і його напрямок, призначаємо швидкості подачі. Тип, положення і напрямок обробки, координати переміщення свердла наведено на рис. 4.1.

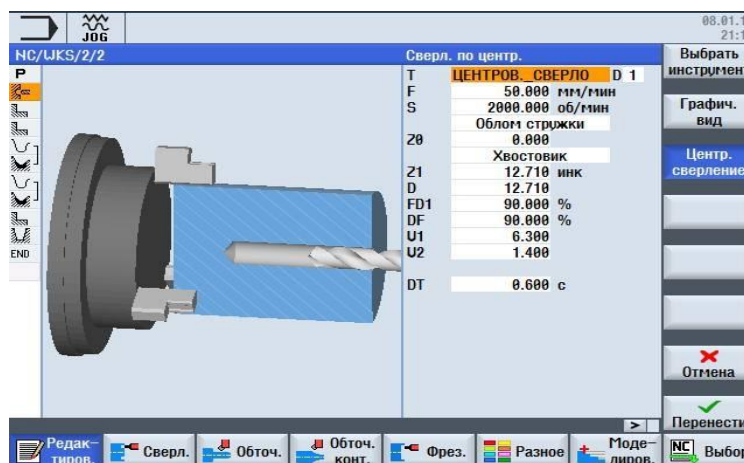


Рисунок 4.1 Відцентрування деталі

Кнопкою «Обточ.» викликаємо діалог «Обробка різан.», у вікні задаємо параметри різання деталі. Аналогічно можна вибрати графічне відображення контуру деталі. Після введення всіх параметрів і вибору різця натискаємо кнопку «Перенести». Повторюємо ті ж операції ще раз і задаємо ще одну операцію різання деталі «Перенести».

Кнопкою «Перенести» актуалізуємо нові дані і повертаємося в програму. Далі створюємо контур обробки деталі. Для цього тиснемо «обточити. контур» і викликаємо меню «Новий контур». Вводячи координати точок отримуємо контур оброблюваної деталі.

Для даної операції вибираємо «обробка різанням». У вікні вибираємо параметри різання деталі по контуру, а також інструмент. Застосовуємо зміни, натиснувши кнопку «Перенести».

Аналогічним методом створюємо ще один контур обробки деталі. Називаємо його KONTUR2, відкриваємо вікно створення контуру деталі. Після створення контура відкриваємо вікно обробки деталі різанням по контуру,

вводимо параметри різання, призначаємо інструмент, скориставшись вбудованим каталогом різців (рис. 4.2). У разі відсутності необхідного інструменту в каталозі є можливість задати його вручну, ввівши параметри інструменту в спеціальне поле введення програми [18].

Аналогічно створюємо операцію виточки деталі. Вибираємо кнопку «обточити», на панелі праворуч вибираємо «виточки». Параметри виточки і інструмент задаються у вікні аналогічно операціям обробки різання.

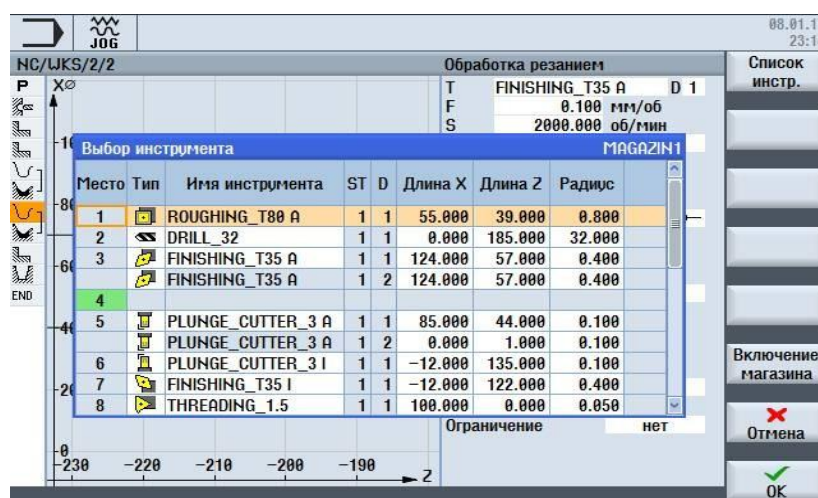


Рисунок 4.2 Вибір інструмента для обробки деталі

Після редагування програми є можливість запуску симуляції обробки деталі. В програмі доступні кілька варіантів відображення моделі в 3D, масштабування картинки і хронометражу та огляд траєкторії роботи інструменту.

Застосування автоматизованих методів дозволяє підвищити продуктивність проектно-технологічних робіт, зменшити ймовірність помилок проєктанта та забезпечити стабільну якість виготовлення деталей типу «Вал».

Висновок до Розділу 4. Було розглянуто процес автоматизованого проєктування технологічного процесу виготовлення деталі типу «Вал» із застосуванням сучасних САПР і систем числового програмного керування. Використання програмного середовища SinuTrain та токарного верстата іКС4 з ЧПК SIEMENS 808DA дозволило детально опрацювати етапи побудови

технології – від задання параметрів заготовки до формування контурів обробки, вибору інструментів і симуляції роботи. Автоматизація цих процесів забезпечує підвищення точності, скорочення часу підготовки виробництва та зменшення ймовірності технологічних помилок, що в підсумку сприяє стабільній якості та ефективності виготовлення деталей типу «Вал».

Висновок до Розділу 4. У науково-дослідній частині було розглянуто застосування автоматизованих систем проектування технологічних процесів та їх впровадження під час обробки приводного валу. Використання САПР і симуляційних засобів ЧПК дозволило оптимізувати послідовність операцій, підвищити точність налаштувань, зменшити імовірність помилок та скоротити час технологічної підготовки виробництва. Автоматизовані методи забезпечують стабільну якість обробки, підвищують продуктивність та створюють передумови для подальшої цифровізації виробничих процесів.

РОЗДІЛ 5

ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

5.1. Проектування цеху механічної обробки приводного валу

Проектування цеху механічної обробки передбачає розроблення оптимальної структури виробничого простору, що включає раціональне розміщення обладнання, робочих місць, підйимально-транспортних засобів, інженерних мереж, а також організацію зручних і безпечних проходів та проїздів. Проектні рішення приймають після формування загальної компоновальної схеми будівлі цеху [19].

Під час вибору місць встановлення технологічного обладнання та планування взаємодії робочих зон враховують такі основні принципи:

- верстати та допоміжні пристрої розташовують відповідно до технологічної послідовності обробки приводного валу;
- планування повинно забезпечувати зручність виконання монтажних та ремонтних робіт, легку подачу заготовок, оснащення та інструменту, ефективне прибирання відходів виробництва й дотримання вимог охорони праці;
- транспортні та підйимальні механізми узгоджують із технологічним маршрутом, створюючи найкоротші та не перехресні шляхи переміщення внутрішньоцехових вантажів;
- передбачають можливість подальшої модернізації або перепланування виробничого процесу у разі впровадження новітніх технологій.

Проект виконують на основі будівельних креслень приміщення цеху, де позначають конструктивні елементи: зовнішні та внутрішні стіни, перегородки, дверні та воротні прорізи. Технічні проекти зазвичай виконуються у масштабі 1:200, а робочі – у масштабі 1:100, з обов'язковою прив'язкою обладнання до конкретних координат.

Головним етапом у проектуванні є узгодження технологічної схеми обробки приводного валу з організацією вантажопотоків у цеху. Напрямок переміщення вантажів має відповідати послідовності виконання технологічних операцій. На основі аналізу аналогічних діючих виробництв визначають обсяги та напрями переміщення вантажів, після чого ці дані наносять у вигляді умовних потокових ліній на план цеху. Це дозволяє оцінити інтенсивність руху вантажів та визначити найраціональнішу схему компоновання.

Оптимальний проект цеху передбачає прямолінійний маршрут руху деталей, мінімізацію довжини транспортних шляхів, а також скорочення кількості зустрічних і перехресних вантажопотоків. Такий підхід забезпечує ефективний вибір вантажопідйомних і транспортних механізмів, підвищує продуктивність і зменшує витрати на внутрішньоцехове переміщення.

5.2. Обладнання цеху механічної обробки деталей

Вихідними даними для проектування виробничого цеху є технологічний процес, програма випуску та фонд робочого часу [20]. Перелік необхідного обладнання наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Обладнання цеху механічної обробки деталей

№	Найменування	Кількість, шт.	Потужність, кВт
1.	Токарно-гвинторізний верстат	1	15
2.	Вертикально-свердильний верстат	1	4,5
3.	Вертикально-фрезерний верстат	1	7,5
	Всього:	3	27

5.3. Розрахунок такту роботи

Необхідно визначити такт роботи дільниці (τ), кількість робочих місць (W_{pm}), явочну чисельність персоналу ($R_{яв}$) та спискову чисельність ($R_{сп}$) для забезпечення річного обсягу виробництва — 3600 приводних валів [21].

Такт роботи дільниці, τ (у хвиликах), визначають за формулою:

$$\tau = F / N \quad (5.1)$$

де F – річний фонд часу роботи дільниці, хв;

N – річна програма випуску, шт.

Оскільки $N = 4000$ валів/рік:

$$\tau = \frac{3880 \cdot 60}{4000} = 58,2 \text{ хв.}$$

Визначимо загальну трудомісткість виготовлення деталей приводного валу шляхом підсумовування трудових витрат по всіх операціях і переходах.

Загальний штучний час на обробку деталей валу (за партії запуску 300 комплектів) становить $\Sigma T_{шт} = 54,73$ хв.

Кількість робочих місць W_{pm} обчислюємо за формулою:

$$W_{pm} = \frac{\sum t_{um}}{\tau} \quad (5.2)$$

$$W_{pm} = \frac{54,73}{58,2} = 0,94$$

Приймаємо $W_{pm} = 0,94$.

Далі визначається кількість робочих місць для кожної операції деталі приводний вал та заносимо в таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок робочих місць

№ операції	Найменування	Штучно-калькуляційний час, $T_{шт.к., хв}$	Число робочих місць, W_{pm}
010	Токарно-гвинторізна	2,95	0,05
015	Токарно-гвинторізна	3,52	0,05
020	Токарно-гвинторізна	4,96	0,08
025	Токарно-гвинторізна	4,61	0,07
030	Токарно-гвинторізна	5,23	0,08
035	Вертикально- фрезерна	3,80	0,06
040	Токарно-гвинторізна	4,21	0,07
045	Вертикально-свердлильна	1,29	0,02
050	Вертикально-свердлильна	1,75	0,03

Після групування завантаження за операціями отримуємо таке завантаження обладнання на дільниці:

- токарно-гвинторізного верстата – 0,65;
- вертикально-фрезерного верстата – 0,06;
- вертикально-свердлильного верстата – 0,05.

Програма виготовлення деталей «Вал» не забезпечує повне завантаження обладнання. В умовах середньосерійного виробництва на одному робочому місці, як правило, обробляють широкий асортимент деталей,

що мають спільні конструктивно-технологічні ознаки. На проєктованій ділянці можна виконувати обробку як деталей типу тіл обертання, так і простих корпусних елементів – валів, осей, пластин із отворами, кронштейнів тощо.

Для забезпечення повного завантаження обладнання ($k = 1$) необхідно включити до виробничої програми обробку додаткових деталей, сумарна трудомісткість яких $T_{шт.-к}$, хв, визначається за формулою:

$$T_{шт.-к} = \Phi \delta \cdot 60 \cdot (1 - W_{рм}) \quad (5.3)$$

У результаті отримуємо такі додаткові трудомісткості:

- для свердлильних робіт: $T_{шт.-к} = 221160$ хв;
- для фрезерних робіт: $T_{шт.-к} = 218382$ хв;
- для токарних робіт: $T_{шт.-к} = 81480$ хв.

Оскільки передбачається, що робочі місця будуть повністю завантажені, приймаємо чисельність основних робітників 4 особи.

Тоді явочна кількість працівників на ділянці становить $R_{яв} = 4$.

Спискову чисельність робітників визначаємо за формулою:

$$R_{cn} = R_{яв} \cdot S \cdot b \quad (5.4)$$

Приймаємо коефіцієнт $b = 1,12$. Тоді:

$$R_{cn} = 4 \cdot 2 \cdot 1,12 = 11,2 \approx 11 \text{ осіб.}$$

Далі визначаємо потребу в інженерно-технічному персоналі, службовцях та молодшому обслуговуючому персоналі.

Приймаємо:

- інженерно-технічні працівники – 10 % від чисельності робітників;
- службовці – 6 %;
- молодший обслуговуючий персонал – 2 %.

Оскільки жодна з цих категорій не досягає однієї особи, вважаємо, що постійно закріплених службовців та молодшого обслуговуючого персоналу на дільниці немає. За дільницею закріплюється один інженерно-технічний працівник.

У базовому варіанті загальна трудомісткість виготовлення деталей «Вал» становить 95 хв. На цій основі визначають необхідну чисельність робітників для виконання річної програми у 4000 приводних валів.

5.4. Доцільність впровадження проектних рішень у виробництво

Впровадження розроблених проектних рішень у процес механічної обробки приводного валу є обґрунтованим як з технічної, так і з економічної точки зору. Аналіз отриманих розрахунків, структура технологічного процесу, рівень завантаження обладнання та перспективи розвитку виробництва підтверджують доцільність реалізації запропонованих заходів у межах існуючої виробничої системи [22].

1) Технічна ефективність проектних рішень.

Проектування технологічного цеху базується на оптимізованій послідовності операцій і логічно вибудованому маршруті обробки приводного валу. Рационально підібране обладнання забезпечує:

- відповідність технологічним вимогам до точності, шорсткості та геометрії деталей;

- можливість комплексної та стабільної механічної обробки різних типів деталей;
- скорочення допоміжних операцій та зменшення втрат виробничого часу.

Правильне компонування обладнання дозволяє мінімізувати переміщення, зменшити довжину технологічних маршрутів, знизити енергетичні втрати та оптимізувати навантаження на підйомно-транспортні пристрої.

2) Підвищення продуктивності праці.

Виконані розрахунки засвідчують, що запропоновані рішення дозволяють:

- забезпечити рівномірне завантаження робочих місць;
- уникнути простоїв через неузгодженість операцій;
- покращити ритмічність виробничого процесу.

Дотримання такту виробництва та оптимальний розподіл робіт між персоналом створюють умови для підвищення продуктивності праці, стабільного випуску деталей та зниження загальних витрат часу на виготовлення валів і суміжних деталей.

3) Гнучкість виробництва та можливість розширення номенклатури.

Важливою перевагою проектних рішень є можливість обробки широкої номенклатури деталей без суттєвої модернізації обладнання. Запропонована дільниця здатна виконувати обробку:

- тіл обертання (валів, осей, втулок);
- простих корпусних деталей;
- пластин, кронштейнів, деталей з отворами тощо.

Це забезпечує гнучкість виробництва, що особливо важливо в умовах серійного та дрібносерійного виготовлення, де технологічна лінія має швидко адаптуватися до зміни програми випуску.

4) Підвищення якості продукції.

Використання оптимізованих режимів різання, сучасного обладнання та раціональної схеми контролю якості сприяє:

- зменшенню технологічних похибок;
- стабільності та повторюваності параметрів обробки;
- зниженню кількості браку та переробок.

Завдяки цьому досягається відповідність готових деталей вимогам конструкторської документації та державних стандартів.

5) Поліпшення умов праці та безпеки виробництва.

Проектні рішення забезпечують відповідність вимогам охорони праці та ергономіки. Раціональне розташування обладнання й робочих місць сприяє:

- зниженню рівня травматизму;
- усуненню зон перехрещення вантажопотоків;
- підвищенню комфортності роботи операторів;
- зменшенню фізичних навантажень завдяки застосуванню підйомно-транспортних засобів.

Це підвищує загальну безпеку виробничого середовища і сприяє збереженню здоров'я працівників.

б) Економічна доцільність впровадження.

Впровадження проекту забезпечує економічний ефект за рахунок:

- зниження трудомісткості виробничих процесів;
- оптимізації використання обладнання (підвищення коефіцієнта завантаження);
- скорочення витрат на обслуговування та ремонт завдяки правильному компонуванню;
- можливості обробки додаткової номенклатури деталей, що збільшує прибутковість виробництва;
- зменшення непродуктивних витрат часу.

Розрахована чисельність персоналу свідчить про ефективне використання трудових ресурсів: мінімізація надлишкового персоналу та забезпечення рівномірного завантаження робітників дозволяють знизити фонд оплати праці при збереженні необхідного обсягу виробництва [23].

7. Стратегічні переваги для підприємства.

Впровадження проектних рішень має важливе значення для довгострокового розвитку підприємства, адже забезпечує:

- підвищення конкурентоспроможності;
- створення бази для впровадження більш прогресивних технологій (ЧПК-обладнання, автоматизація, роботизація);
- можливість інтеграції дільниці в єдину цифрову систему планування виробництва (MES, ERP);
- зниження ризиків, пов'язаних із зношеністю обладнання та застарілими технологіями.

Таким чином, проектна дільниця стає основою для подальшої модернізації та розвитку підприємства.

На основі проведеного техніко-економічного аналізу можна стверджувати, що впровадження проектних рішень у виробництво є цілком доцільним. Запропонована організація технологічного процесу забезпечує:

- повну готовність до реалізації програми випуску;
- підвищення продуктивності та якості обробки;
- зниження експлуатаційних витрат;
- створення сучасного, гнучкого й економічно ефективного виробництва.

Запропонований проект не лише відповідає сучасним вимогам машинобудівного виробництва, але й створює умови для подальшого технічного розвитку підприємства [24].

Висновок до Розділу 5. Виконано планування та обґрунтування роботи дільниці механічної обробки приводного валу. Проведені розрахунки такту, завантаження обладнання та чисельності персоналу підтвердили здатність дільниці забезпечити річну програму випуску продукції. Запропоноване компонування обладнання та оптимізація вантажопотоків підвищують ефективність виробничого процесу, зменшують трудомісткість і покращують умови праці. Проектні рішення є технічно обґрунтованими й економічно доцільними та сприяють підвищенню продуктивності й гнучкості виробництва.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання проектно-аналітичної роботи було розроблено повний технологічний комплекс виготовлення приводного валу, який включає вибір оптимального способу отримання заготовки, визначення раціональних операцій механічної обробки, підбір обладнання та оснащення, а також планування виробничої ділянки. Проведені дослідження та розрахунки підтвердили відповідність прийнятих рішень сучасним вимогам машинобудівного виробництва, а також їхню технічну, економічну та організаційну доцільність.

У ході роботи здійснено детальний аналіз конструкції приводного валу та визначено технологічні особливості його виготовлення. На основі цього сформовано оптимальний технологічний процес, який забезпечує необхідну точність і якість деталі при мінімальних витратах часу та ресурсів. Усі режими різання, норми часу та параметри обробки були визначені з урахуванням реальних можливостей верстатного обладнання та вимог до готового виробу.

Було проведено вибір устаткування, технологічної оснастки та інструменту, що забезпечує найраціональнішу та найефективнішу обробку деталі. Розрахунок штучно-калькуляційного часу та трудомісткості дозволив оцінити загальні витрати праці та визначити необхідну кількість робочих місць, що забезпечує ритмічну роботу ділянки та досягнення запланованого річного обсягу виробництва.

Окрему увагу приділено організації виробництва: розроблено планувальне рішення ділянки механічної обробки приводного валу, яке забезпечує логічну послідовність виконання операцій, мінімальні внутрішньоцехові переміщення та високий рівень безпеки праці. Проведений аналіз вантажопотоків дозволив оптимізувати маршрути транспортування заготовок і деталей, а також забезпечити ефективне використання підйомно-транспортних засобів.

Розрахована чисельність основних та допоміжних працівників підтвердила, що дільниця може працювати із повною відповідністю такту виробництва та встановлених норм обслуговування. Це забезпечує стабільність роботи, зниження трудових витрат та підвищення продуктивності.

Узагальнюючи отримані результати, можна стверджувати, що запропоновані проектні рішення:

- підвищують ефективність виробничого процесу;
- забезпечують раціональне використання обладнання;
- сприяють зниженню трудомісткості та собівартості продукції;
- забезпечують стабільну якість виготовлення приводного валу;
- створюють можливості для подальшої модернізації та розширення номенклатури деталей;
- відповідають сучасним технічним нормам і стандартам виробництва.

Таким чином, проведена робота забезпечила формування конкурентоспроможного та технологічно обґрунтованого процесу виготовлення приводного валу, а розроблені рішення можуть бути рекомендовані до практичного впровадження у виробничий процес.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 8541:2015 Прокат сталевий підвищеної міцності. Технічні умови.
2. Дерібо О.В. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навчальний посібник / [О.В. Дерібо, Ж.П. Дусанюк, В.П. Пурдик]. Вінниця, ВНТУ, 2013. 120 с.
3. ДСТУ ISO 4987:2015 Сталеві відливки. Капілярний контроль.
4. ДСТУ 8981:2020 Виливки з металів та сплавів. Допуски розмірів, маси та припуски на механічне оброблення.
5. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навчально-методичний посібник / О.У. Захаркін. Суми: Вид-во СумДУ, 2004. 98 с.
6. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: Навч. посібник / П.О. Руденко. К.: Вища школа, 1993. 414 с.
7. ДСТУ 2960-94 Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення.
8. Назаренко І.І. Основи технології машинобудування: навчальний посібник / [І.І. Назаренко, А.Т. Свідерський, Р.І. Рибалко, О.П. Дєдов]. К.: КДТУБА, 2010. 165 с.
9. Кодра Ю.В. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: навчальний посібник / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцько – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. 468 с.
10. Кузнецов Ю.М. Верстати з ЧПК та верстатні комплекси : навч. посіб. К.: ТОВ «Замок»; Тернопіль, 2001. Т.1 198 с., Т.2 298 с.
11. Зубовецька Н.Т. Проектування та технологія виготовлення металорізальних інструменти: конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка / Н.Т. Зубовецька, Г.А. Герасимчук. Луцьк: Луцький НТУ, 2016. 152 с.
12. Гальчук Т.Н. Технологія машинобудування: методичні вказівки до

виконання бакалаврської випускної роботи із спеціальності 131 – Прикладна механіка професійного спрямування «Технології машинобудування» денної та заочної форм навчання / Т.Н. Гальчук. Луцьк: Луцький НТУ, 2018. 40 с.

13. Біланенко В.Г., Приходько В.П., Мельник О.О. Проектування технологічних процесів. Частина 1. Оброблення деталей-тіл обертання : навчальний посібник для студентів спеціальності 131 Прикладна механіка, спеціалізацій Технології машинобудування та Технології виготовлення літальних апаратів. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. 232 с.

14. Бурек Я. Верстатне обладнання: навчальний посібник / [Я. Бурек, З.А. Стоцько, І.В. Гурей]. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 168 с.

15. Гевко Б.М. Технологічна оснастка. Контрольні пристрої: навч. посібник / Б.М. Гевко та інші. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль: ТНТУ, 2009. 220 с.

16. ДСТУ 2498-94 Основні норми взаємозамінності. Допуски форми та розташування поверхонь. Терміни та визначення.

17. Мороз В. Автоматичне проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Вал». Тези І студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ – 2021р.– С. 198-201. – Науковий керівник – к.т.н., доцент Гулієва Н.М.

18. Основи становлення сучасного інженера : навчальний посібник / В. О. Іванов, О. Г. Гусак, Д. В. Криворучко та ін.; за заг. ред. В. О. Іванова, О. Г. Гусака. Харків : НТМТ, 2015. 275 с.

19. Батюк Д. Покращення ергономічних властивостей вертикально-токарного верстату SUNSHINE VTC450. Тези V студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії «Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії». Луцьк: ЛНТУ 2025. / наук. керівник : Гулієва Н. 20-23.

20. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / [Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Нікоз О.І. та ін.]. Київ: Вища школа, 2002. – 134 с.
21. Гулієва Н., Батюк Д., Грибок Н., Гулієва З. Розрахунок кінчного з'єднання за допомогою мови програмування C#. Automation of Technological and Business Processes, 2023. 15(2). P. 58-66.
22. Джур. Є.О. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. /Є.О. Джур, О.В. Бондаренко. Д.: «Інновація», 2011. 109 с.
23. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: практикум / [Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В.] Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.
24. Обладнання автоматизованого виробництва. навчальний посібник / [під ред. Р.І. Сіліна]. Львів: Виробництво державного університету «Львівська політехніка», 2000. 380 с.

ДОДАТКИ