

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»

МЕХАНІЧНИЙ ЦЕХ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ КОРПУСНИХ ДЕТАЛЕЙ З
ДЕТАЛЬНОЮ РОЗРОБКОЮ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «МАТОЧИНА» 85101С-3205021.1

спеціальність 131 Прикладна механіка
освітня програма Прикладна механіка

Виконав: здобувач вищої освіти
Групи ІМм-21
Батюк Дем'ян Русланович

(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
Батьоку Дем'яну Руслановичу

1. Тема кваліфікаційної роботи Механічний цех для виготовлення корпусних деталей з детальною розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі «Маточина» 85101С-3205021.1.

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 деталі «Маточина» 85101С-3205021.1, річна програма випуску 40000шт/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

04.09.2025 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>Проектна частина</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

Батюк Д.Р..

Керівник кваліфікаційної роботи

Гулієва Н.М.

АНОТАЦІЯ

Батюк Д.Р. Механічний цех для виготовлення корпусних деталей з детальною розробкою технологічного процесу механічної обробки деталі «Маточина» 85101С-3205021.1. 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.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена проектуванню виробничого підрозділу машинобудівного підприємства та розробці технологічного процесу виготовлення корпусних деталей.

У роботі розглянуто організаційно-технічні аспекти проектування механічного цеху, визначено його виробничу програму, структуру, склад основного та допоміжного обладнання, а також планування виробничих ділянок. Особливу увагу приділено розробці раціональної технології механічної обробки деталі «Маточина», що є типовим представником корпусних деталей машин.

У технологічній частині подано вибір заготовки, базування, розробку маршрутного та операційного технологічних процесів, розрахунок режимів різання, норм часу та техніко-економічних показників виробництва. Проведено аналіз точності обробки та забезпечення якості поверхонь.

Також виконано розрахунок фондів робочого часу, потреби в обладнанні, інструменті та оснащенні, проектування компоновки цеху з урахуванням вимог охорони праці, екологічної безпеки та енергозбереження.

Результати роботи можуть бути використані при проектуванні або модернізації механічних цехів машинобудівних підприємств, а також при оптимізації технологічних процесів обробки корпусних деталей.

Ключові слова: механічний цех, корпусна деталь, маточина, технологічний процес, механічна обробка, маршрутизація, верстат, проектування виробництва.

ABSTRACT

Batiuk D. R. Mechanical workshop for the manufacture of body parts with detailed development of the technological process for machining the part "Hub" 85101C-3205021.1. Manuscript.

Master's qualification work OP "Applied Mechanics" specialty 131 Applied Mechanics. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Master's qualification work consists of an introduction, 5 chapters, general conclusions, a list of used literature, appendices.

Master's qualification work is devoted to the design of a production unit of a machine-building enterprise and the development of a technological process for the manufacture of body parts.

The work considers the organizational and technical aspects of the design of a mechanical workshop, determines its production program, structure, composition of the main and auxiliary equipment, as well as the planning of production areas. Special attention is paid to the development of a rational technology for the machining of the part "Hub", which is a typical representative of body parts of machines.

The technological part presents the selection of the workpiece, basing, development of routing and operational technological processes, calculation of cutting modes, time standards and technical and economic indicators of production. An analysis of the accuracy of processing and ensuring the quality of surfaces was carried out.

Also, the calculation of working time funds, the need for equipment, tools and equipment, the design of the layout of the workshop was performed taking into account the requirements of labor protection, environmental safety and energy saving.

The results of the work can be used in the design or modernization of mechanical workshops of machine-building enterprises, as well as in the optimization of technological processes for processing body parts.

Keywords: mechanical workshop, body part, hub, technological process, mechanical processing, routing, machine tool, production 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	14
1.4 Аналіз базового технологічного процесу. Висновки і формулювання завдань на кваліфікаційну роботу	20
Розділ 2. Технологічна частина	22
2.1 Аналіз виробничої програми, встановлення типу та організаційної форми виробництва	22
2.2 Відпрацювання деталі на технологічність	24
2.3 Порівняльна характеристика базового та проєктного варіантів технологічного процесу	30
2.4 Вибір та обґрунтування технологічних баз	34
2.5 Нормування технологічного процесу	36
Розділ 3. Конструкторська частина	40
3.1 Проєктування технологічного обладнання	40
3.2 Проєктування контрольного пристрою	42
Розділ 4. Науково-дослідна частина	44
4.1 Аналіз сучасних технологічних рішень у сфері вертикально-токарної обробки	44
4.2 Дослідження ефективності застосування високотехнологічних обробних центрів у виробництві деталей зчеплення	45
Розділ 5. Проєктна частина	47
5.1 Уточнення виробництва для проєктного варіанту технології	47
5.2 Проєктний розрахунок виробничої площі цеху	49

5.3	Доцільність впровадження проєктних рішень у виробництво	52
	Загальні висновки	56
	Список використаної літератури	57
	Додатки	60

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток машинобудівної галузі вимагає підвищення ефективності виробництва, якості та надійності деталей і вузлів машин. Значна частина таких виробів належить до корпусних деталей, які виконують функції з'єднання, базування та розміщення робочих елементів механізмів. Саме від точності їх виготовлення залежить працездатність, довговічність та енергоефективність машин.

В умовах постійного оновлення техніки та впровадження високопродуктивного обладнання важливого значення набуває раціональне проектування механічних цехів і удосконалення технологічних процесів механічної обробки корпусних деталей. Оптимальний вибір технологічної послідовності, методів обробки, верстатного оснащення та режимів різання забезпечує скорочення виробничого циклу, зниження собівартості та підвищення конкурентоспроможності підприємства.

Деталь «Маточина» 85101С-3205021.1 є типовою корпусною деталлю, що широко застосовується в різних машинах та механізмах. Її виготовлення вимагає високої точності взаємного розташування поверхонь, жорстких вимог до якості та чистоти обробки. Тому детальна розробка технологічного процесу обробки цієї деталі є важливою практичною задачею, спрямованою на вдосконалення технологічної підготовки виробництва.

Таким чином, тема роботи є актуальною, оскільки відповідає сучасним вимогам до підвищення ефективності машинобудівного виробництва, забезпечення високої якості корпусних деталей і впровадження прогресивних технологічних рішень у проектуванні механічних цехів.

Мета роботи – спроектувати механічний цех для виготовлення корпусних деталей машин та розробити раціональний технологічний процес механічної обробки деталі «Маточина» 85101С-3205021.1, який забезпечує високу точність, якість поверхонь і економічну ефективність виробництва.

Методи дослідження: аналіз технічної літератури та нормативної документації; методи інженерного розрахунку; техніко-економічний та порівняльний аналіз.

Предметом дослідження є технологічні процеси механічної обробки корпусних деталей машин, зокрема методи, режими та засоби обробки, що застосовуються при виготовленні деталі «Маточина», а також організаційно-технологічні рішення з проектування механічного цеху, які забезпечують ефективно, точно та економічно обґрунтоване виробництво корпусних деталей.

Об'єктом дослідження є механічний цех машинобудівного підприємства, що спеціалізується на виготовленні корпусних деталей, а також процес організації та реалізації технологічного виробництва таких деталей.

Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи полягає у комплексному підході до проектування механічного цеху та розробленні вдосконаленого технологічного процесу механічної обробки корпусної деталі «Маточина», що забезпечує підвищення точності, якості та економічності виробництва.

Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні техніко-технологічних рішень, які можуть бути безпосередньо використані при проектуванні або модернізації механічних цехів машинобудівних підприємств, а також при розробленні технологічних процесів виготовлення корпусних деталей.

Особистий внесок. Приймав участь у міжнародному конкурсі студентських наукових робіт “Black Sea Science” на тему: “C# Program for Calculating a Taper Connection” 2022 р.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи виконана на IV Студентській науково-технічній конференції, Луцьк, 2025. Публікації: 1 фахова стаття, 2 тези.

Магістрант особисто виконав повний цикл дослідження – від аналізу вихідних даних до розроблення технологічних і організаційних рішень, їх техніко-економічного обґрунтування й розробки проекту та оформлення результатів.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1. Службове призначення і характеристика об'єкта виробництва

Деталь «Маточина 85101С-3205021.1» призначена для встановлення та надійного кріплення колеса на шасі тракторного причепа. Її ескіз подано на рис. 1.1. Маточина є однією з головних складових збірки вузла «Вісь». У її конструкцію запресовуються обидва підшипники, що забезпечують обертання колеса, а також встановлюються болти, за допомогою яких колісний диск фіксується на маточині.

Шасі тракторного причепа двовісної моделі 84707С призначене для монтажу та транспортування різного обладнання, мобільних споруд, будинків-кейпінгів, а також житлових і виробничих блоків. Вантажопідйомність шасі становить від 6,5 до 10 т. Виріб випускається з платформами довжиною 8000 мм і шириною від 2300 до 2800 мм. Для використання у стаціонарних умовах конструкція оснащена гвинтовими опорами.

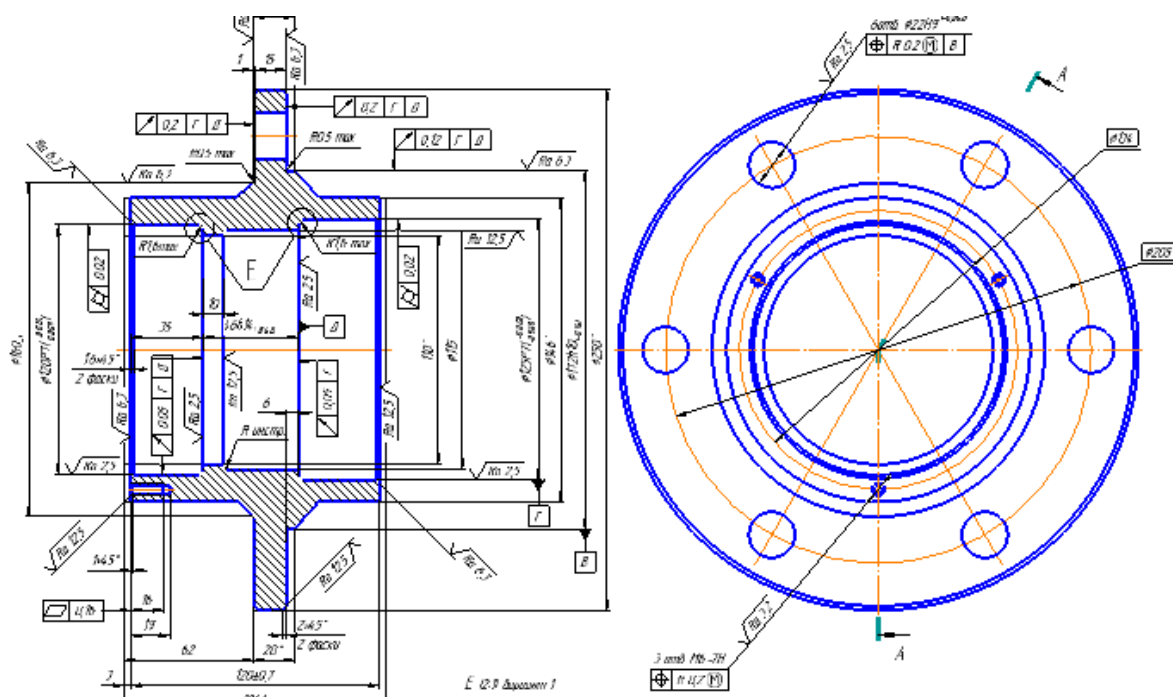


Рисунок 1.1 Ескіз деталі «Маточина»

Шасі може агрегатуватися з колісними тракторами тягового класу 20–30 кН, із потужністю двигуна 100–225 кВт (140–300 к.с.), такими як МТЗ-142, МТЗ-100/102, ЛТЗ-155, Т155К, К-701. Для забезпечення безпечної експлуатації причепа, у складі автопоїзда, шасі обладнано двохпровідною гальмівною системою.

Маточина являє собою обертову деталь, що має різні посадкові та кріпильні отвори, розташовані як уздовж осі обертання (посадкові місця під підшипники), так і радіально – на торцевих поверхнях деталі. У базовому виконанні маточина є складальним вузлом, який утворюється шляхом зварювання двох елементів – втулки та фланця.

Під час експлуатації на маточину діють змінні радіальні навантаження. Оскільки вона є зварним складальним вузлом, до якості зварного з'єднання висуваються підвищені вимоги, що зумовлено необхідністю забезпечення міцності та надійності деталі при роботі.

Матеріалом виготовлення маточини є сталь 35. Хімічний склад і механічні властивості цього матеріалу наведені в таблицях 1.1 і 1.2 [1].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 35, ДСТУ 2651:2005

Матеріал	Зміст елементів, %						
	C	Si	Mn	Cr, Cu, Ni	S	As	P
Сталь 35	0,32–0,40	0,50–0,8	0,17– 0,37	≤ 0,25	≤ 0,04	≤ 0,08	≤ 0,035

Таблиця 1.2 – Механічні властивості сталі 35, ДСТУ 2651:2005

Стан сталі	Перетин, мм	σ_s , МПа	δ_5 , %	ψ , %	НВ
Прокат гарячекатаний, зливки, поковки, штамповки і т.д.	6–25	510	≥ 17	≥ 45	≤ 187

Заготовка – це зварна конструкція I класу за ДСТУ 3761.2-98 [2]. Допустимі відхилення отворів відповідають 7 квалітету точності Р7 під обойму

підшипника. Існують незазначені допуски відхилень розмірів під час механічної обробки.

У зв'язку з нагріванням матеріалу заготовки після зварювання та виникненням напруги, її необхідно піддати відпалу.

1.2. Вибір методу отримання заготовки в умовах управління проектами

На вибір методу отримання заготовки в умовах управління проектами впливають такі основні фактори: матеріал деталі, її функціональне призначення, вимоги до механічних властивостей, обсяг і серійність виробництва, а також форма поверхонь і розміри [3].

Оптимальний спосіб виготовлення заготовки визначається на основі комплексного аналізу зазначених факторів та механіко-економічного розрахунку технологічної собівартості. Оптимальним вважається такий метод отримання заготовки, який забезпечує високу технологічність виготовлення деталі при мінімальній собівартості її виробництва.

Для виготовлення деталі застосовується сталь 35, виходячи з властивостей якої найбільш доцільним є використання штамповки.

Виробництво деталі передбачене в умовах багатосерійного випуску з річною програмою 40000 шт. Деталь має порівняно невеликі розміри та конструктивні особливості, що дозволяють ефективно використовувати метод штампування.

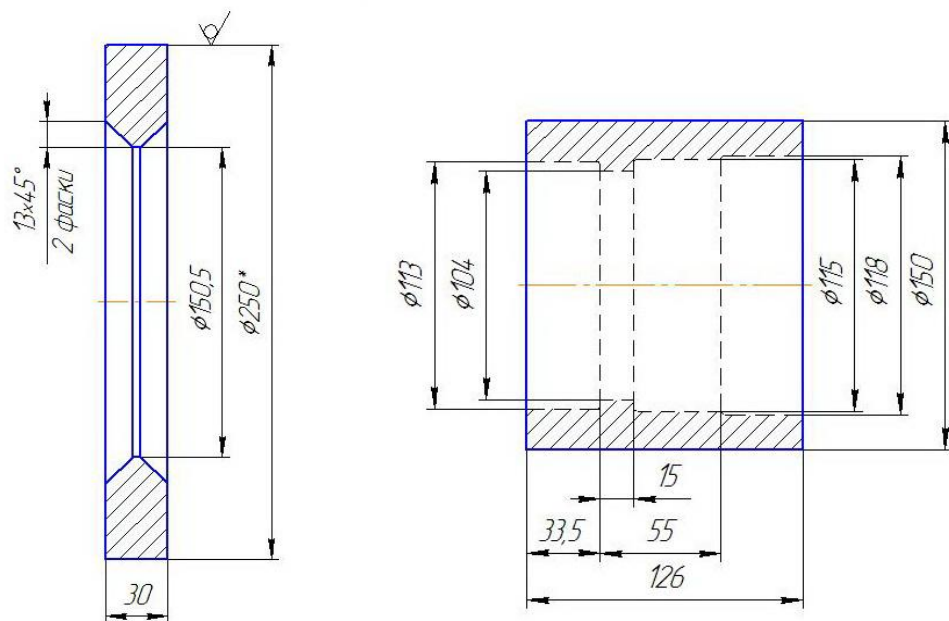
У базовому варіанті виготовлення заготовок розглядається складальний вузол, виготовлений шляхом зварювання двох деталей – «Втулки» (рис. 1.2а) та «Фланця» (рис. 1.2б). З'єднана зварюванням заготовка подана на рис. 1.3.

Переваги даного способу отримання заготовки полягають у наступному:

а) можливість виготовлення заготовки із сортового прокату, що сприяє скороченню термінів запуску нової деталі у виробництво;

б) можливість розміщення замовлення на виготовлення заготовки деталі «Маточина» практично на будь-якому машинобудівному підприємстві, навіть за відсутності ливарного чи ковальсько-штампувального обладнання.

Разом з тим, даний метод має низку недоліків:



а)

б)

Рисунок 1.2 Складальний вузол заготовки, «Втулка» (а), «Фланець» (б)

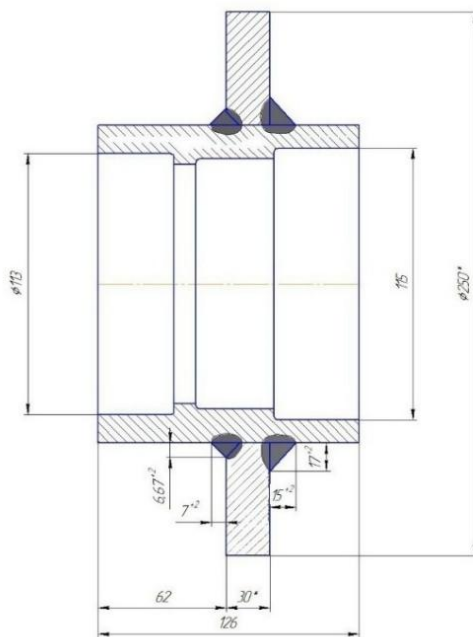


Рисунок 1.3 Заготовка (зварний варіант):

а) висока трудомісткість виготовлення складових деталей – «Втулки» та «Фланця», що зумовлено необхідністю попередньої механічної обробки їхніх внутрішніх поверхонь;

б) потреба у виготовленні спеціального складально-зварювального пристосування;

в) можливі похибки базування деталі «Фланець» відносно деталі «Втулка», що призводить до збільшення припусків на механічну обробку;

г) виконання додаткових операцій зварювання та термообробки.

Перелічені недоліки безпосередньо впливають на зростання собівартості виготовлення деталі.

З огляду на це, заготовку деталі «Маточина» доцільно виготовляти іншими, більш продуктивними методами – зокрема, литтям або гарячим штампуванням. Застосування таких способів дозволить зменшити собівартість, скоротити припуски на механічну обробку, знизити трудомісткість виготовлення та підвищити надійність і працездатність деталі.

Для подальших розрахунків у проекті як оптимальний метод отримання заготовки приймаємо штампування в закритому штампі на кривошипних гарячоштамповочних пресах (КГШП).

1.3. Вибір методу обробки поверхонь

На правильний вибір методу обробки поверхонь заготовки впливають такі чинники, як службове призначення деталі, функціональне призначення окремих поверхонь, а також вимоги до точності, шорсткості та геометричної форми. Обробку поверхонь необхідно здійснювати поетапно, виконуючи кілька послідовних переходів, на кожному з яких застосовується свій вид обробки – від чорнової до чистової [4].

У конструкції маточини наявні поверхні, до яких не висуваються підвищені вимоги щодо точності чи шорсткості, тому для них достатньо виконати лише чорнову обробку.

Для подальших розрахунків приймаємо нормативний коефіцієнт завантаження обладнання. Для умов великосерійного виробництва його значення становить 0,75–0,85. У даному випадку приймаємо $\eta_{з.н.} = 0,75$.

Розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції, визначаємо за формулою:

$$m_p = \frac{N \times T_{шт.-к.}}{60 \times F_{д.} \times \eta_{н.з.обл.}} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, шт.;

$T_{шт.-к.}$ – штучно-калькуляційний час, год;

$F_{д.}$ – дійсний річний фонд роботи обладнання ($F_{д.} = 4055$ год);

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

Отримане значення m_p заокруглюємо у більшу сторону до цілого числа, що визначає кількість робочих місць P для даної операції.

005

$$m_p = \frac{40000 \cdot 2,4}{60 \cdot 4055 \cdot 0,75} = 0,526; P=1;$$

010

$$m_p = \frac{40000 \cdot 3,2}{60 \cdot 4055 \cdot 0,75} = 0,702; P=1;$$

015

$$m_p = \frac{40000 \cdot 2,25}{60 \cdot 4055 \cdot 0,75} = 0,493; P=1;$$

020

$$m_p = \frac{40000 \cdot 1,19}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 0,261; P=1;$$

025

$$m_p = \frac{40000 \cdot 5,57}{60 \cdot 4015 \cdot 0,75} = 1,221; P=2.$$

4. Обчислюємо дійсний коефіцієнт завантаження обладнання обробки деталей [5]:

$$\eta_{д.з.обл.} = \frac{m_p}{P} \cdot \quad (1.2)$$

Якщо $\eta_{д.з.обл.} > \eta_{н.з.обл.}$ то необхідно збільшувати значення P до тієї пори, доки не буде виконуватись умова $\eta_{д.з.обл.} < \eta_{н.з.обл.}$.

005

$$\eta_{д.з.обл.} = \frac{0,526}{1} = 0,526;$$

010

$$\eta_{д.з.обл.} = \frac{0,702}{1} = 0,702;$$

015

$$\eta_{\text{д.з.обл.}} = \frac{0,493}{1} = 0,493;$$

020

$$\eta_{\text{д.з.обл.}} = \frac{0,261}{1} = 0,261;$$

025

$$\eta_{\text{д.з.обл.}} = \frac{1,221}{1} = 0,611.$$

2. Обчислюємо кількість операцій, що повинні виконуватися на даному обладнанні:

$$O = \frac{\eta_{\text{н.з.обл.}}}{\eta_{\text{д.з.обл.}}} \quad (1.3)$$

Для наступних обчислень значення O не буде округлюватися до цілого числа.

$$005 \quad O = \frac{0,75}{0,526} = 1,43;$$

$$010 \quad O = \frac{0,75}{0,702} = 1,07;$$

$$015 \quad O = \frac{0,75}{0,493} = 1,52;$$

$${}_{020} O = \frac{0,75}{0,261} = 2,87;$$

$${}_{025} O = \frac{0,75}{0,611} = 1,23.$$

Зведені розрахунки кількості верстатів та операцій представляємо в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Визначення кількості верстатів та операцій

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	P	$\eta_{з.ф.}$	O
005	2,4	0,526	1	0,526	1,43
010	3,2	0,702	1	0,702	1,07
015	2,25	0,493	1	0,493	1,52
020	1,19	0,261	1	0,261	2,87
025	5,57	1,221	2	0,611	1,23

$$\sum O = 1,43 + 1,07 + 1,52 + 2,87 + 1,23 = 8,12;$$

$$\sum P = 1 + 1 + 1 + 1 + 2 = 6.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (1.4)$$

$$K_{з.о.} = \frac{8,12}{6} = 1,35.$$

Оскільки за умовою $0 \leq K_{з.о.} = 1,35 \leq 10$, то будемо приймати великосерійний тип виробництва.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_{з.}}{T_{д.}}, \quad (1.5)$$

де $T_{з.}$ і $T_{д.}$ – допуски параметрів, що розглядаються відповідно для заготовки і деталі.

Для найбільш спрямованого вибору числа ступенів використовуємо формулу:

$$n = \frac{\lg \varepsilon}{0,46}. \quad (1.6)$$

Наприклад, для поверхні $\phi 125 P7 \begin{pmatrix} -0,028 \\ -0,068 \end{pmatrix}$.

Заготовка виготовляється методом штамповки і досягає точності Н14.

Загальне уточнення:

$$\varepsilon = \frac{T_{з.}}{T_{д.}}, \quad (1.7)$$

$$\varepsilon = \frac{1220}{49} = 24,9,$$

$$n = \frac{\lg 24,9}{0,46} = 2,17.$$

Точність збільшується після чорнової обробки з Н14 до Н12 (2 квалітета), напівчистої – з Н12 до Н10 (2 квалітета), чистої – з Н10 до Н9 (1 квалітет), що повністю відповідає рекомендаціям вибору методу механічної обробки за економічними показниками.

1.4. Аналіз базового технологічного процесу. Висновки і формулювання завдань на кваліфікаційну роботу

Аналіз базового технологічного процесу визначається здатністю матеріалу деталі до пластичної деформації, конструктивними особливостями деталі та типом виробництва. Під час вибору способу виготовлення заготовки використовуються рекомендації, наведені в таблицях 1.1 і 1.2.

При виборі методу отримання заготовки слід намагатися, щоб вона максимально відповідала формі та розмірам, геометричним параметрам готової деталі. Водночас необхідно враховувати, що підвищення точності заготовки призводить до зростання витрат на її виготовлення, оскільки потребує застосування спеціального оснащення для виконання операцій.

Раціональний вибір типу заготовки здійснюється на основі техніко-економічного аналізу, шляхом порівняння технологічної собівартості виготовлення деталі з використанням різних способів отримання заготовки.

Оскільки деталь «Маточина» належить до класу втулок і є тілом обертання зі значним перепадом діаметрів, то як заготовку доцільно прийняти штамповку. Отже, метод отримання заготовки – штамповка в закритому штампі на кривошипному гарячештамповочному пресі (КГШП) [6].

Для написання кваліфікаційної роботи магістра необхідно вирішити такі основні завдання:

- 1) Проаналізувати призначення, конструктивні особливості та технологічність деталі «Маточина».
- 2) Обґрунтувати вибір заготовки та способу її одержання з урахуванням вимог до точності, матеріалу і типу виробництва.
- 3) Розробити маршрутний і операційний технологічні процеси механічної обробки деталі з вибором баз, послідовності операцій та оптимальних режимів різання.

4) Вибрати необхідне обладнання, інструмент, пристосування та вимірювальні засоби, що забезпечують задану точність і продуктивність обробки.

5) Виконати техніко-економічні розрахунки – визначити норми часу, собівартість обробки, фонд часу роботи обладнання та кількість верстатів.

6) Спроекувати планування механічного цеху, визначити склад дільниць, розміщення обладнання та додаткових операцій.

7) Оцінити доцільність запропонованих технологічних рішень та можливість їх практичного впровадження на машинобудівному підприємстві.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

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

Річну програму запуску виробу представляємо даною формулою:

$$N_{\text{зан.}} = N_{\text{вип.}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{100} + \frac{\beta}{100} + \frac{\gamma}{100}\right), \quad (2.1)$$

де $\alpha = 3 \dots 5$ % – брак;

$\beta = 2 \dots 10$ % – незавершене виробництво;

$\gamma = 2 \dots 10$ % – запасні частини;

$N_{\text{вип.}} = 40000$ шт. – планова програма випуску виробів.

$$N_{\text{зан.}} = 40000 \cdot \left(1 + \frac{4}{100} + \frac{5}{100} + \frac{5}{100}\right) = 45600 \text{ шт.}$$

На попередньому етапі проектування технології на підставі програми запуску встановлюємо, що тип виробництва може бути багатосерійним, що відповідає $K_z = 1 \dots 10$ відповідно до ДСТУ 2960-94 [7].

Визначимо організаційну форму виробництва [8].

Визначимо добовий випуск виробів:

$$N_d = \frac{N}{254} \quad (2.2)$$

де N – програма випуску;

254 – кількість робочих днів у році.

$$N_{\partial.} = \frac{40000}{254} = 158 \text{шт.}$$

Визначаємо добову продуктивність поточної лінії:

$$Q_{\partial.} = \frac{F_{\partial.}}{T_{\text{шт.-к.сер.}}} \times \eta_{\partial.з.обл.сер.} \quad (2.3)$$

де $F_{\partial.}$ – добовий фонд роботи обладнання (при 2-х змінах $F_{\partial.} = 952 \text{хв}$);

$T_{\text{шт.-к.сер.}}$ – середній штучно-калькуляційний час всіх операцій;

$$T_{\text{шт.-к.сер.}} = \frac{\sum T_{\text{шт.}}}{n}, \quad (2.4)$$

де n – кількість операцій;

$$\eta_{\partial.з.обл.сер.} = \frac{\sum_{s=1}^n \eta_{\partial.з.обл.i}}{n}. \quad (2.5)$$

$$\eta_{\partial.з.обл.сер.} = \frac{0,526 + 0,702 + 0,493 + 0,261 + 0,611}{6} = 0,432;$$

$$T_{\text{шт.-к.сер.}} = \frac{1,43 + 1,07 + 1,52 + 2,87 + 1,23}{6} = 2,44;$$

$$Q_{\partial.} = \frac{952}{2,44} \cdot 0,432 = 169 \text{шт.}$$

Оскільки добовий випуск виробів більший добової продуктивності поточної лінії, то застосовується поточна форма організації виробництва.

$$N_c > Q_c \cdot 0,6;$$

$$158 > 169 \cdot 0,6 = 101.$$

Отже форма організації виробництва потокова.

Якщо приймаємо поточну форму організації виробництва, то розраховуємо такт випуску виробів:

$$t_g = \frac{60 \cdot F_{\partial}}{N}, \quad (2.6)$$

де $F_{\partial} = 4055 \text{ год}$;

N – програма випуску.

$$t_g = \frac{60 \cdot 4055}{40000} = 6,08 \text{ хв.}$$

Отже, приймаємо багатосерійний тип виробництва з потоковою формою його організації.

2.2. Відпрацювання деталі на технологічність

Технологічність деталі оцінюють за двома основними показниками – якісним і кількісним [9].

Якісна оцінка технологічності

Деталь «Маточина» виготовляється зі сталі марки 35 шляхом зварювання двох заготовок, що зумовлює необхідність збільшення припусків на механічну обробку для компенсації похибок, спричинених зварюванням і можливими деформаціями. Для зняття зварювальних напружень передбачена додаткова операція відпалу, яка впливає на загальну трудомісткість виготовлення деталі.

Певну складність становить обробка внутрішніх поверхонь ($\phi 120 P7_{-0,059}^{-0,024}$, $\phi 125 P7_{-0,068}^{-0,028}$), які мають бути виготовлені в межах установлених допусків, з

відхиленням циліндричності не більше 0,02 мм та допустимим радіальним і торцевим биттям у межах 0,05 мм.

Додаткові труднощі можуть виникати під час обробки глухих різьбових отворів малого діаметра (М6–7Н). Основна складність полягає у відведенні стружки під час нарізування різі, що може призвести до поломки ріжучого інструменту (мітчика).

В інших аспектах деталь є досить технологічною: конструкція проста, дозволяє застосовувати високопродуктивні режими обробки, має зручні базові поверхні для виконання початкових операцій. Розташування отворів під кріплення (як різьбових, так і гладких) забезпечує можливість багатоінструментальної обробки та обробки на верстатах із ЧПК.

На рисунку 2.1 подано нумерацію всіх оброблюваних поверхонь деталі.

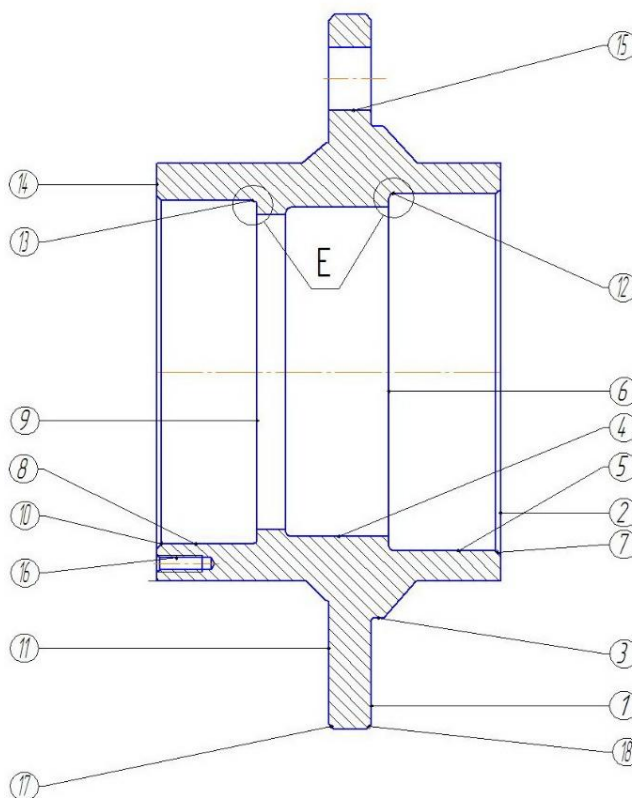


Рисунок 2.1 Оброблювані поверхні

Узагальнюючи результати якісного аналізу, можна зробити висновок, що деталь «Маточина» є технологічною та придатною для ефективного виготовлення в умовах серійного виробництва.

Кількісна оцінка технологічності

Кількісну оцінку технологічності проведемо за рядом показників: коефіцієнтами уніфікації, стандартизації, точності обробки поверхонь, якості обробки (шорсткості), а також коефіцієнтом використання матеріалу.

Основні показники технологічності деталі включають:

а) Обчислимо рівень технологічності виробу за трудомісткістю виготовлення деталі:

$$K_m = \frac{T_{\text{пр.}}}{T_{\text{б.в.}}} \quad (2.7)$$

де $T_{\text{пр.}}$ – проектного варіанту;

$T_{\text{б.в.}}$ – базового варіанту.

$$K_m = \frac{5,6 + 8,87}{15,09 + 8,87} = 0,60.$$

За трудомісткістю виробу він технологічний, тому що зниження трудомісткості становить 60 % > 25 %.

б) Визначимо рівень технологічності за технологічною собівартістю:

$$K_c = \frac{C_{\text{пр.}}}{C_{\text{б.}}} \quad (2.8)$$

де $C_{\text{пр.}}$ – проектної деталі;

$C_{\text{б.}}$ – базової деталі.

$$K_c = \frac{232,36}{497,14} = 0,47.$$

За показником собівартості виріб технологічний, тому що зниження собівартості становить 47 % > 25 %.

в) Коефіцієнт використання металу:

$$K_{в.} = \frac{m_{д.}}{m_{заг.}}, \quad (2.9)$$

де $m_{д.} = 9,67$ кг – маса деталі;

$m_{з.} = 12,84$ кг – маса заготовки.

$$K_{в.} = \frac{9,67}{12,84} = 0,75.$$

Додаткові показники технологічності деталі наведемо в таблиці 2.1:

г) Обчислимо коефіцієнт уніфікації виробу:

$$K_{ун.ел.} = \frac{Q_{ун.ел.}}{Q_{заг.ел.}}, \quad (2.10)$$

де $Q_{заг.ел.}$ – загальна кількість елементів;

$Q_{ун.ел.}$ – кількість уніфікованих елементів.

$$K_{ун.ел.} = \frac{19}{24} = 0,79.$$

За коефіцієнтом уніфікації деталь є технологічна, так як становить $K_{ун.ел.} > 0,6$.

д) Обчислимо коефіцієнт точності обробки:

Таблиця 2.1 – Аналіз деталі «Маточина»

Розміри	Поверхня	Квалітет точності, A_i	Шорсткість, $B_{сер.}$
$\phi 250$	–	14	80
$\phi 172h10$	–	10	6,3
$\phi 146$	–	14	80
$\phi 160_{-1}$	11	15	6,3
$\phi 120P7$	8	7	2,5
$\phi 125P7$	5	7	2,5
$\phi 115$	4	14	12,5
$\phi 110$	–	14	80
$\phi 22P9$	15	9	2,5
$120 \pm 0,7$	2; 14	15	6,3
35	9	14	2,5
$46h14$	6	14	2,5
6	1; 6	14	6,3
15	1; 11	14	6,3
10	9	14	12,5
19	16	14	12,5

$$K_{точ.} = 1 - \frac{1}{A_{сер.}}, \quad (2.11)$$

де $A_{сер.}$ – середній квалітет точності:

$$A_{сер.} = \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + 19n_{19}}{\sum n_i}, \quad (2.12)$$

де n_i – квалітети точності.

$$A_{сер.} = \frac{7 \cdot 2 + 9 \cdot 1 + 10 \cdot 1 + 14 \cdot 10 + 15 \cdot 2}{24} = 8,46,$$

$$K_{точ.} = 1 - \frac{1}{24} = 0,88.$$

За коефіцієнтом точності обробки деталь є технологічна, так як становить $K_{точ.} > 0,8$.

е) Обчислюємо коефіцієнт шорсткості поверхні:

$$K_{ш.} = \frac{1}{B_{сер.}}, \quad (2.13)$$

де $B_{сер.}$ – середня шорсткість поверхні деталі:

$$B_{сер.} = \frac{\sum B_i \cdot n_i}{\sum n_i}, \quad (2.14)$$

де n_i – кількість поверхонь i -го класу шорсткості.

$$B_{сер.} = \frac{2,5 \cdot 5 + 6,3 \cdot 5 + 12,5 \cdot 3 + 80 \cdot 3}{24} = 13,4,$$

$$K_{ш.} = \frac{1}{13,4} = 0,07.$$

За коефіцієнтом шорсткості деталь є технологічна, так як становить $K_{ш.} < 0,32$ [10].

За результатами розрахунків кількісної оцінки деталі можна зробити висновок, що деталь «Маточина» є технологічною.

2.3. Порівняльна характеристика базового та проектного варіантів технологічного процесу

Техніко-економічне обґрунтування оптимального варіанту заготовки, виготовленої методом штампування в закритому штампі на кривошипних гарячештампувальних пресах [11].

Маса заготовки в базовому варіанті визначається як сума маси заготовок деталей, що входять до складу вузла «Маточина» та виготовляються із сортового прокату, і маси зварних швів.

$$m_{зб.} = m_{вт.} + m_{фл.} + m_{зв.} \quad (2.15)$$

Деталь «Втулка» виготовляється з Труби 152×25 ДСТУ 8938:2019 $l = 132$ мм.

Маса деталі «Втулка»:

$$m_{вт.} = 5,65 \text{ кг},$$

Деталь «Фланець» виготовляється з Круга $\phi 250$ ДСТУ 7809:2015 $l = 30$ мм.

Маса деталі «Фланець»:

$$m_{фл.} = 11,52 \text{ кг}.$$

Зварювальний дріт Св-08Г2С ДСТУ EN ISO 14171:2015.

Маса зварювальних швів:

$$m_{зв.} = 0,49 + 0,27 = 0,76 \text{ кг}.$$

Маси заготовок і зварювальних швів розраховуємо за допомогою програми «Компас-3D V19»:

$$m_{зб.} = 5,65 + 11,52 + 0,76 = 17,93 \text{ кг}.$$

Коефіцієнт використання матеріалу за базовим варіантом становить:

$$m_{\partial.} = 9,67 \text{ кг};$$

$$K_{\text{в.м.}} = \frac{9,67}{17,93} = 0,54.$$

Вартість заготовки виготовлену з прокату можна орієнтовно визначити за формулою:

$$S_{\text{заг.1}} = m_{\text{з.}} \times S - (m_{\text{з.}} - m_{\partial.}) \times S_{\text{відх.}} \quad (2.16)$$

де $m_{\text{з.}}$ і $m_{\partial.}$ – маса заготовки та деталі, кг;

S – ціна 1 кг прокату;

$S_{\text{відх.}}$ – ціна за 1 кг відходів виробництва.

Вартість 1 тони прокату становить 18000 грн.

Вартість 1 тони відходів становить 4000 грн.

Вартість заготовки за базовим варіантом буде складати:

$$S_{\text{заг.1}} = 17,93 \times 18 - (17,93 - 9,67) \times 4 = 289,7 \text{ грн.}$$

Дані витрати на попередню механічну обробку заготовок можна прийняти як 7 % від вартості заготовки. Собівартість базового варіанту заготовки маточини становитиме:

$$C_1 = 1,07 \cdot S_{\text{заг.}} \quad (2.17)$$

$$C_1 = 1,07 \times 289,7 = 309,98 \text{ грн.}$$

Маса заготовки (гаряча штамповка) проектного варіанту становить 14,25 кг.

Коефіцієнт використання матеріалу проектного варіанту:

$$K_{в.м.пр.} = \frac{9,67}{14,25} = 0,68.$$

Вартість штампованої заготовки можна визначити як:

$$S_{заг.2} = S \cdot m_з. \cdot k_c \cdot \left(\frac{5000}{N} \right)^{0,15} \cdot k_m \cdot k_в, \quad (2.18)$$

де S – вартість 1 кг штамповки;

k_c – коефіцієнт складності становить від 1,15 до 1,25;

N – річний обсяг виробництва заготовок, шт.;

k_m – коефіцієнт матеріалу від 0,9 до 1,04;

$k_в$ – коефіцієнт маси заготовки до 60 кг становить 0,9.

Вартість 1 тони штампованих поковок становить 21000 грн.

В другому методі вартість однієї заготовки складе:

$$S_{заг.2} = 21 \times 14,25 \times 1,1 \times \left(\frac{5000}{40000} \right)^{0,15} \times 1,0 \times 0,9 = 219,23 \text{ грн}.$$

Собівартість із врахуванням відходів складатиме:

$$C_2 = S_{заг.} + (m_з. - m_в.) \times S_{відх.} \quad (2.19)$$

$$C_2 = 219,23 + (14,25 - 9,67) \cdot 4 = 237,55 \text{ грн}.$$

Порівняльна характеристика двох методів виготовлення заготовок наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика виготовлення заготовок

Показники	Зварна заготовка	Гаряча штамповка
Маса заготовки, кг	17,93	14,25
$K_{в.м.}$	0,54	0,68
1 тонна матеріалу, грн.	18000	21000
1 тонна стружки, грн.	4000	4000
Собівартість, грн.	309,98	237,55

Виконуємо порівняльну характеристику двох методів отримання заготовок та обчислюємо економію металу за рік:

$$E_{м.} = (m_{з.1} - m_{з.2}) \times N \quad (2.20)$$

де $m_{з.1}$ і $m_{з.2}$ – маса заготовок методом зварювання і гарячим штампуванням відповідно;

N – річний обсяг випуску продукції.

$$E_{м.} = (17,93 - 14,25) \times 40000 = 147200 \text{ кг}.$$

Річний економічний ефект виготовлення заготовки:

$$E_{ек.еф.} = (S_{заг.м.} - S_{заг.в.}) \times N \quad (2.21)$$

$$E_{ек.еф.} = (289,7 - 219,23) \times 40000 = 2818800 \text{ грн}.$$

Порівнюючи метод зварювання та метод гарячого штампування заготовок, виберемо другий проектний.

2.4. Вибір та обґрунтування технологічних баз

Вибір технологічних баз і обґрунтування їх застосування є одним із найскладніших етапів під час проектування технологічного процесу. Розроблення маршруту обробки та визначення баз слід виконувати одночасно [12].

На першій операції обробляють ті поверхні, які надалі слугуватимуть базовими. Після виконання першої операції базування проводять уже по обробленій поверхні. Усі поверхні, що підлягають обробці, позначаються лініями більшої товщини.

Послідовність технологічного процесу механічної обробки за операціями подано в таблиці 2.3.

Операції 005 і 010 Токарна

На перших операціях виконують обробку основних базових поверхонь, щоб надалі використовувати їх як технологічні бази. У нашому випадку під час першої операції технологічною базою служать зовнішня циліндрична поверхня та торець великого фланця. Від цієї бази обробляються поверхні 1, 3 і 5, які згодом застосовуються як технологічні бази на наступних етапах.

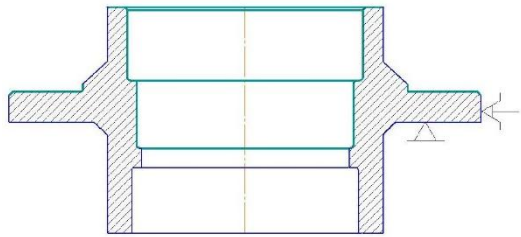
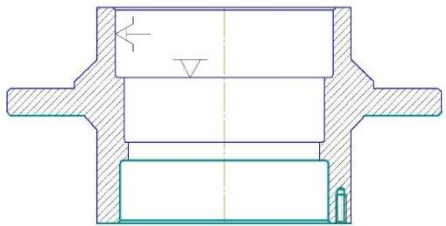
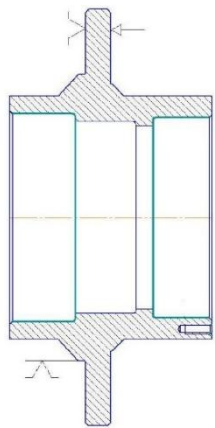
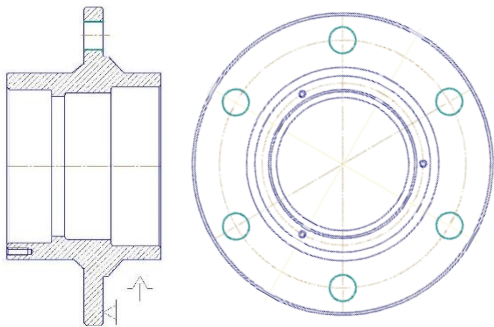
Устаткування.

Для виконання зазначених операцій обираємо сучасний двошпindelний вертикальний обробний центр Hessapp DVT-450 з ЧПК, який дає змогу об'єднати обидві токарні операції на одному верстаті. Крім того, це устаткування дозволяє виконувати й свердлильні переходи. Таким чином скорочується підготовчо-завершальний час, пов'язаний з переналагодженням деталі між різними верстатами, підвищується точність обробки, оскільки багато поверхонь виготовляються за мінімальної кількості установок.

Оснащення.

Для автоматичного закріплення деталі застосовуються механізовані токарні патрони Poreba Standart, Ø250 мм.

Таблиця 2.3 – Технологічний процес механічної обробки

№ та операція	Ескіз	Обладнання	Обробка
005 Токарна		Верстат токарний Hessapp DVT-450	Підрізати торці 1 і 2 Точити 3 Розточити 4, 5, 6, 7, 12
010 Токарна		Верстат токарний Hessapp DVT-450	Підрізати торці 11, 14 Розточити 8, 9, 10, 13 Свердлити 3 отвори 16, нарізати різь
015 Алмазно-розточувальна		Верстат алмазно-розточувальний ОС 0101	Розточити отвори 8 і 5
025 Свердлильна з ЧПК		Свердлильний СС 2157	Свердлити 6 отворів 15

Операція 015 «Алмазно-розточувальна»

Під час розроблення технологічного процесу для цієї операції замінюємо пристосування з ручним затиском на пристосування з пневматичним затиском.

Це дає змогу зменшити частку ручної праці та, відповідно, знизити трудомісткість. Інші елементи базової технології залишаються без змін.

Устаткування – алмазно-розточувальний верстат ОС 0101.

Оснащення – установче пристосування з пневматичним затиском.

Технологічними базами є поверхні 1 і 3, оброблені на першій операції.

Операція 025 Свердлильна

Ця операція зберігається у базовому вигляді, оскільки передбачає використання багатолезового та комбінованого інструменту, що забезпечує отримання точних отворів за один робочий хід.

Устаткування – спеціальний свердлильний верстат СС 2157.

Оснащення – установче пристосування та шестишпindelна головка.

Як технологічні бази обираємо поверхні 1 і 5. Хоча для обробки шести отворів 22Н9 конструкторською базою визначено поверхню 3 її обробляють за один установ разом із поверхнею 5, а допуск розташування отворів відносно неї (R 0,2) легко виконується. Тому можливим і доцільним є використання поверхні 5 як технологічної бази.

2.5. Нормування технологічного процесу

В залежності від організаційної форми виробництва виконуємо нормування технологічного процесу [13].

Для багатосерійного виробництва деталей розраховуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = \frac{T_{н.з.}}{n} + T_{шт.}, \quad (2.22)$$

де $T_{н.з.}$ – підготовчо-заключний час, год;

$T_{шт.} = T_{о.} + T_{д.} + T_{об.} + T_{відн.}$ – штучний час, год;

n – кількість деталей у партії, шт.

Операційний час для токарно-гвинторізної операції 005 становить
 $T_o = 1,35 \text{ хв.}$

Допоміжний час визначимо за даною формулою:

$$T_{Д} = T_{уст.} + T_{упр.} + T_{вим.} \quad (2.23)$$

де $T_{уст.} = 0,22 \text{ хв}$ – установка і зняття деталі;

$T_{вим.} = 0,18 \text{ хв}$ – вимірювання деталі;

$T_{упр.} = 0,26 \text{ хв}$ – керування верстатом.

$$T_{Д} = 0,22 + 0,26 + 0,18 = 0,66 \text{ хв.}$$

Оперативний час $T_{он.}$ визначаємо за формулою:

$$T_{он.} = T_{Д.} + T_o \quad (2.24)$$

$$T_{он.} = 0,66 + 1,35 = 2,01 \text{ хв.}$$

Загальний час на обслуговування робочого місця і відпочинок у багатосерійному виробництві:

$$T_{об.від.} = \frac{T_{он.} \cdot П_{об.від.}}{100} \quad (2.25)$$

$П_{об.від.} = 55$ – висота центрів до 5500мм.

$$T_{об.від.} = \frac{2,01 \cdot 55}{100} = 1,1 \text{ хв.}$$

Штучний час буде дорівнювати:

$$T_{шт.} = 1,35 + 0,66 + 2,01 + 1,1 = 5,12 \text{ хв.}$$

Визначимо підготовчо-заклучний час:

$$T_{п.з.} = 13,75 \text{ хв.}$$

$n = 100$ – кількість деталей у партії.

Визначимо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = \frac{13,75}{100} + 5,12 = 5,26 \text{ хв.}$$

Розрахунки для інших операцій виконуємо аналогічним шляхом та заносимо у таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Нормування технологічного процесу

№ Операції	$T_o, \text{ хв}$	$T_d, \text{ хв.}$			$T_{оп}, \text{ хв}$	$T_{об.від}, \text{ хв}$	$T_{шт.}, \text{ хв}$	$T_{шт-к}, \text{ хв}$
		$T_{уст.}$	$T_{вим.}$	$T_{упр.}$				
005	1,35	0,22	0,26	0,18	2,01	1,1	5,12	5,26
010	1,29	0,22	0,59	0,78	2,72	1,1	5,79	5,85
015	–	–	–	–	–	–	2,23	2,26
020	–	–	–	–	–	–	1,17	1,21
025	4,0	0,22	0,56	4,94	4,94	1,1	10,72	10,83

Висновок до Розділу 2. У результаті виконання технологічної частини було проведено комплексний аналіз виробничої програми, визначено тип і організаційну форму виробництва, а також здійснено оцінку технологічності деталі «Маточина». Встановлено, що за річної програми випуску 40 000 шт. та розрахованих коефіцієнтів закріплення операцій виробництво доцільно

організувати як багатосерійне з потоковою формою. Це забезпечує оптимальне використання обладнання та дає змогу досягти високої продуктивності.

На основі якісного та кількісного аналізу підтверджено, що деталь є технологічною, оскільки має просту та раціональну конструкцію, можливість використання типового оснащення, високий коефіцієнт стандартизації та задовільні показники точності й шорсткості поверхонь. Додаткові розрахунки свідчать про високу ефективність застосування штампованої заготовки, яка забезпечує зменшення трудомісткості, підвищення коефіцієнта використання матеріалу та зниження собівартості виготовлення.

У ході порівняння базового й проектного варіантів технологічного процесу встановлено, що запропонований проектний варіант є економічно більш ефективним: він характеризується меншими витратами матеріалу, нижчою собівартістю заготовки та скороченням операційної трудомісткості. Обґрунтовано вибір технологічних баз, що забезпечують високу точність взаємного розташування поверхонь та стабільність геометричних параметрів під час механічної обробки.

Таким чином, проведений аналіз демонструє, що проектний технологічний процес є технічно доцільним та дозволяє підвищити ефективність виготовлення деталі «Маточина», забезпечуючи необхідну якість і точність при мінімізації витрат.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1. Проектування технологічного оснащення

Для встановлення та кріплення деталі на механічну обробку операції 015 «Алмазно-розточувальна» при розточуванні отворів $\phi 125P7_{-0,028}^{-0,068}$ й $\phi 120P7_{-0,024}^{-0,059}$ застосовують алмазно-розточувальний верстат ОС 0101 (рис. 3.1) [14].

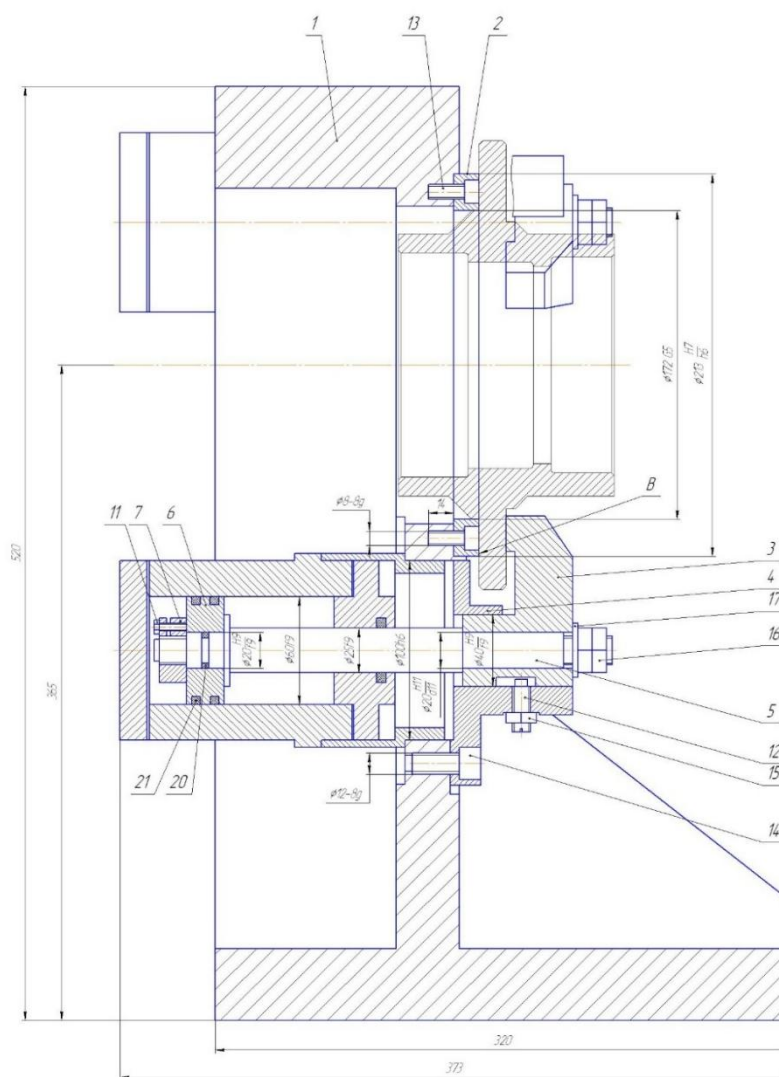


Рисунок 3.1 Алмазно-розточувальний верстат ОС 0101

Верстат складається з таких деталей: корпус *1*, кільце базове *2*, прихват *3* (3 шт.), втулка *4* (3 шт.), шток *5* (3 шт.), поршень *6* (3 шт.), гайка *7* (3 шт.); стандартні вироби *11-21*.

Корпус *1* – це зварна конструкція в якій в отвір $\phi 213H7$ встановлюється деталь кільце базове позиції *2* та кріпиться гвинтами *13* (6 шт.).

Точний отвір $\phi 172G5$ має базове кільце та служить головною базою при механічній обробці деталі.

За зовнішнім діаметром $\phi 172h10_{-0,16}$ встановлюється оброблювана деталь в отвір кільця позиції *2* та впирається в торець рис. 3.2.

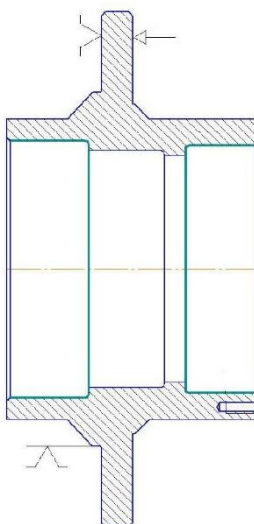


Рисунок 3.2 Схема установки

Фіксацію деталі здійснюють за допомогою захвату *3*, який приводиться в дію пневматичним приводом, сформованим із трьох пневмоциліндрів, інтегрованих у корпус *1* [15].

Максимальна похибка базування під час встановлення деталі в отвір на позиції *2* базового кільця дорівнює половині суми допусків на установчу та спряжену поверхні деталі.

Допуск деталі $\phi 172h10_{(-0,16)}$, отвору $\phi 172G5_{\left(\begin{smallmatrix} +0,032 \\ +0,014 \end{smallmatrix}\right)}$.

$$\Delta \varepsilon_{\phi} = 0,5 \times 0,16 + 0,5 (0,032 - 0,014) = 0,89 \text{ мм.}$$

3.2. Проектування контрольного пристрою

Для вимірювання діаметрів отворів $\phi 120_{-0,059}^{-0,024}$ й $\phi 125_{-0,068}^{-0,028}$ деталі «Маточина» застосовують індикаторний нутромір моделі НІ-160М за ДСТУ 862-92, що має діапазон 100–160 мм, належить до 1-го класу точності та характеризується ціною поділки індикатора 0,01 мм [16].

Нутромір вставляють у повірочний отвір згідно з рисунком 3.3 і, злегка похитуючи прилад, фіксують найбільше відхилення стрілки індикатора. Різниця між цим максимальним значенням і початковим нульовим відліком показує відхилення фактичного розміру від заданого.

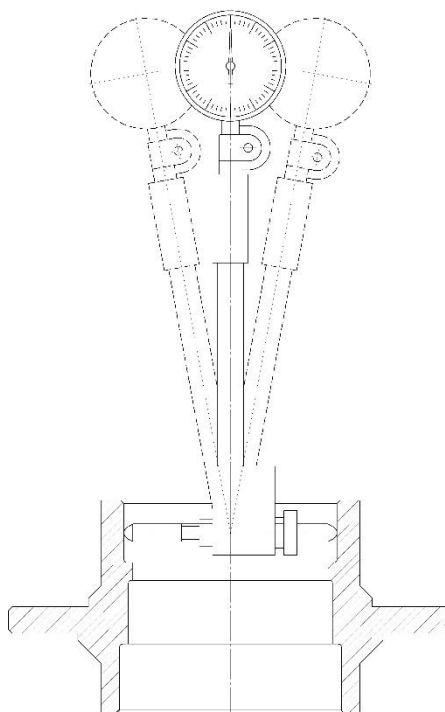


Рисунок 3.3 Схема вимірювання

Під час вимірювання діаметра отворів індикаторними нутроміра виникають похибки, пов'язані з особливостями приладу, температурними деформаціями, нестабільністю показань, неточним суміщенням вимірювальної лінії з діаметром у площині, перпендикулярній осі отвору та в осьовій площині, похибками встановлення нутроміра на потрібний розмір, а також через шорсткість поверхні контрольованого отвору.

Температурні похибки нутромірів визначають з урахуванням рекомендацій і нормативних даних для оптимальних умов вимірювання. Найчастіше ці умови порушуються тоді, коли прилад тримають не за теплоізоляційну ручку, а за корпус – у цьому випадку температурні показники значно перевищують розрахункові.

Похибка, що виникає через несуміщення вимірювальної лінії з діаметром у площині, перпендикулярній осі отвору, дорівнює похибці центрування, спричиненій неправильним розміщенням центру містка.

Центрувальна похибка залежить від співвісності вимірювальних стрижнів нутроміра, тому необхідно контролювати співвісність усіх змінних стрижнів. Таку перевірку можна виконати шляхом перестановки нутроміра з блока кінцевих поділок у кільце з таким самим початковим розміром.

Для підвищення зручності вимірювань у запропонованому технологічному процесі виготовлення деталі «Маточина» передбачено модернізацію нутроміра НІ-160М, що подана у графічній частині кваліфікаційної роботи й передбачає укорочення трубки позиції 6 відповідно до рисунка 3.3

Висновок до Розділу 3. Обґрунтовано вибір верстатного пристрою для закріплення деталі «Маточина», який за допомогою трьох пневмоциліндрів забезпечує надійну фіксацію та мінімальні похибки базування. Також визначено оптимальні засоби контролю діаметрів отворів – індикаторний нутромір НІ-160М, проаналізовано основні джерела похибок вимірювань і запропоновано його удосконалення для підвищення точності та зручності використання.

РОЗДІЛ 4

НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1. Аналіз сучасних технологічних рішень у сфері вертикально-токарної обробки

На сьогодні німецька компанія Hessapp посідає провідні позиції у виробництві вертикальних токарних верстатів. Лінійка обладнання включає одно- та двошпindelні моделі, що забезпечує двосторонню обробку деталей, знижує втрати часу та підвищує продуктивність. Верстати Hessapp розраховані на інтенсивні режими роботи, а завдяки інноваційним рішенням – автоматичному завантаженню, лініям серії DV і потужним приводам – дозволяють ефективно організувати виробництво [17].

Обладнання Hessapp, яке входить до групи компаній MAG IAS, охоплює широкий спектр токарних верстатів. Це дає змогу підібрати оптимальні варіанти для різних галузей металообробки, зокрема машинобудування, автомобільної та авіаційної промисловості.

Hessapp зробила значний крок уперед у розвитку токарної обробки, представивши вертикальний токарний центр DVT із двома шпинделями та автоматичною системою подачі. Модель DVT 450 (рис. 4.1) має нові технічні характеристики та дозволяє виконувати двосторонню обробку без використання маніпулятора чи додаткових переналагоджень [18].



Рисунок 4.1 Вертикальний двошпindelний токарний обробний центр Hessapp DVT 450

Це обладнання застосовують для комплексної одноустановочної обробки таких деталей, як:

- маточина переднього колеса;
- маточина заднього колеса.

4.2. Дослідження ефективності застосування високотехнологічних обробних центрів у виробництві деталей зчеплення

Всесвітньо відома компанія Valeo використовує низку вертикальних токарних верстатів MAG Hessapp для виробництва дисків зчеплення. Запатентована система транспортування заготовок забезпечує високу точність двосторонньої обробки [19].

Вибір цього обладнання був зумовлений кількома факторами: високою надійністю, довговічністю, стабільною точністю, а також зручністю навчання персоналу та компетентністю спеціалістів, які впроваджують нові проекти.

Спочатку заготовки вручну укладають на конвеєр. Механічний пристрій подає їх у зону підйому, де деталь фіксується верхнім шпинделем і передається в робочу зону. Спочатку заготовка орієнтується по осі С, що дає системі керування інформацію про її положення та дозволяє точно позиціонувати для свердління, різання різьби та інших операцій.

На першій операції обробляють площину тиску та внутрішній борт вижимного диска. Далі деталь автоматично переноситься до нижнього шпинделя у другу робочу зону (рис. 4.2). Патентований принцип перенесення гарантує високоточне позиціонування, що забезпечує точність двосторонньої обробки, недосяжну при звичайних переналагодженнях.

Під час другої операції обробляють кулачки та чотири площини повідка, у яких додатково свердлять отвори та нарізають різь. Після завершення цикл завершується передачею готової деталі на вихідний конвеєр.

Компанія Valeo інвестувала у впровадження DVH 450, щоб автоматизувати складний і затратний ручний процес встановлення та зняття деформованих заготовок. Спільними зусиллями фахівців Valeo та інженерів MAG Hessapp було створено високотехнологічне рішення, яке забезпечило повністю автоматизовану обробку таких деталей (рис. 4.3).



Рисунок 4.2 Точне перенесення деталі в DVT 450 від
MAG Hessapp між шпинделями



Рисунок 4.3 Автоматичне завантаження й
розвантаження як основа високої надійності процесу

Завдяки цьому підхід став значно економним, а обслуговування змінного блоку верстата – зручнішим. Персонал Valeo тепер може виконувати всі необхідні операції за стандартною методикою, як і при виробництві вижимних дисків.

Висновок до Розділу 4. У результаті дослідження встановлено, що сучасні вертикально-токарні обробні центри, зокрема обладнання Hessapp, забезпечують значне підвищення точності, продуктивності та стабільності обробки корпусних деталей. Двошпindelні верстати та автоматизовані системи подачі істотно скорочують час виробництва й кількість установ, що робить їх ефективними для багатосерійного виготовлення.

РОЗДІЛ 5

ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

5.1. Уточнення виробництва для проектного варіанту технології

По фактичній трудомісткості уточнюємо тип виробництва [20]. Визначаємо розрахункову кількість обладнання, необхідну для виконання кожної операції:

$$m_p = \frac{N \cdot T_{ш-к}}{60 \cdot F_{\delta} \cdot \eta_{з.н.}}, \quad (5.1)$$

де N – річна програма випуску, шт.;

$T_{ш-к}$ – штучно-калькуляційний час;

F_{δ} – дійсний річний фонд роботи обладнання ($F_{\delta}=4055 \text{ год}$);

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

Обчислення проводимо для операції 010, а для всіх інших операцій розрахунки наведені в таблиці 5.1.

$$m_p = \frac{40000 \cdot 2,4}{60 \cdot 4055 \cdot 0,75} = 0,526; \quad P = 1;$$

Обчислюємо фактичний коефіцієнт завантаження обладнання:

$$\eta_{з.ф.} = \frac{m}{P}. \quad (5.2)$$

$$\eta_{з.ф.} = \frac{0,526}{1} = 0,526;$$

Обчислюємо кількість операцій:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (5.3)$$

$$O = \frac{0,75}{0,526} = 1,43;$$

Всі розрахунки для інших операцій зводимо в таблицю 5.1, сумуючи в кінці “О” і “Р”.

Таблиця 5.1 – Визначення кількості верстатів та операцій

Операція	$T_{ш-к}$	m_p	Р	$\eta_{з.ф.}$	О
005	2,4	0,526	1	0,526	1,43
010	3,2	0,701	1	0,701	1,07
015	2,25	0,493	1	0,493	1,52
020	1,19	0,261	1	0,261	2,87
025	5,57	1,221	2	0,611	1,23

$$\sum O = 1,43 + 1,07 + 1,52 + 2,87 + 1,23 = 8,12;$$

$$\sum P = 1 + 1 + 1 + 1 + 2 = 6.$$

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операцій:

$$K_{з.о.} = \frac{\sum O}{\sum P}, \quad (5.4)$$

$$K_{з.о.} = \frac{8,12}{6} = 1,35.$$

Оскільки $0 \leq K_{з.о.} = 1,35 \leq 10$, то приймаємо великосерійний тип виробництва.

5.2. Проектний розрахунок виробничої площі цеху

Під час загального розрахунку виробничої площі ділянки застосовують питомі показники площі, що припадають на одиницю обладнання, одне робоче місце або одного працівника [21].

У проєктованому механічному цеху з виготовлення деталей для тракторних причепів передбачається випуск таких найменувань деталей:

Маточина $T_{ум.} = 0,24 \text{ год}$, $Q = 40000 \text{ шт.}$

Барабан гальмівний $T_{ум.} = 0,15 \text{ год}$, $Q = 40000 \text{ шт.}$

Петля для зщеплення $T_{ум.} = 0,46 \text{ год}$, $Q = 7500 \text{ шт.}$

Кулак розжимний $T_{ум.} = 0,36 \text{ год}$, $Q = 40000 \text{ шт.}$

Кількість обладнання на ділянці виробництва «Маточина».

Початкові дані:

$Q = 40000 \text{ шт.}$ – річний випуск виробів; 1-на зміна.

Розрахунок кількості основного обладнання цеху здійснюється на основі визначення річної трудомісткості обробки деталі та фактичного фонду робочого часу обладнання за прийнятої кількості змін [22].

Потреба у верстатах для i -ої операції визначається за формулою:

$$C_i = \frac{T_{\Sigma i}}{\Phi_0 \cdot K_{вн}}, \quad (5.5)$$

де $T_{\Sigma i}$ – загальний нормований час, необхідний для виконання річної програми обробки на верстатах, год;

$$T_{\Sigma i} = N \cdot T_{ум-к}, \quad (5.6)$$

де N – річний обсяг випуску деталі, $N = 40000 \text{ шт.}$;

$T_{шт-к}$ – штучно-калькуляційний час i -ої операції, потрібний для обробки однієї деталі на верстатах відповідного типу, год;

Φ_d – фактичний річний фонд роботи обладнання, який визначають залежно від кількості змін та типу обладнання; для однозмінного режиму роботи верстатів масою до 10 т приймаємо $\Phi_d = 2040$ год.

Коефіцієнт нормування – $K_{ен.} = 1,1-1,3$;

Приймаємо $K_{ен.} = 1,2$.

$$T_{005+010} = 40000 \times \frac{2,4+3,2}{60} = 3733 \text{ год};$$

$$T_{015} = 40000 \times \frac{2,25}{60} = 1500 \text{ год};$$

$$T_{020} = 40000 \times \frac{1,19}{60} = 793 \text{ год};$$

$$T_{025} = 40000 \times \frac{5,57}{60} = 3713 \text{ год}.$$

Необхідна кількість верстатів за операціями:

$$C_{005+010} = \frac{3733}{2040 \cdot 1,2} = 1,53; \quad C_{np005} = 2;$$

$$C_{015} = \frac{1500}{2040 \cdot 1,2} = 0,61; \quad C_{np015} = 1;$$

$$C_{020} = \frac{793}{2040 \cdot 1,2} = 0,32; \quad C_{np020} = 1;$$

$$C_{025} = \frac{3713}{2040 \cdot 1,2} = 1,52; \quad C_{np025} = 2;$$

Коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{zi} = \frac{C_i}{C_{нpi}} \quad (5.7)$$

$$K_{z005+010} = \frac{1,53}{2} = 0,77;$$

$$K_{z015} = \frac{0,61}{1} = 0,61;$$

$$K_{z020} = \frac{0,32}{1} = 0,32;$$

$$K_{z025} = \frac{1,52}{2} = 0,76.$$

Середній коефіцієнт завантаження обладнання:

$$K_{z\text{сер.}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{zi}}{n}, \quad (5.8)$$

де n – загальна кількість верстатів,

$$K_{z\text{сер.}} = \frac{2 \cdot 0,77 + 0,61 + 0,32 + 2 \cdot 0,76}{6} = 0,67.$$

Розрахунок кількості обладнання по операціях наведено в таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 – Розрахунок кількості обладнання

Найменування операції	$T_{шт-к_i}$, хв	$T_{\sum i}$, ч	C_i	C_{inp}	k_{zi}
005 Токарна	2,4	3733	1,53	2	0,77
010 Токарна	3,2				
015 Алмазно-розточувальна	2,25	1500	0,61	1	0,61
020 Збиральна	1,19	793	0,32	1	0,32
025 Свердлильна	5,57	3713	1,52	2	0,76
Всього:				6	$K_{z\text{сер.}}=0,67$

Згідно з розрахунками, основне обладнання діляниці не завантажене повністю, тому слід прийняти середнє значення коефіцієнта завантаження $K_{z\text{сер}} = 0,75$ [23]. Обраний коефіцієнт враховує можливість додаткового завантаження устаткування деталями з номенклатури деталі-представника, що мають аналогічні операції механічної обробки.

5.3. Доцільність впровадження проектних рішень у виробництво

У сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі особливе значення має підвищення ефективності виробництва, зменшення собівартості продукції, забезпечення стабільної якості та надійності деталей. У зв'язку з цим впровадження прогресивних технологічних процесів і сучасного високопродуктивного обладнання є одним із найважливіших напрямів модернізації виробництва. У даній кваліфікаційній роботі магістра запропоновано вдосконалення технології виготовлення деталі «Маточина 85101С-3205021.1» шляхом переходу від зварної заготовки до заготовки, отриманої методом гарячого штампування, а також застосування високотехнологічного обладнання – вертикального двошпиндельного токарного центру HESSAPP DVT-450 та автоматизованих пристроїв [24].

Перелік доцільності впровадження проектних рішень у виробництво.

1. Оптимізація способу отримання заготовки.

Аналіз базової технології показав, що використання зварної заготовки, яка складається з двох деталей (втулки та фланця), має ряд суттєвих недоліків: велика трудомісткість, необхідність додаткових операцій зварювання й термообробки, значні припуски та підвищена собівартість.

Запропонована заготовка, отримана методом гарячого штампування у закритому штампі, дозволяє:

- зменшити масу заготовки з 17,93 до 14,25 кг;
- підвищити коефіцієнт використання матеріалу з 0,54 до 0,68;
- знизити собівартість однієї заготовки з 276,03 грн до 223,81 грн;
- підвищити точність початкової геометрії, що зменшує припуски й скорочує об'єм механічної обробки.

Розрахунок річної економії матеріалу та вартості підтвердив економічну доцільність переходу на штамповану заготовку. Річний економічний ефект

перевищує 146 тис. грн, що робить запропонований метод технічно та економічно виправданим.

2. Удосконалення технологічного процесу механічної обробки.

Суттєве підвищення ефективності процесу досягається шляхом:

- об'єднання двох токарних операцій в одну завдяки застосуванню двошпindelного вертикального токарного центру Hessapp;
- переходу на автоматизоване базування та закріплення (механізовані патрони Poreba Standart, пневмозатискачі);
- скорочення кількості установ;
- зменшення сумарної похибки обробки та росту стабільності якості.

Застосування такого високопродуктивного обладнання дозволяє виконувати двосторонню обробку без переналагодження та без ручного переустановлення деталі, що значно підвищує точність виготовлення.

3. Впровадження автоматизації та ЧПК-керування [22].

Переваги інтеграції ЧПК:

- можливість роботи з комбінованими інструментами;
- автоматичне програмне позиціонування;
- скорочення підготовчо-завершального часу;
- зменшення впливу людського фактора;
- підвищення стабільності формоутворення поверхонь.

Верстати Hessapp обладнані системою Siemens Sinumerik 840D, що забезпечує високу точність та технологічну гнучкість.

Переваги впровадження проектного рішення.

1. Зниження собівартості деталі:

- економія матеріалу;
- усунення зварювальних і термічних операцій;
- скорочення часу механічної обробки.

2. Підвищення продуктивності:

- одночасна обробка двох сторін деталі;

- зменшення кількості операцій та установ;
 - прискорення виробничого циклу.
3. Поліпшення точності та якості:
 - мінімізація похибок через відсутність зварювання;
 - стабільність розмірів завдяки ЧПК та автоматизованим пристроям;
 - краща геометрія штампованої заготовки.
 4. Підвищення надійності та довговічності деталі:
 - відсутність зварного шва усуває концентрацію напружень;
 - штампування формує покращену структуру металу.
 5. Ергономіка та безпека виробництва:
 - зменшення рівня шуму та вібрацій;
 - зниження ручних операцій монтажу-демонтажу;
 - менше ризиків травматизму.
 6. Можливість інтеграції в гнучкі виробничі системи:
 - обладнання підходить для автоматичних ліній;
 - можливе застосування роботизованої подачі.

Недоліки впровадження проектного рішення.

1. Висока вартість придбання обладнання (верстати Hessapp – технологічно складні та дорогі, що потребує значних капіталовкладень).
2. Необхідність високої кваліфікації персоналу (потрібні оператори, які володіють навичками роботи з ЧПК, програмуванням та сервісним обслуговуванням).
3. Витрати на виготовлення штампового оснащення (закритий штамп вимагає індивідуального виготовлення, що є ресурсоємним на старті виробництва).
4. Підвищені вимоги до планування виробництва (для максимального ефекту обладнання повинно працювати у багатосерійному або масовому виробництві).

Висновок до Розділу 5. Запропоновані технічні рішення – перехід до штампованої заготовки, удосконалення технологічного процесу та впровадження сучасного обладнання Hessapp є повністю обґрунтованими та економічно ефективними. Вони забезпечують: скорочення собівартості деталі; підвищення продуктивності виробництва; покращення точності та якості готової продукції; зростання надійності та довговічності деталі «Маточина»; відповідність сучасним стандартам технологічності та автоматизації.

З урахуванням отриманих розрахунків і детального техніко-економічного аналізу, впровадження запропонованих проектних рішень у виробничий процес є доцільним та перспективним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи було комплексно досліджено технологічний процес виготовлення корпусної деталі «Маточина» 85101С-3205021.1, проведено техніко-економічне обґрунтування вибору заготовки, удосконалено маршрут механічної обробки та спроектовано доцільну структуру механічного цеху.

На основі порівняння базового та проектного варіантів доведено, що перехід від зварної до штампованої заготовки є технічно та економічно доцільним. Штампування у закритому штампі дозволяє зменшити масу і собівартість заготовки, підвищити коефіцієнт використання матеріалу, покращити структуру металу та скоротити трудомісткість механічної обробки.

Запропонований удосконалений технологічний процес, реалізований на високопродуктивному двошпиндельному обладнанні Hessapp, який забезпечує зменшення кількості установ, стабільність геометричних параметрів, підвищення точності та продуктивності. Автоматизовані системи подачі та затиску мінімізують вплив людського фактору і покращують повторюваність виготовлення деталей.

Виконані дослідження підтверджують, що розроблені у роботі техніко-технологічні рішення можуть бути впроваджені під час модернізації діючих механічних цехів машинобудівних підприємств. Вони забезпечують підвищення якості та надійності виготовлення корпусних деталей, узгоджуються з сучасними тенденціями цифровізації та автоматизації виробництва й сприяють підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

Отже, цілі магістерської роботи досягнуті повністю, а отримані результати мають як практичне, так і наукове значення та можуть бути використані для подальшого вдосконалення технологічних процесів механічної обробки деталей типу «Маточина».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2651:2005 Сталь вуглецева звичайної якості. Марки. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=41616
2. ДСТУ 3761.2-98 Зварювання та споріднені процеси. Частина 2. Процеси зварювання та паяння. Терміни та визначення. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=55087
3. Захаркін О.У. Технологічні основи машинобудування: навч.-мет. посібник. Суми: Вид-во СумДУ, 2004. 98 с.
4. Руденко П.О. Проектування технологічних процесів у машинобудуванні: навч. посібник. К.: Вища школа, 1993. 414 с.
5. Дерібо О.В., Дусанюк Ж.П., Пурдик В.П. Технологія машинобудування. Курсове проектування: навч. посібник. Вінниця, ВНТУ, 2013. 120 с.
6. ДСТУ 9182:2022 Поковки з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені куванням на пресах. Припуски і допуски.
7. ДСТУ 2960-94 Організація промислового виробництва. Основні поняття. Терміни та визначення.
8. Назаренко І.І., Свідерський А.Т., Рибалко Р.І., Дєдов О.П. Основи технології машинобудування: навчальний посібник. К.: КДТУБА, 2010. 165 с.
9. Кодра Ю.В., Стоцько З.А. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: навчальний посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2004. 468 с.
10. Кузнєцов 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. Батюк Д. Аналіз гідравлічних штампувальних пресів. Тези І студентської науково-технічної конференції факультету транспорту та механічної інженерії “ Інноваційні технології в транспорті та механічній інженерії ”. Луцьк: ЛНТУ 2021. С. 9-11. – Науковий керівник – к.т.н., доцент Гулієва Н.М.

15. 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.

16. 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.

17. Бурек Я., Стоцько З.А., Гурей І.В. Верстатне обладнання: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2014. 168 с.

18. 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. 170-173.

19. Сологуб М.А. Технологія конструкційних матеріалів / [Сологуб М.А., Рожнецький І.О., Нікоз О.І. та ін.]. Київ: Вища школа, 2002. 134 с.

20. 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.

21. Джур. Є.О., Бондаренко О.В. Проектування машинобудівних заводів та цехів. Загальна частина: навч. посіб. Д.: «Інновація», 2011. 109 с.

22. Гальчук Т.Н. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: методичні вказівки для практичних занять для студентів напряму підготовки 6.050502 «Інженерна механіка» денної та заочної форм навчання / Т.Н. Гальчук. Луцьк: ЛНТУ, 2011. 64 с.

23. Когут М.С. Механоскладальні цехи та дільниці у машинобудуванні: підручн. для студ. вищ. закл. освіти спец. «Технологія машинобудування». Л.: Держ. ун-т «Львівська політехніка», 2000. 352 с.

24. Механоскладальні дільниці та цехи в машинобудуванні: практикум / [Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Савуляк В. В., Сердюк О. В.] Вінниця : ВНТУ, 2016. 148 с.

25. Обладнання автоматизованого виробництва. навч. посібник / [під ред. Р.І. Сіліна]. Львів: Виробництво державного університету «Львівська політехніка», 2000. 380 с.

ДОДАТКИ