

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва деталі «Вал-шестерня»
редуктора повороту екскаватора з використанням CAD/CAM/CAE систем і
верстатів з ЧПК

Виконав: магістрант
групи ПМ-24м
Лещенко К.П.

Керівник КМР:
к. ф.-м. н., ст.викл.
Кравцова Д.Ю.

м. Кривий Ріг
2025 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ
РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва деталі «Вал-шестерня»
редуктора повороту екскаватора з використанням CAD/CAM/CAE систем і
верстатів з ЧПК

Виконав магістрант гр. ПМ-24м

Лещенко К.П.

Керівник КМР

Кравцова Д.Ю.

Нормоконтроль

Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

Рязанцев А.О.

м. Кривий Ріг
2025 р.

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: магістр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма: Технології машинобудування

Затверджую
Зав. кафедри доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну магістерську роботу**

Магістранта гр. ПМ-24м Лещенка Кирила Павловича

1. Тема: Технологічна підготовка виробництва деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту екскаватора з використанням CAD/CAM/CAE систем і верстатів з ЧПК

Керівник КМР: к. ф.-м. н., ст.викл. Кравцова Д.Ю.

Затверджена наказом по КНУ № 554с від «28» липня 2025 р.

2. Термін подання магістрантом закінченої роботи «07» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Креслення вузла. 2. Креслення деталі «Вал-шестерня».

4. Зміст пояснювальної записки: 1 Аналіз об'єктів технологічної підготовки і розробка технічного завдання. 2 Проєктування сучасної технологічної підготовки виробництва вала-шестерні із застосуванням CAD/CAM-систем і верстатного обладнання з ЧПК. 3 Проєктування верстатно-інструментального оснащення із застосуванням CAD-систем. 4 Інженерний аналіз геометричних параметрів, конструктивних особливостей і матеріалу вала-шестерні методом кінцевих елементів із застосуванням CAE-системи. 5 Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень із застосуванням програмних засобів для розрахунково-аналітичних робіт. 6 Безпекові фактори виробничого середовища та нормативно-правове забезпечення охорони праці під час виготовлення вала-шестерні

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Креслення деталі; 2. Складальне креслення деталі; 3. Випробування деталі «Вал-шестерня» із застосуванням CAE-системи; 4. Контрольне пристосування; 5. Заготовка деталі «Вал-шестерня» (поковка); 5. Патрон повідковий; 6. Структура та зміст технологічних операцій обробки вала-шестерні; 7. Комплект технологічний карт МК, ОК, КЕ.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Технологічний	Рязанцев А.О. к.т.н., доц.	18.09.2025	18.11.2025

7. Календарний план:

Розділи пояснювальної записки	Термін виконання
Вступ	01.08.2025
1 Аналіз об'єктів технологічної підготовки і розробка технічного завдання	10.08.2025
2 Проєктування сучасної технологічної підготовки виробництва вала-шестерні із застосуванням CAD/CAM-систем і верстатного обладнання з ЧПК	15.08.2025
3 Проєктування верстатно-інструментального оснащення із застосуванням CAD-систем	30.08.2025
4 Інженерний аналіз геометричних параметрів, конструктивних особливостей і матеріалу вала-шестерні методом кінцевих елементів із застосуванням CAE-системи	03.09.2025
5 Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень із застосуванням програмних засобів для розрахунково-аналітичних робіт	15.09.2025
6 Безпекові фактори виробничого середовища та нормативно-правове забезпечення охорони праці під час виготовлення вала-шестерні	20.09.2025
Висновки	01.10.2025
Список використаних джерел	07.10.2025
Додаток А	15.11.2025
Додаток Б	01.11.2025
Додаток В	15.11.2025
Попередній захист	08.12.2025

Дата видачі завдання: «28» липня 2025 р.

Завдання видав керівник
кваліфікаційної магістерської роботи _____ / Кравцова Д.Ю. /

Завдання отримав
магістрант _____ / Лещенко К.П. /

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №					Документація				
	A4		1	КНУ.КМР.131.25.1-07.ПЗ	Пояснювальна записка	78			
	A4		2	КНУ.КМР.131.25.1-07.ТП	Альбом тех. карт на ТП виготовлення деталі	14			
					Креслення				
	A2		1	КНУ.КМР.131.25.1-07.ВШ	Вал-шестерня	1			
	A1		2	КНУ.КМР.131.25.1-07.СК	Редуктор повороту екскаватора ЕКГ-5А-У	1			
	A0		3	КНУ.КМР.131.25.1-07.КП	Контрольне пристосування	1			
	A3		4	КНУ.КМР.131.25.1-07.ЗДВШП	Заготовка деталі "Вал-шестерня" (поковка)	1			
	A2		5	КНУ.КМР.131.25.1-07.ВДВШЗ	Випробовування деталі "Вал-шестерня" із застосуванням САЕ-системи	1			
	A2		6	КНУ.КМР.131.25.1-07.ПП	Патрон повідковий	1			
Подп. и дата	A1		7	КНУ.КМР.131.25.1-07.СЗТОО	Структура та зміст технологічних операцій обробки вала-шестерні	2			
Взам. инв. №									
Подп. и дата									
Инв. № подл.									
				КНУ.КМР.131.25.1-07.ВМКМР					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Відомість матеріалів КМР		Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Лещенко								1
Пров.	Кравцова								
Н.контр.	Нечаев						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Утв.	Рязанцев								

Копировал
Формат А4

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної магістерської роботи містить: 77 сторінок, 37 рисунків, 25 таблиць, 22 листів графічної частини.

Мета роботи: підвищення ефективності технологічної підготовки виробництва деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту екскаватора з використанням CAD/CAM/CAE систем і верстатів з ЧПК.

У першому розділі розглянуто характеристику і службове призначення вузла та деталі, характеристику матеріалів, аналіз точності деталі та визначили тип виробництва.

У другому розділі розглянуто аналіз технологічності деталі, призначені методи отримання заготовки та методи обробки деталі, розроблені технологічні маршрути обробки деталі, сформовані структури та зміст технологічних операцій і технологічних баз, призначені верстати та верстатне оснащення, різальний інструмент, допоміжний інструмент, засоби технічного контролю, визначені припуски і операційні розміри, розраховані режими різання, виконане технічне нормування операцій, застосовані САМ-систем до технологічних операцій.

У третьому розділі виконаний опис і принцип будови повідкового патрона та спроектоване контрольне оснащення включаючи 3D моделювання.

У четвертому розділі налаштоване статичного дослідження вала-шестерні у САЕ-системі та виконана інтерпретація епюр отриманих у статичному аналізі вала-шестерні.

У п'ятому розділі розраховані фонди капітальних вкладень та заробітної плати, а також обчислена собівартості продукції.

У шостому розділі показаний перелік потенційний небезпек у процесі виготовлення вала-шестерні, виконаний порівняльний аналіз актуальної нормативної бази з охорони праці в механообробних цехах в Україні та Європі, обчислене захисне заземлення електроустановок.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, РЕДУКТОР ПОВОРОТУ, САМ-СИСТЕМА FEATURECAM, CAE-АНАЛІЗ, SOLIDWORKS SIMULATION, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ МАРШРУТ, 3D МОДЕЛЮВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.Р						
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата							
Розроб.	Леценко				Реферат			Літ.	Арк.	Аркуші	
Перевір.	Кравцова									5	78
Реценз.								Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Н. контр.	Нечаєв										
Затв.	Рязанцев										

ABSTRACT

The explanatory note to the master's qualification thesis contains: 77 pages, 37 figures, 25 tables, 22 sheets of the graphical part.

The purpose of the work is to increase the efficiency of the technological preparation of manufacturing the "Shaft-Gear" of the slewing reducer of an excavator through the use of CAD/CAM/CAE systems and CNC machines.

The first chapter provides the characteristics and functional purpose of the assembly and the part, presents the properties of the materials used, analyzes the dimensional accuracy of the part and determines the type of production.

The second chapter examines the manufacturability of the part, defines the methods of obtaining the blank and the processing methods, develops technological machining routes, forms the structure and content of technological operations and technological bases, assigns machines and machine tooling, cutting tools, auxiliary tools and measuring instruments. Allowances and operational dimensions are determined, cutting modes are calculated, technical normalization of operations is performed, and CAM systems are applied to technological operations.

The third chapter contains the description and design principles of the driving chuck and presents the designed inspection fixture, including its 3D modeling.

The fourth chapter includes the setup of static analysis of the shaft-gear in a CAE system and provides interpretation of the stress diagrams obtained during the static simulation.

The fifth chapter presents the calculation of capital investment funds and the wage fund, as well as the calculation of the product cost.

The sixth chapter identifies the list of potential hazards during the manufacturing of the shaft-gear, provides a comparative analysis of the current occupational safety regulations in machining shops in Ukraine and Europe, and includes the calculation of protective grounding for electrical installations.

SHAFT-GEAR, SLEWING REDUCER, FEATURECAM CAM SYSTEM, CAE ANALYSIS, SOLIDWORKS SIMULATION, TECHNOLOGICAL ROUTE, 3D MODELING, OCCUPATIONAL SAFETY.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.Р		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Реферат		
Розроб.	Леценко						
Перевір.	Кравцова						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Затв.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
					/іт.	Арк.	Аркуші
						6	78

7
ЗМІСТ

№	Назва розділу	Стр.
1	2	3
	ВСТУП	9
1	АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	10
1.1	Характеристика і службове призначення вузла та деталі	10
1.2	Характеристика матеріалів	13
1.3	Аналіз точності деталі	15
1.4	Визначення типу виробництва	17
2	ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ВАЛА-ШЕСТЕРНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CAD/CAM-СИСТЕМ І ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЧПК	18
2.1	Аналіз технологічності деталі	18
2.2	Вибір методів отримання заготовки	19
2.3	Вибір методів обробки деталі	21
2.4	Розробка технологічних маршрутів обробки деталей	23
2.5	Формування структури та змісту технологічних операцій і технологічних баз	24
2.6	Вибір верстатів та верстатного оснащення	30
2.7	Вибір різального інструменту	36
2.8	Вибір допоміжного інструменту	41
2.9	Вибір засобів технічного контролю	41
2.10	Визначення припусків і операційних розмірів	42
2.11	Розрахунок режимів різання	45
2.12	Технічне нормування операцій	46
2.13	Застосування САМ-систем до технологічних операцій	47
3	ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CAD-СИСТЕМ	49
3.1	Опис і принцип будови повідкового патрона	49
3.2	Проектування контрольного оснащення включаючи 3D моделювання	50
4	ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ І МАТЕРІАЛУ ВАЛА-ШЕСТЕРНІ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САЕ-СИСТЕМИ	52
4.1	Налаштування статичного дослідження вала-шестерні у САЕ-системі	52

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-07.3</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Лещенко</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Затв.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архувів</i>
						7	78
					<i>Кафедра ТМ гр. ПМ-24м</i>		

Продовження таблиці змісту

1	2	3
4.2	Інтерпретація епюр отриманих у статичному аналізі вала-шестерні	56
5	ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНИХ РОБІТ	61
5.1	Планування фондів капітальних вкладень	61
5.2	Планування фондів заробітної плати	63
5.3	Обчислення собівартості продукції	65
6	БЕЗПЕКОВІ ФАКТОРИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА-ШЕСТЕРНІ	68
6.1	Перелік потенційний небезпек у процесі виготовлення вала-шестерні	68
6.2	Порівняльний аналіз актуальної нормативної бази з охорони праці в механообробних цехах в Україні та Європі	69
6.3	Захисне заземлення електроустановок: принцип роботи, класифікація та розрахункові параметри	72
	ВИСНОВКИ	76
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77
	ДОДАТКИ	

ВСТУП

Сучасний розвиток машинобудівного виробництва супроводжується постійним ускладненням конструкцій обладнання, підвищенням експлуатаційних вимог та зростанням рівня технологічної точності. У таких умовах особливо важливо забезпечувати високу якість виготовлення деталей, що входять до складу механічних передач, оскільки саме вони визначають надійність, ефективність і довговічність роботи машин та механізмів.

Одним із поширених елементів механічних систем є вал-шестерня, який поєднує в собі функції вала та зубчастого елемента. Подібні деталі широко застосовуються у різних видах обладнання, де необхідна передача крутного моменту та забезпечення стабільності роботи механізму. Незважаючи на відмінності у конструкціях і розмірах, вимоги до точності виготовлення та якості поверхонь таких деталей залишаються високими, що визначає актуальність розроблення раціональних технологічних процесів.

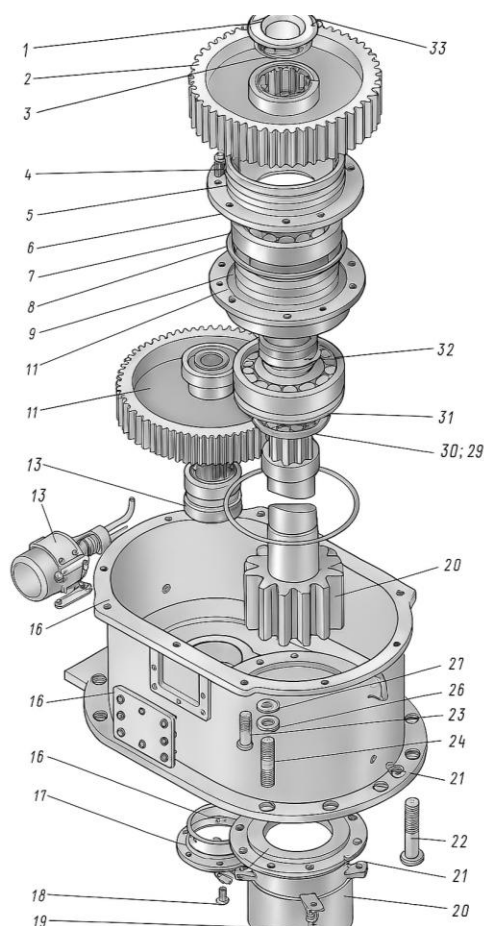
Від правильного вибору заготовки, режимів механічної обробки, методів контролю та способів забезпечення точності залежить стабільність технологічного процесу, витрати на виготовлення та експлуатаційний ресурс деталі. Своєчасне впровадження оптимальних технологічних рішень сприяє покращенню якості продукції, зменшенню виробничих ризиків та підвищенню конкурентоспроможності підприємства.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.В			
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лещенко				Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кравцова						9	78
Реценз.						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Н. контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							

1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика і службове призначення вузла та деталі.

Редуктор повороту є складовою частиною механізму повороту екскаватора і призначений для обертання верхньої будови машини навколо вертикальної осі. Він забезпечує перетворення частоти обертання та збільшення крутного моменту від електродвигуна до зубчастого вінця поворотної платформи. Вузол працює у комплексі з гальмовим механізмом, що дозволяє плавно зупинити та фіксувати платформу в заданому положенні. Редуктор відзначається високою надійністю, розрахований на роботу в умовах значних навантажень і широкого діапазону температур, що забезпечує його ефективну експлуатацію у важких кліматичних та виробничих умовах.



- | | |
|-------------------------|-------------------|
| 1. Корка; | 22. Болт М30; |
| 2. Колесо; | 23. Маслянка; |
| 3. Кільце; | 24. Шпилька; |
| 4. Болт М24; | 25. Болт; |
| 5. Стрічка; | 26. Гайка М30; |
| 6. Кришка; | 27. Гайка М30; |
| 7. Підшипник; | 28. Вал-шестерня; |
| 8. Кільце; | 29. Манжета; |
| 9. Кришка; | 30. Пружина; |
| 10. Стакан; | 31. Стакан; |
| 11. Блок; | 32. Труба; |
| 12. Кільце розпирне; | 33. Гвинт М16. |
| 13. Система змащування; | |
| 14. Корпус; | |
| 15. Кришка; | |
| 16. Кільце; | |
| 17. Кришка; | |
| 18. Шайба; | |
| 19. Болт М12; | |
| 20. Кожух; | |
| 21. Кришка; | |

Рисунок 1.1 – Редуктор повороту екскаватора ЕКГ-5А-У у розборі

					КНУ.КМР.131.25.1-07.01.А0ТТР		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Лещенко				АНАЛІЗ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ І РОЗРОБКА ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ		
Перевір.	Кравцова						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Затв.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркушів
						10	78
					Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		

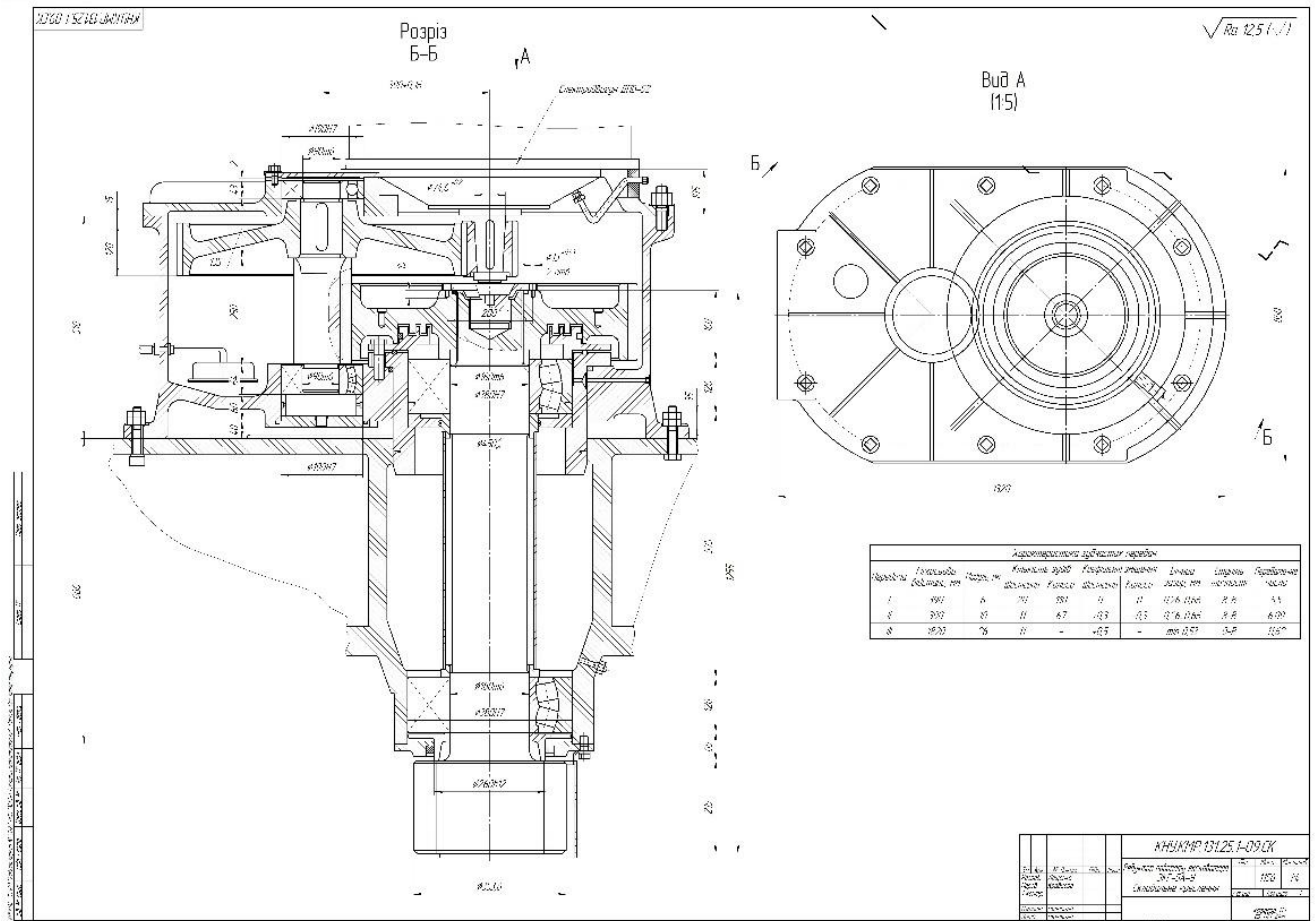


Рисунок 1.2 – Креслення редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У

Вал-шестерня є комбінованою деталлю редуктора повороту, яка одночасно виконує функції вала та зубчастого колеса. Деталь призначена для передачі обертального руху та крутного моменту між елементами редуктора, забезпечуючи необхідне передаточне відношення та співвісність роботи механізму. Виготовляється зі сталей підвищеної міцності з подальшою термообробкою для досягнення необхідної твердості та зносостійкості. Вал-шестерня сприймає значні осьові й радіальні навантаження, тому її технічний стан безпосередньо впливає на працездатність редуктора та довговічність усього механізму повороту.

Зм.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-07.01.А0ТПР

Арк.

11



Рисунок 1.3 – Вал-шестерня редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У

					КНУ.КМР.131.25.1-07.01.А0ТПР	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		12



Надійність функціонування та тривалість терміну служби деталі типу «Вал-шестерня» значною мірою визначаються тим, який матеріал обрано для її виготовлення. Властивості матеріалу, зокрема його міцність, опір зношуванню та стійкість до втомних руйнувань, безпосередньо впливають на здатність деталі працювати під змінними та тривалими навантаженнями. Оскільки вал-шестерня одночасно виконує роль передавального елемента та працює в зоні зубчастого зачеплення, матеріал повинен забезпечувати високу твердість, добру зносостійкість і стабільність форми після проведення термічної обробки.

Як заготовку для виготовлення цієї деталі застосовано поковку зі сталі марки 34CrNiMo6.

Цей різновид легованої конструкційної сталі належить до групи покращених сталей, які вирізняються підвищеними механічними показниками. Хром, нікель та молібден у складі сплаву формують дрібнозернисту структуру, що забезпечує одночасно високу міцність, хорошу пластичність і високу стійкість до крихкого руйнування. Таке поєднання

легувальних елементів сприяє глибокій прогартовуваності, підвищеному опору ударним та динамічним навантаженням.

Для сталі 34CrNiMo6 типовою є термічна обробка у вигляді гартування з подальшим відпуском. Саме такий режим дозволяє отримати збалансований комплекс властивостей: високу міцність, достатню ударну в'язкість та підвищену витривалість при циклічних навантаженнях.

Сфера застосування сталі 34CrNiMo6 охоплює виробництво поковок та заготовок валів, шестерень, муфт, роторів, осей, приводних елементів та деталей турбінного обладнання.

Серед найближчих аналогів цієї конструкційної сталі можна виділити марки 36CrNiMo4, 30CrNiMo8, 36NiCrMo16 і 32CrMo12. Порівняльні дані щодо їхнього хімічного складу та механічних характеристик наведено у таблицях 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1 – Механічні властивості сталі 34CrNiMo6 та заміників

Марка сталі	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	ψ , %	КСУ, Дж/см ²	НВ
1	2	3	4	5	6	7
34CrNiMo6	600	800-950	13	55	45	248
36CrNiMo4	665	850-1000	13	50	54	248-302
30CrNiMo8	800	980-1180	12	50	35	248
36NiCrMo16	800	1000-1200	11	50	45	295-353
32CrMo12	790	870	15	50	35	300

Таблиця 1.2 – Хімічний склад сталі 34CrNiMo6 та заміників

Марка сталі	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo
1	2	3	4	5	6	7	8	9
34CrNiMo6	0,30-0,38	≤0,40	0,50-0,80	1,3-1,7	≤0,035	≤0,035	1,3-1,7	0,15-0,30
36CrNiMo4	0,32-0,40	≤0,40	0,50-0,80	0,90-1,20	≤0,035	≤0,035	0,90-1,20	0,15-0,30
30CrNiMo8	0,26-0,34	≤0,40	0,30-0,60	1,80-2,20	≤0,035	≤0,035	1,80-2,20	0,30-0,50
36NiCrMo16	0,32-0,39	≤0,40	0,30-0,60	3,60-4,10	≤0,025	≤0,030	1,60-2,00	0,25-0,45
32CrMo12	0,28-0,35	≤0,40	0,40-0,70	≤0,60	≤0,035	≤0,035	2,80-3,30	0,30-0,50

Висновок: Враховуючи експлуатаційні показники деталі, зазначений матеріал забезпечує виконання всіх технічних вимог до деталі.

1.3 Аналіз точності деталі

Проводиться перевірка відповідності встановлених вимог до точності та шорсткості поверхонь деталі, а також аналізується доцільність і логічність нанесення розмірів, виходячи з умов технологічності виготовлення.

Проводимо позначення та нумерацію поверхонь деталі «Вал-шестерня».

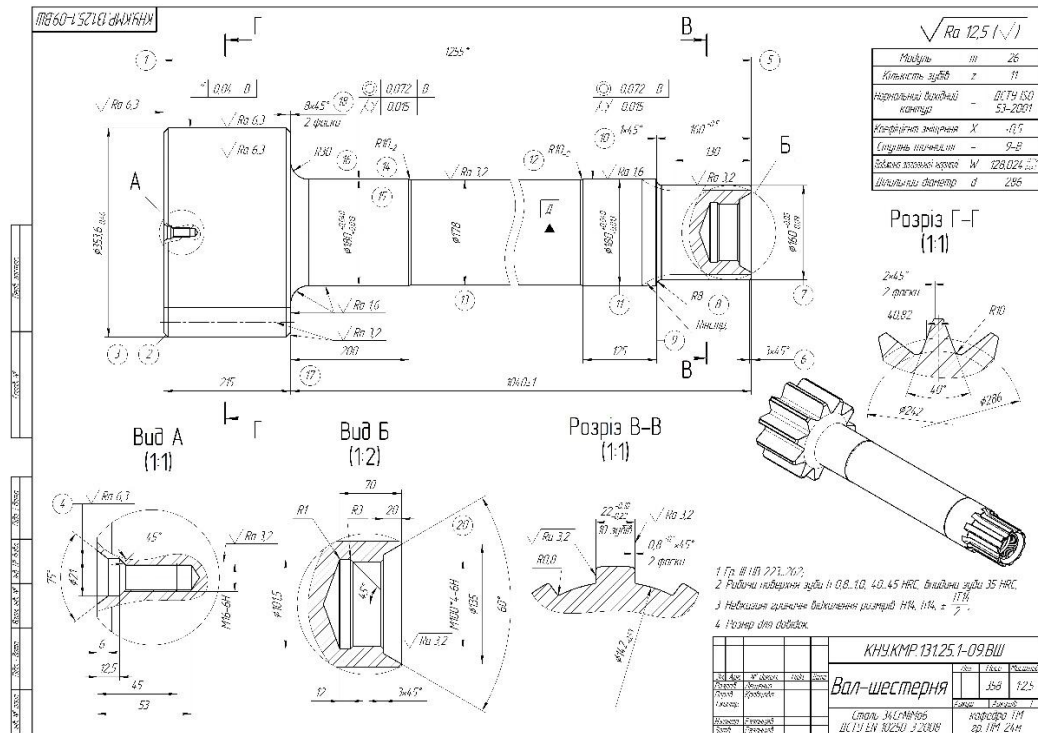


Рисунок 1.5 – Креслення деталі «Вал-шестерня» з пронумерованими поверхнями

Класифікація поверхонь деталі «Вал-шестерня»:

Основні поверхні: До основних відносять циліндричні ділянки вала, на яких монтуються підшипники кочення та передається крутний момент. Від точності цих поверхонь залежить якість посадок і стабільність роботи вузла. До цієї групи входять поверхні 9 та 13.

Допоміжні поверхні: Ці поверхні забезпечують орієнтацію та правильне положення приєднуваних елементів відносно валу-шестерні. Вони слугують базами під час складання. Прикладом є різбова поверхня 22.

Спряжені поверхні: До цієї категорії належать поверхні, через які передається рух і навантаження під час роботи механізму. У конструкції даного вала-шестерні такими є зубчаста поверхня 7, а також шліцьова поверхня 20.

Вільні поверхні: Це ділянки, що не беруть участі у безпосередній взаємодії з іншими деталями. Вони виконують допоміжну функцію, а саме

формують конструктивний перехід між основними, допоміжними та спряженими поверхнями. До вільних можна віднести поверхні 1, 4, 6, 11.

Висновок: Повний перелік необхідних вимог до точності та параметрів шорсткості поверхонь деталі «Вал-шестерня» наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз точності деталі «Вал-шестерня»

№ п/н поверхні	Номинальний розмір, мм	Квалітет	Допуск, IT	Шорсткість, Ra	Примітка
1	2	3	4	5	6
1	Отвір центровий M16	6H	0,118	Ra 3,2	-
2	L = 1255 мм	h14	1,25	Ra 6,3	Лівий торець
3	Фаска 8×45°	h14	0,10	Ra 3,2	-
4	Ø353,6	IT14	0,46	Ra 6,3	 0,04 B
5	Фаска 8×45°	h14	0,10	Ra 3,2	-
6	L = 215 мм	IT12	0,46	Ra 1,6	Правий торець
7	Поверхня зуба	9-B	-	Ra 3,2	ДСТУ ISO 53-2001
8	Скруглення R30	h14	0,10	Ra 1,6	-
9	Ø180	IT6	0,027	Ra 1,6	 0,072 B  0,015
10	Скруглення R10	h14	2	Ra 12,5	Ліве
11	Ø178	h14	0,4	Ra 3,2	-
12	Скруглення R10	h14	2	Ra 12,5	Праве
13	Ø180	IT6	0,027	Ra 1,6	 0,072 B  0,015
14	Фаска 1×45°	h14	0,10	Ra 12,5	-
15	L = 160 мм	IT12	0,5	Ra 12,5	Правий торець
16	Скруглення R8	h14	0,10	Ra 12,5	Ліве
17	Ø160	IT7	0,04	Ra 3,2	Поверхня шліца
18	Фаска 3×45°	h14	0,10	Ra 12,5	-
19	L = 1255 мм	h14	1,25	Ra 12,5	Правий торець
20	Отвір M100	6H	0,25	Ra 3,2	-

Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-07.01.АОТПР

Арк.

16

З аналізу параметрів точності, поданих у таблиці, встановлено, що задані вимоги до точності та стану поверхонь є виправданими та повністю відповідають функціональному призначенню деталі у складі вузла. Максимальна точність досягає 6-го квалітету, а мінімальна шорсткість поверхні становить $R_a = 1,6$ мкм. Заданий рівень параметрів забезпечує можливість виготовлення деталі у велико-серійному типі виробництві без ускладнень.

1.4 Визначення типу виробництва

Тип виробництва обирають з урахуванням планових обсягів виготовлення продукції, стабільності номенклатури, конструктивної складності деталі, трудомісткості її обробки та технічних можливостей підприємства.

Він визначає спосіб організації виготовлення, ступінь спеціалізації робочих місць, тип обладнання, що застосовується, і рівень автоматизації технологічних операцій. Усі ці фактори безпосередньо впливають на собівартість продукції, продуктивність праці та кінцеву якість виробів.

Основою для встановлення типу виробництва є річний обсяг випуску деталей у поєднанні з особливостями конструкції та призначення виробу.

Орієнтовні критерії, які використовуються для попереднього вибору відповідного типу виробництва, подано в таблиці 1.4.

Таблиці 1.4 – Визначення типу виробництва

Маса деталі, кг	Тип виробництва/річна програма випуску деталей				
	Одиничний	Дрібносерійний	Середньо-серійний	Велико-серійний	Масовий
1	2	3	4	5	6
До 1,0	10	10...2000	2000...75000	75000...200000	>200000
1,0-2,5	10	10...1000	1000...50000	50000...100000	>100000
2,5-5,0	10	10...500	500...35000	35000...75000	>75000
5,0-10	10	10...300	300...2500	2500...50000	>50000
10-100	10	10...200	200...500	500...5000	>5000
Понад 100	До 5	5...100	100...300	300...1000	>1000

З огляду на річний обсяг виготовлення у 800 штук та масу деталі $m = 358$ кг, згідно з орієнтовними показниками таблиці 1.4 можна дійти висновку, що виготовлення деталі «Вал-шестерня» належить до велико-серійного типу виробництва.

2 ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ВАЛА-ШЕСТЕРНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CAD/CAM- СИСТЕМ І ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЧПК

2.1 Аналіз технологічності деталі

Аналіз технологічності деталі виконується з урахуванням специфіки застосовуваних технологічних методів обробки, умов виготовлення та обраного типу виробництва. Результати наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Аналіз технологічності деталі «Вал-шестерня»

№	Показники і вимоги технологічності	Висновок до технологічності деталі	Заходи для поліпшення технологічності
1	2	3	4
1	Наявність зручних технологічних баз для орієнтування та закріплення заготовки	Технологічні бази обрані вдало і забезпечують зручне базування та надійне закріплення деталі при обробці	Заходи для покращення базування не потрібні
2	Можливість установлення та центрування при обробці	Вал-шестерня має центрові отвори, що забезпечує зручне базування при токарній та шліфувальній обробці	-
3	Вибір способу виготовлення зубчастої частини	Зубчаста частина обробляється фрезеруванням	Можливе додаткове гартування
4	Розміри та припуски на обробку	Заготовка має мінімально необхідні припуски, що забезпечують отримання деталі без браку при обробці	-
5	Вимоги до шорсткості та точності поверхонь	Поверхні забезпечують нормальні умови для подальшої роботи у редукторі	-
6	Матеріал і технологічна обробка	Матеріал добре піддається термообробці, забезпечується необхідна міцність зубців	Технологічна обробка стандартна, додаткових заходів не потрібно

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ</i>			
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата				
Розроб.	Лещенко				ПРОЄКТУВАННЯ СУЧАСНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА ВАЛА-ШЕСТЕРНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ CAD/CAM-СИСТЕМ І ВЕРСТАТНОГО ОБЛАДНАННЯ З ЧПК	/літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кравцова						18	78
Реценз.						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Н. контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							

2.2 Вибір методів отримання заготовки

Добір способу виготовлення заготовки здійснюють, спираючись на матрицю впливу окремих параметрів (табл. 2.2). Визначальним чинником є можливість отримати потрібну якість за найменших витрат, одночасно гарантуючи форму й розміри, передбачені кресленням.

Найбільш раціональним вважають той метод, який демонструє найбільшу кількість переваг згідно з установленими критеріями.

Таблиця 2.2 – Матриця впливу факторів

Спосіб виготовлення заготовки	Фактори				Сума
	Форма і розміри заготовки	Точність та якість поверхневого шару	Технологічні властивості матеріалу	Економія матеріалу	
1	2	3	4	5	6
Лиття	-	+	-	-	2
Ковка	+	-	+	+	3
Штампуння	-	+	+	+	3

Аналіз матриці впливу факторів засвідчив, що ковка та штампування є раціональними способами отримання заготовки. Наступним кроком є їх порівняння за додатковим показником – технологічною собівартістю.

Вартість поковки визначимо відповідно до наступних розрахунків:

$$C_K = 0,01 \cdot (C_{бк} \cdot G_K \cdot K_{ТК} \cdot K_{СК} \cdot K_{МК} \cdot K_{ПК} \cdot K_{ВК} - (G_K - G_D) \cdot G_{ВХ})$$

$C_{бк}$ = 124 тис. грн – базова ціна 1т матеріалу;

G_K = 397,5 кг – маса кованки, кг;

G_D = 358 кг – маса деталі;

$K_{ТК}$, $K_{СК}$, $K_{МК}$, $K_{ПК}$, $K_{ВК}$ – коефіцієнти відповідно точності розмірів, конструктивної та технологічної складності, марки матеріалу, програми річного замовлення та виду кувального обладнання;

$C_{ВХ}$ = 207 грн – ціна відходів матеріалу.

Обчислена вартість кованок для вищезазначених методів виготовлення заготовки:

$$C_K^{кув.} = 0,01 \cdot (124000 \cdot 0,3975 \cdot 1,00 \cdot 1,15 \cdot 1,25 \cdot 1,05 \cdot 1,00 - (0,3975 - 0,358) \cdot 207) = 743,890(\text{грн})$$

$$C_{\text{К}}^{\text{штамп.}} = 0,01 \cdot (124000 \cdot 0,3975 \cdot 1,15 \cdot 1,30 \cdot 1,25 \cdot 0,9 \cdot 0,95 - (0,3975 - 0,358) \cdot 207) \\ = 787,465(\text{грн})$$

Проведений аналіз свідчить, що для нашої великогабаритної деталі найдоцільнішим способом отримання заготовки є кування. Цей метод дозволяє забезпечити високу міцність і рівномірність структури матеріалу при мінімальних технологічних втратах, що особливо важливо з огляду на осьову симетрію деталі.

Лиття здатне відтворювати складніші конфігурації, однак нижча точність та гірші механічні властивості призводять до збільшених обсягів механічної та термічної обробки.

Штампування відзначається високою точністю, проте для даної деталі такий підхід є економічно недоцільним.

Отже, у подальшому приймаємо кування як базовий метод виготовлення заготовки. Необхідні дані для її проектування подаємо в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані про заготовку деталі

Розмір деталі, мм	Основний припуск, мм	Граничні відхилення, мм	Додатковий припуск, мм	Розмір заготовки, мм	Прим.
1	2	3	4	5	6
Ø354	17	±5	9	380	371
Ø180	13	±4	9	202	193
Ø178	13	±4	-	191	191
Ø180	13	±4	9	202	193
Ø160	14	±4	10	184	174
L=1255	43	±13	-	L=1298	L=1298
L ₁ =215	35	±11	-	L ₁ =250	L ₁ =250
L ₂ =200	-4,5	±8	-	L ₂ =195,5	L ₂ =195,5
L ₃ =125	26	±8	-	L ₃ =151	L ₃ =151
L ₄ =160	-	±8	-	L ₄ =160	L ₄ =160

Розраховуємо припуск на загальну та проміжні довжини деталі. В нашому випадку довжина мінімальної засічки (125 мм) менша довжини виїмок. Отже, виїмки виконуються по довжині. Виїмка діаметром Ø178 нездійснима, тому виконуємо напуск. Перевірка по фланцях виконується.

Остаточні розміри поковки з назначеними на неї основними та додатковими припусками після перевірки на виконуваність уступів, фланців і виїмок приведені на Рис. 2.1.

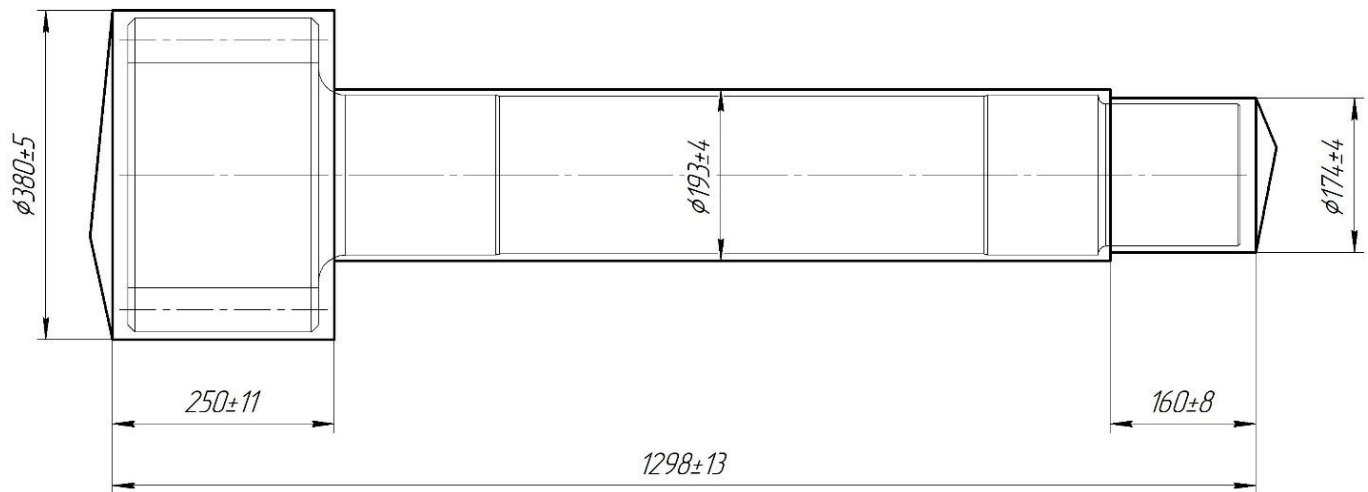


Рисунок 2.1 – Ескіз заготовки «Вал-шестерня» (поковка)

2.3 Вибір методів обробки деталі

Механічна обробка відіграє вирішальну роль у процесі виготовлення машинних деталей, адже саме на цьому етапі забезпечується отримання заданої точності розмірів, форми та параметрів шорсткості поверхонь. Грамотний вибір способів обробки визначає не лише якість кінцевого виробу, але й загальну економічну ефективність виробничого процесу.

Дані обробки поверхонь деталі заносять в Таблицю 2.4

Таблиця 2.4 – План обробки поверхонь деталі

Поверхні деталі	Креслярські вимоги до поверхні		Параметри поверхні після обробки		
	точність	шорсткість	операції	точність	шорсткість
1	2	3	4	5	6
1255h14	-	Ra 6,3	Підрізання торців чорнове	IT14	Ra 12,5
			Підрізання торців напівчистове	h14	Ra 6,3
Ø353,6h14	Ø353,6 _{-0,46}	Ra 6,3	Точіння чорнове	IT14	Ra 12,5
			Точіння напівчистове	h14	Ra 6,3

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
215h14	-	Ra 1,6	Підрізання торців чорнове	IT14	Ra 12,5
			Підрізання торців напівчистове	IT14	Ra 6,3
			Підрізання торців чистове	IT14	Ra 3,2
			Шліфування попереднє	h14	Ra 1,6
Ø180h6	Ø180 ^{+0,040} _{+0,013}	Ra 1,6	Точіння чорнове	IT14	Ra 12,5
			Точіння напівчистове	IT12	Ra 6,3
			Точіння чистове	IT10	Ra 3,2
			Шліфування попереднє	h6	Ra 1,6
Ø178h14	-	Ra 3,2	Точіння чорнове	IT14	Ra 12,5
			Точіння напівчистове	IT14	Ra 6,3
			Точіння чистове	h14	Ra 3,2
Ø180h6	Ø180 ^{+0,040} _{+0,013}	Ra 1,6	Точіння чорнове	IT14	Ra 12,5
			Точіння напівчистове	IT12	Ra 6,3
			Точіння чистове	IT10	Ra 3,2
			Шліфування попереднє	h6	Ra 1,6
160h12	160 ^{+0,5}	Ra 12,5	Підрізання торців чорнове	h12	Ra 12,5
Ø160h7	Ø160 ^{-0,05} _{-0,09}	Ra 3,2	Точіння чорнове	IT14	Ra 12,5
			Точіння напівчистове	IT12	Ra 6,3
			Точіння чистове	h7	Ra 3,2

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
1255h14	-	Ra 6,3	Підрізання торців чорнове	IT14	Ra 12,5
			Підрізання торців напівчистове	h14	Ra 6,3
8×45°	-	Ra 3,2	Зняття фаски	h14	Ra 3,2
R30	-	Ra 1,6	Скруглення	h14	Ra 1,6
R10	R10 ₂	Ra 12,5	Скруглення	h14	Ra 12,5
1×45°	-	Ra 12,5	Зняття фаски	h14	Ra 12,5
R8	-	Ra 12,5	Скруглення	h14	Ra 12,5
3×45°	-	Ra 12,5	Зняття фаски	h14	Ra 12,5
Ø353,6 9-B	-	Ra 3,2	Нарізування зубів	h14	Ra 3,2
Ø160h7	Ø160 ^{-0,05} _{-0,09}	Ra 3,2	Нарізування шліців	h7	Ra 3,2
M16-6H	-	Ra 3,2	Свердління центрального отвору	6H	Ra 3,2
M100*4- 6H	-	Ra 3,2	Свердління отвору	IT14	Ra 12,5
			Розточення отвору чорнове	IT13	Ra 6,3
			Розточення отвору напівчистове	6H	Ra 3,2
			Нарізування різьби	6H	Ra 3,2
12h14	-	Ra 12,5	Прорізування канавки	h14	Ra 12,5
20×60°	-	Ra 12,5	Точіння конусності	h14	Ra 12,5

2.4 Розробка технологічних маршрутів обробки деталей

Створення технологічного маршруту є одним із визначальних етапів підготовки виробничого процесу. Під маршрутом розуміють логічно впорядковану послідовність операцій і переходів, у результаті яких заготовка поступово набуває необхідної форми та властивостей відповідно до конструкторських вимог.

Проектування маршруту включає вибір видів обробки та їхньої черговості, підбір обладнання, інструменту й технологічного оснащення, а

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

також визначення способів базування та фіксації деталі на кожному етапі. Якісно розроблений маршрут дозволяє забезпечити точність виготовлення, зменшити витрати часу й матеріалів, підвищити стабільність якості та загальну ефективність виробництва.

Таким чином, технологічний маршрут слугує фундаментом для подальшої розробки операційних карт і вибору оптимального процесу виготовлення деталі. Отримані дані заносять у таблицю 2.5.

Таблиця 2.5 – Маршрут обробки деталі «Вал-шестерня»

№ операції	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	№ базової поверхні	Тип, модель верстата
1	2	3	4	5
005	Заготівельна	-	-	AYANRE C86YA-200
010	Термічна	-	-	Піч
015	Токарна (чорнова, н/чистова)	1) 1; 2; 3; 4 2) 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19	1) 5; 7; 15 2) 1; 3	MICROCUT BNC-1660
020	Токарна (чистова)	7; 11; 13; 15; 16; 17; 18	1; 3	MICROCUT BNC-1860
025	Розточна	20	1; 3; 13	MICROCUT BNC-1860
030	Різьбонарізна	1) 4 2) 20	1) 5; 7; 15 2) 1; 3; 11	MICROCUT BNC-1860
035	Зубообробна	3; 7	1; 5	HAAS VF-12/50
040	Шліфувальна	11; 15; 16; 17	1; 3; 5	JUNKER KARGO 20XL
045	Миюча	-	-	MAGIDO L240E
050	Контрольна	3; 11; 15	1; 11; 15	Стіл ОТК

2.5 Формування структури та змісту технологічних операцій і технологічних баз

Формування структури технологічних операцій є важливим етапом у створенні раціонального технологічного процесу. Від правильності визначення послідовності обробки залежить ефективність виробництва, зниження трудомісткості, економія часу та ресурсів. Чітко структуровані

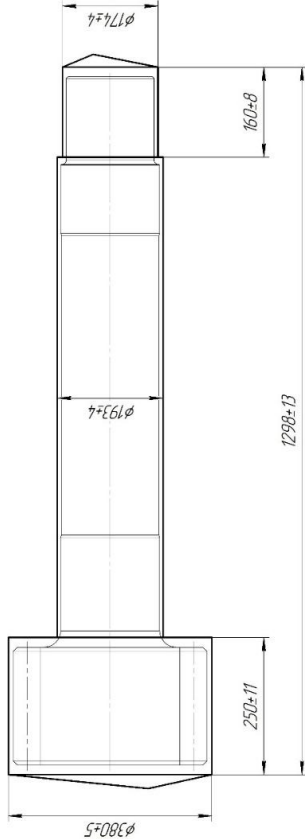
					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						24
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

операції дозволяють уникнути зайвих переходів, оптимізувати використання обладнання та забезпечити стабільність технологічного процесу.

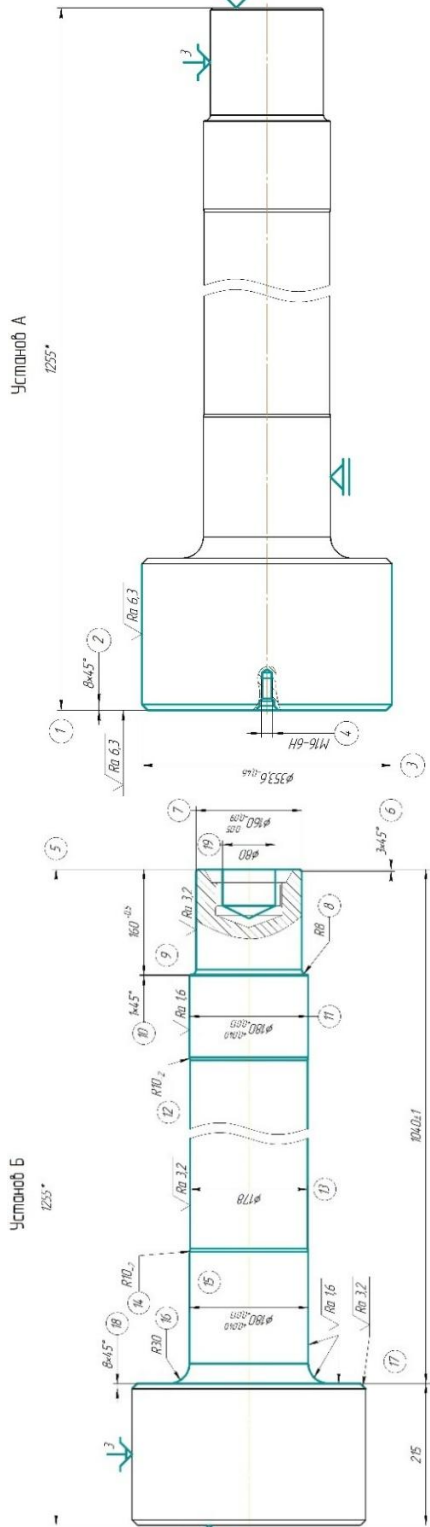
Вибір технологічних баз відіграє ключову роль у забезпеченні точності та взаємозамінності деталей. Коректне базування мінімізує похибки при закріпленні та обробці, що безпосередньо впливає на якість готового виробу. Дотримання принципів постійності та суміщення баз дозволяє зменшити похибки, підвищити надійність та забезпечити відповідність конструктивним вимогам.

Таким чином, грамотне формування структури операцій і вибір технологічних баз є основою для досягнення високої якості продукції та економічної ефективності виробництва.

Таблиця 2.5 – Структура та зміст технологічних обробки деталі

№ операції	Тип, модель верстата, пристосування	Операційний ескіз	Номер і зміст переходів та установ	Різальний інструмент	Вимірювальний інструмент
1	2	3	4	5	6
005 Заготівельна	AYANRE C86YA-200		-	Плоский бойок	-

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
010 Термічна	-	-	Відпал	-	-
015 Токарна (ч; н/ч)	MICROCUT BNC-1660, трюхкулачковий патрон, люнет		Встановити, закріпити та зняти деталь, змінити установ. Підрізати торці в розміри (1, 5, 9, 17), зняти фаски (2, 6, 10, 18), точити поверхні в розміри (3, 7, 11, 13, 15), свердлити центральний отвір типу F (4), скруглити поверхні (8, 12, 14, 16), свердлити отвір в розмір (19)	Різець DTG NR2020K16-M, різець PWL NR2020K08, центральне свердло 2317-0044, свердло SD205A-1450-063-16R1-P, свердло SD205A-2100-077-20R1-P, свердло SD545-80-200-50-R7	Штангельциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018

КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ

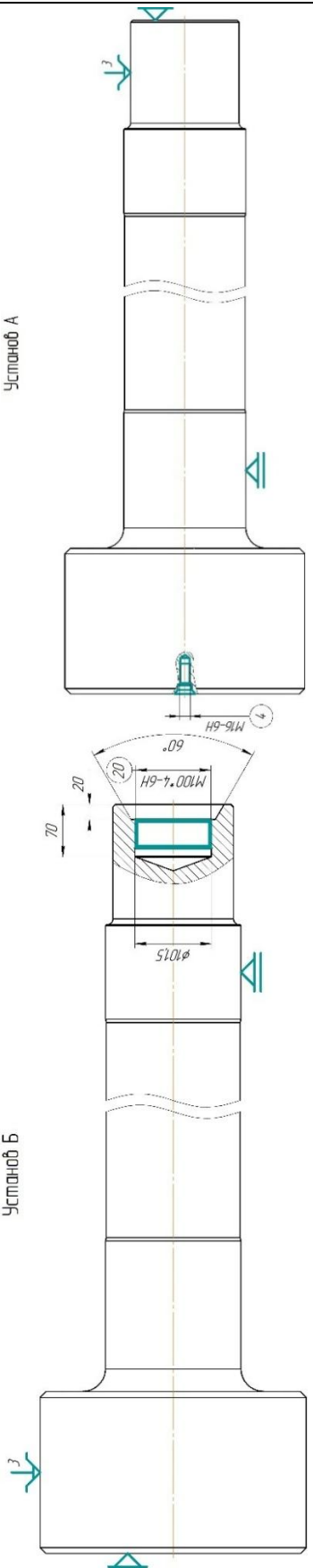
Адк.

26

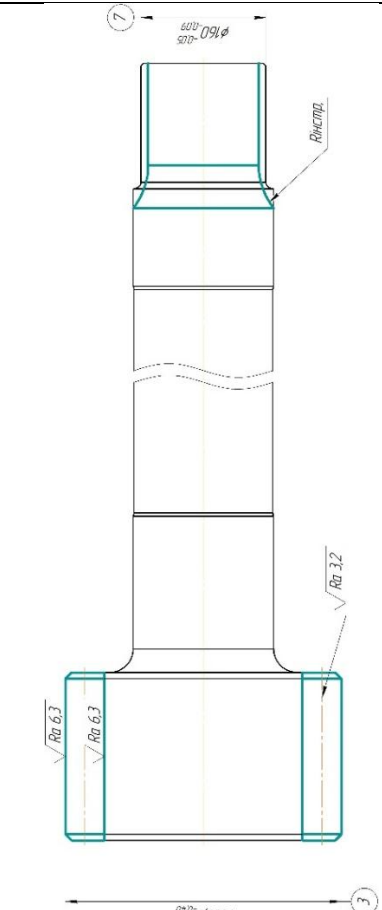
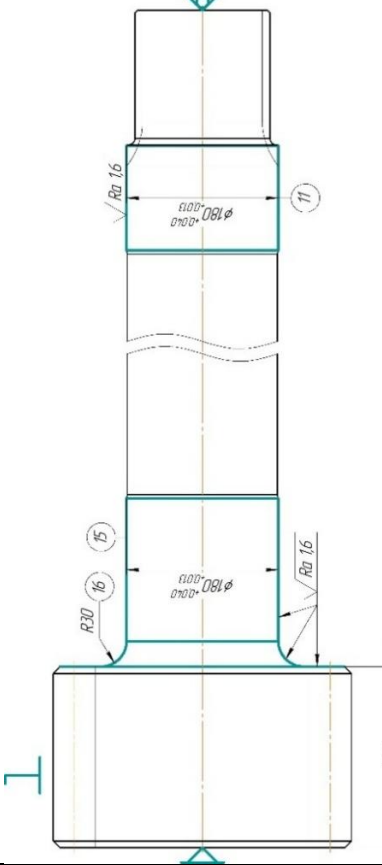
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

APK.

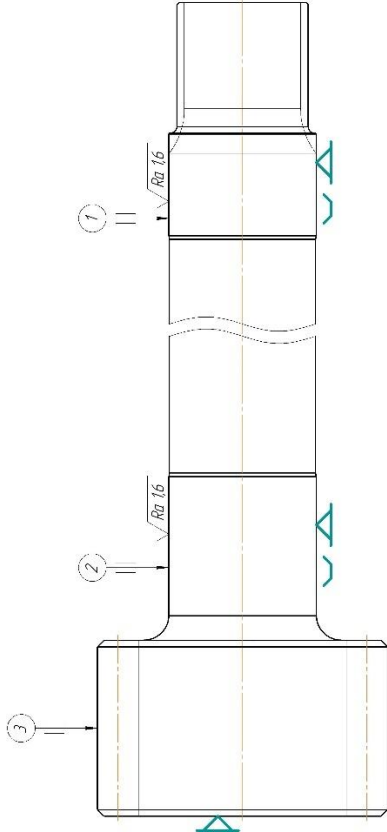
Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
	030 Різьбонарізна MICROCUT BNC-1860, триохкулачковий патрон, люнет		Встановити, закріпити та зняти деталь, змінити установ. Нарізувати різьбу в розмір (4), нарізувати різьбу в розмір (20)	Мітчик MTH-M16X2.00ISO6H-BC-S020, різець CER2525K16HD	Штангельциркуль ШЦ-I-125-0,1 ДСТУ EN ISO 13385-1:2018, різьбомір

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
035 Зубообробна	HAAS VF-12/50		Встановити, закріпити та зняти деталь. Нарізувати шліци в розмір (7), нарізувати зубці шестерні в розмір (3)	Черв'ячна фреза 2022, черв'ячна фреза 2402	Перевірочний шаблон, крокомір, нормалемір
040 Шліфувальна	JUNKER KARGO 20XL, повідковий патрон, обертальний центр		Встановити, закріпити та зняти деталь. Шліфувати поверхні (11, 15, 16, 17) до необхідної точності	Шліфувальний круг 1-108×16×45-25A-40-P-6-V-50-A-1	Скоби відповідних діаметрів

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
045 Миюча	MAGIDO L240E	-	Промити деталь	-	Пересувний грузовий візок
050 Контрольна	Стіл ОТК, контрольне пристосування		Технічний контроль	-	Індикатор часового типу, призми, задня бабка

2.6 Вибір верстатів та верстатного оснащення

Під час вибору верстатного обладнання основним критерієм є його можливість забезпечити високу точність та якісне виконання обробки при максимальній продуктивності.

Добір верстатів слід здійснювати на основі даних з довідкової та технічної літератури, із зазначенням у технологічному процесі конкретного типу та моделі обладнання.

Тип металорізального верстата визначається відповідно до кількості та характеру запланованих технологічних операцій.

1. Гідравлічний кувальний молот марки AYANRE моделі C86YA-200:

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстата C86YA-200

Найменування параметрів	C86YA-200
1	2
Енергія удару, кДж	200
Вага поршня, кг	8000
Макс. хід, мм	1350
Мін. висота матриці, мм	430
Частота удару, хв ⁻¹	55-65
Потужність головного двигуна, кВт	75
Кількість двигунів/масляних насосів, шт	5
Відстань між напрямними, мм	900
Глибина поршня/тримача матриці, мм	1100/1260
Розмір верстата, мм	4300×2100×7700

2. Токарний обробний центр марки MICROCUT моделі BNC-1660:

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстата BNC-1660

Найменування параметрів	BNC-1660
1	2
Зона обробки	
Макс. Ø заготовки, що встановлюється над станиною, мм	425
Макс. довжина точіння, мм	1500
Шпиндель	
Макс. частота обертання шпинделя, об/хв	5000
Потужність головного двигуна, кВт	11
Ø отвору у шпинделі, мм	46
Револьверна головка	
Перетин різця, мм	20 × 20, Ø 40
Кріплення інструмента	VDI 40
Маса та габарити	
Маса, кг	2850
Довжина × ширина × висота, мм	3530×1952×2022

3. Токарний обробний центр марки MICROCUT моделі BNC-1860:

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики верстата BNC-1860

Найменування параметрів	BNC-1860
1	2
Зона обробки	
Макс. Ø заготовки, що встановлюється над станиною, мм	475
Макс. довжина точіння, мм	1500
Шпиндель	
Макс. частота обертання шпинделя, об/хв	4500
Потужність головного двигуна, кВт	11
Ø отвору у шпинделі, мм	65
Револьверна головка	
Перетин різця, мм	25 × 25, Ø 40
Кріплення інструмента	VDI 40
Маса та габарити	
Маса, кг	3450
Довжина × ширина × висота, мм	3530×1952×2022

4. Вертикально-фрезерний верстат марки HAAS моделі VF-12/50:

Таблиця 2.9 – Технічні характеристики верстата VF-12/50

Найменування параметрів	VF-12/50
1	2
Поверхня столу X×Y, мм	711×3810
Максимальна швидкість обертання шпинделя, об/хв	7500
Потужність двигуна шпинделя, кВт	22,4
Максимальний крутний момент, Нм	460
Максимальна вага встановлюваної деталі, кг	1814
Конус шпинделя	50
ЧПК	HAAS
Вага верстата, кг	16874

5. Круглошліфувальний верстат марки JUNKER моделі KARGO 20XL:

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики верстата KARGO 20XL

Найменування параметрів	KARGO 20XL
1	2
Довжина шліфування, мм	5000
Максимальний діаметр шліфувального круга, мм	760
Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм	700/850
Габаритні розміри верстата, мм	9000×3300×2600
Загальна вага, кг	43000

6. Миюча машина марки MAGIDO моделі L240E:

Таблиця 2.11 – Технічні характеристики верстата L240E

Найменування параметрів	L240E
1	2
Розміри кошика, мм	1800×1800
Корисні розміри кошика, мм	1755×1755
Висота завантаження деталей, мм	870
Максимальне навантаження на кошик, кг	1000
Місткість мийного бака, л	700
Габаритні розміри верстата, мм	3335×2930×4650
Загальна вага, кг	1000

Під час вибору верстатного оснащення основним чинником є його здатність забезпечити надійне закріплення заготовки та інструмента, а також необхідну точність і стабільність обробки.

Оснащення підбирається відповідно до типу верстата, характеру операцій і вимог до точності деталі, з урахуванням умов зручності встановлення, переналагодження та безпеки роботи.

1. Трьохкулачковий патрон KFD-HS:

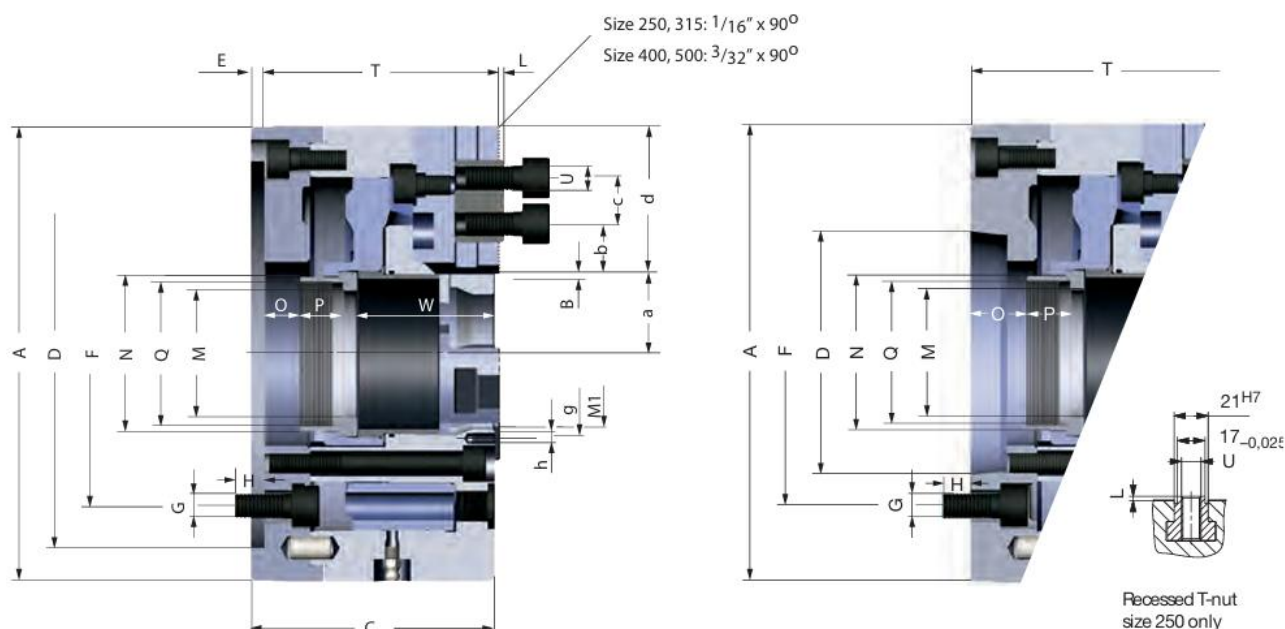


Рисунок 2.2 – Креслення трьохкулачкового патрона

Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ

Арк.

33

Таблиця 2.12 – Технічна характеристика патрона KFD-HS

Найменування параметрів	KFD-HS
l	2
A	315
B	6,2
C	139
D	300
E	6
F	235
G	3×M20
H	30
L	2,5
M	108
N	126
O	14...-9
P	25
T	135
U	M16
W	85
a	61...54,8
b	61...10,5
c	25
d	96.5
e	50
fH7-0,025	21
g	136
h	M8x12
α	0

2. Обертальний центр PLC-PRE-S60-MT5

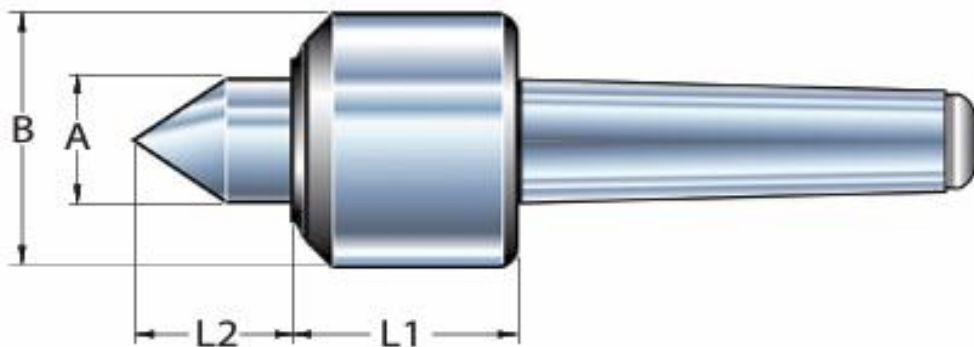


Рисунок 2.3 – Креслення обертального центру

Таблиця 2.13 – Технічна характеристика обертального центру PLC-PRE-S60-MT5

Найменування параметрів	PLC-PRE-S60-MT5
1	2
A	38
B	80
L ₁	55
L ₂	45

3. Люнет AX51

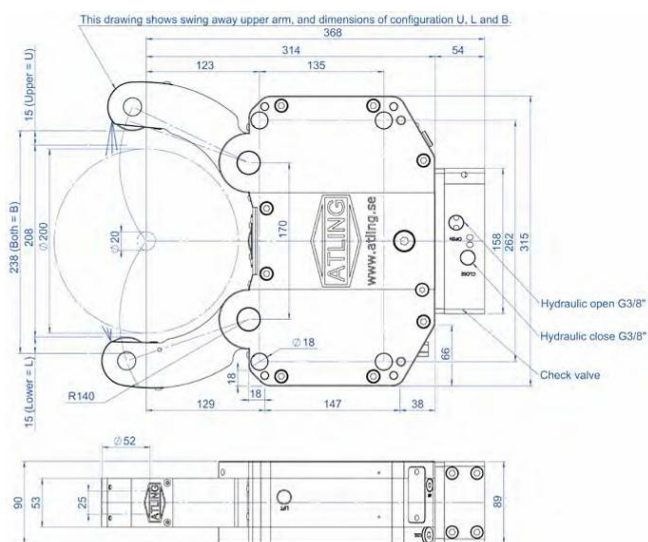


Рисунок 2.4 – Креслення люнету

4. Патрон повідковий

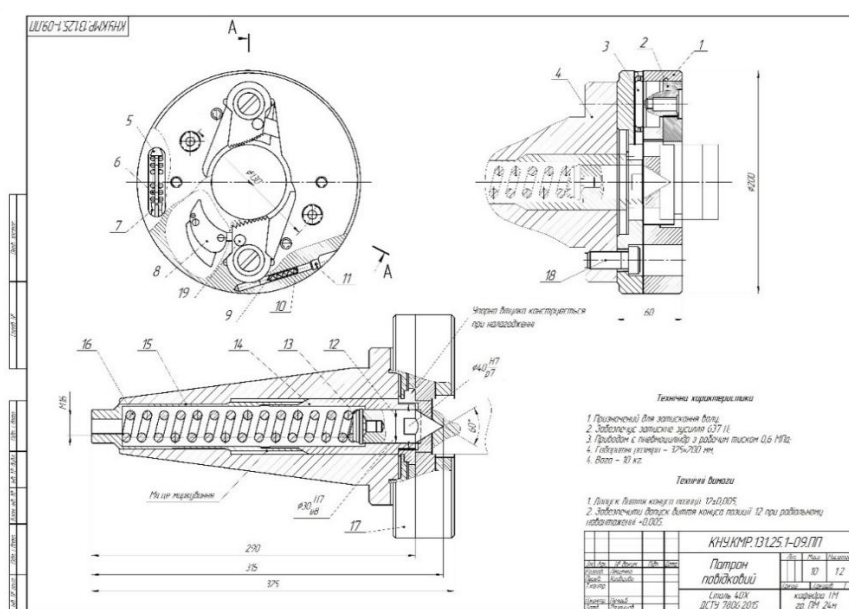


Рисунок 2.5 – Креслення повідкового патрону

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						35

Таблиця 2.14 – Технічна характеристика повідкового патрону

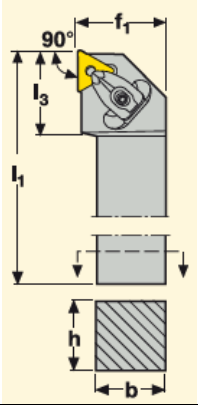
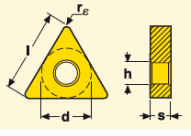
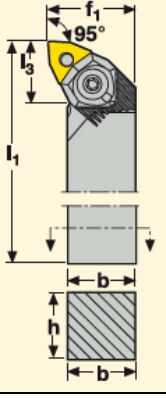
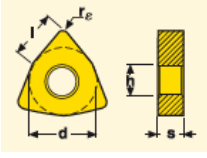
№	Найменування складової частини
1	Передня кришка
2	Упорне кільце
3	Опорна втулка
4	Корпус патрона
5	Щелепа
6	Регулювальний вузол
7	Пластина-направляюча
8	Рухомий важіль
9	Вісь
10	Клин
11	Гвинт кріпильний
12	Конус
13	Внутрішня направляюча втулка
14	Зовнішня направляюча
15	Шток
16	Пружина стискуюча
17	Опорна плита
18	Болт кріпильний
19	Вкладиш

2.7 Вибір ріжучого інструменту

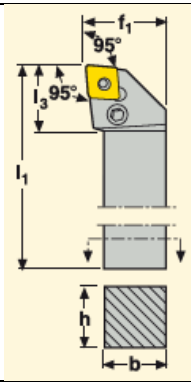
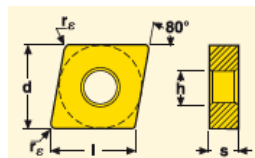
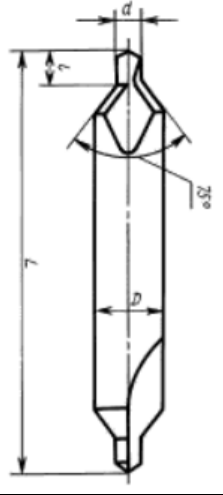
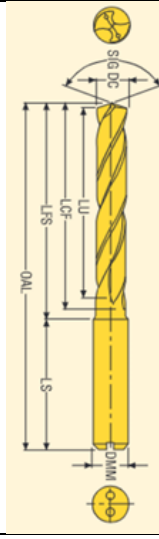
Одним із ключових етапів є правильний вибір ріжучого інструмента, оскільки саме він безпосередньо впливає на якість обробки, продуктивність процесу та довговічність обладнання. Під час визначення типу й параметрів інструмента враховуються конструктивні особливості деталі, властивості оброблюваного матеріалу, умови роботи верстата, а також вимоги до точності та шорсткості поверхонь. Раціональний підбір інструменту дозволяє забезпечити оптимальний режим різання, зменшити зношування та досягти економічної доцільності виробництва.

З урахуванням фізико-механічних властивостей матеріалу деталі, виду обробки і використаних металорізальних верстатів для прийнятих типів металорізальних інструментів, призначаємо матеріал різальної частини, геометричні параметри, матеріал державки інструменту.

Таблиця 2.15 – Структура та зміст технологічних обробки деталі

№	Інструмент та різальна частина		Геометричні параметри	№ оброб. поверхонь
1	2		3	4
1	Різець DTG NR2020K1 6-M [1, с. 98]		h = 20 мм; b = 20 мм; l1 = 125 мм; f1 = 25 мм; l3 = 29 мм.	1; 2; 3; 5; 6; 7; 8; 9; 10; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 17; 18
	Пластина TNMG 160304-M1 [1, с. 220]		Стружколом: M1 Матеріал: TP1500 d = 9,52 мм; l = 16,5 мм; s = 3,18 мм; h = 3,81 мм; r = 0,4...1,6 мм.	
2	Різець PWL NR2020K0 8 [1, с. 106]		h = 20 мм; b = 20 мм; l1 = 125 мм; f1 = 25 мм; l3 = 27 мм.	1; 3; 7; 11; 13; 15; 16; 17; 18
	Пластина WNMG080404-M1 [1, с. 228]		Стружколом: M1 Матеріал: TP2500 d = 12,7 мм; l = 8,7 мм; s = 4,76 мм; h = 5,15 мм; r = 0,4...1,6 мм.	

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5
3	Різець PCLNR2525M12 [1, с. 108]		h = 25 мм; b = 25 мм; l1 = 150 мм; f1 = 32 мм; l3 = 26 мм.	7; 11; 13; 15; 16; 17; 18; 20
	Пластина CNGG 120401- MF1 [1, с. 195]		Стружколом: MF1 Матеріал: TS2000 d = 12,7 мм; l = 12,9 мм; s = 4,76 мм; h = 5,15 мм; r = 0,1...0,8 мм.	
4	Центрувальне свердло 2317-0044		d = 10,00 мм; D = 31,5 мм; l = 14,2 мм; L = 128 мм.	4
5	Свердло SD205A-1450- 063-16R1-P [2, с. 54]		DC = 14,5 мм; OAL = 133 мм; LU = 63 мм; LFS = 85 мм; LS = 48 мм; LCF = 83 мм; DMM = 16 мм; SIG = 140°; Покриття: TiAlN.	4

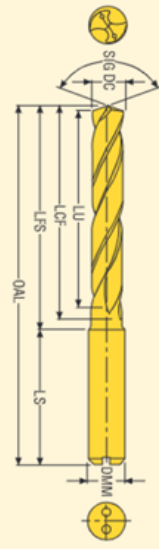
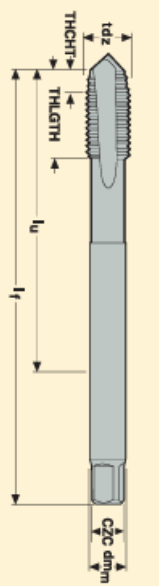
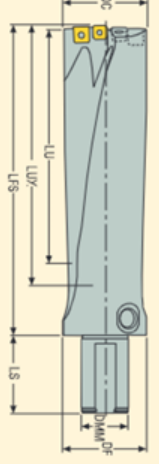
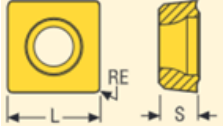
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ

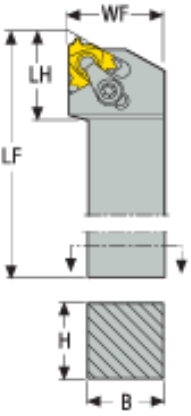
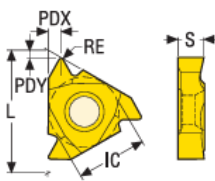
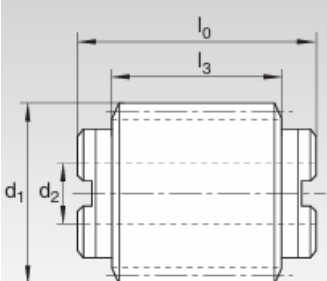
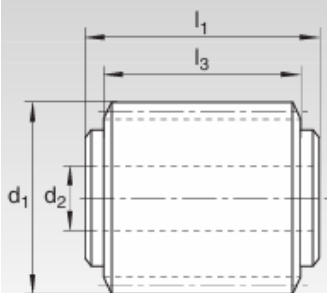
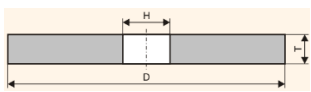
Арк.

38

Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5
6	Свердло SD205A-2100- 077-20R1-P [2, с. 56]		DC = 21,0 мм; OAL = 153 мм; LU = 77 мм; LFS = 10 мм; LS = 50 мм; LCF = 83 мм; DMM = 20 мм; SIG = 140°; Покриття: TiAlN.	4
7	Мітчик MTH- M16X2.00ISO6 H-BC-S020 [3, с. 296]		dm _m = 12,0 мм; lu = 68 мм; THLGTH = 50 мм; lf = 110 мм; CZC = 12,0×9,0; THCHT = C; tctr = 6H; Покриття: TiN; Матеріал: HSS-E.	4
8	Свердло SD545-80-200- 50-R7 [2, с. 191]		DC = 80,0 мм; LU = 200 мм; LFS = 251,5 мм; LS = 78 мм; LUX = 210,0 мм; DMM = 50 мм; DF = 79 мм.	19
	Пластина SCGX120408-P1 [2, с. 205]		L = 12,7 мм; S = 4,76 мм; RE = 0,8 мм.	

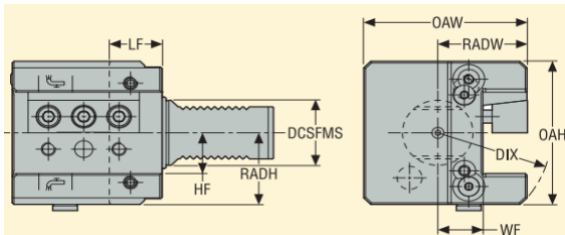
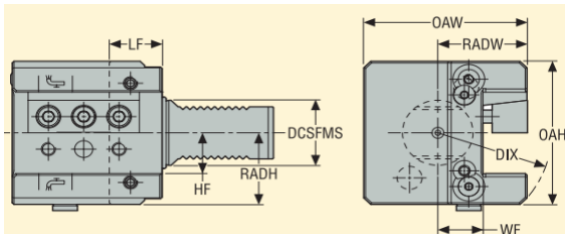
Продовження таблиці 2.15

1	2	3	4	5
9	Різець CER2525K16HD [3, с. 60]		H = 25 мм; B = 25 мм; LF = 150 мм; WF = 25 мм; LH = 32 мм.	20
	Пластина 16ERG55-A2 [3, с. 125]		RE = 0,2 мм; PDY = 1,2 мм; PDX = 1,5 мм; IC = 9,525 мм; S = 3,47 мм; L = 16,5 мм; Матеріал: CP500.	
10	Черв'ячна фреза 2022 [4, с. 15]		m = 26 мм; d ₁ = 310 мм; d ₂ = 80 мм; l ₀ = 360 мм; l ₃ = 320 мм; Матеріал: KHSS-E	3
11	Черв'ячна фреза 2402 [4, с. 66]		n = 10 мм; d ₁ = 100 мм; d ₂ = 32 мм; l ₁ = 80 мм; l ₃ = 72 мм; Матеріал: KHSS-E	7
12	Шліфувальний круг 1-108×16×45- 25A-40-P-6-V- 50-A-1 [5, с. 118]		Матеріал: 25A; Зернистість: 40; Твердість: P; Структура: 6; Клас точності: A; Клас неврівноваженос ті: 1; Розміри круга: 108×16×45.	11; 15; 16; 17

2.8 Вибір допоміжного інструменту

Виходячи з характеристик кріпильних місць верстата під ріжучий інструмент та параметрів посадочних поверхонь самих інструментів, здійснюється підбір і встановлення необхідного комплекту допоміжного оснащення для кожного обраного ріжучого інструмента. Розробка інструментального налагодження виконується для токарних операцій, що проводяться на верстатах MICROCUT BNC-1660 та MICROCUT BNC-1860.

Таблиця 2.16 – Допоміжний інструмент до токарної операції

№	Допоміжний інструмент	Геометричні параметри	Інструмент
1	2	3	4
1	 Розточний блок ASHN-R/L-VDI40-20-JETI 20 [1, с. 408]	HF = 20 мм; LF = 30 мм; RADH = 44 мм; OAH = 88 мм; DCSFMS = 40 мм; OAW = 93 мм; RADW = 43 мм; DIX = 64°; WF = 26 мм.	DTGNR2020K16-M PWLNR2020K08
2	 Розточний блок ASHN-R/L-VDI40-25-JETI 20 [1, с. 408]	HF = 25 мм; LF = 30 мм; RADH = 44 мм; OAH = 88 мм; DCSFMS = 40 мм; OAW = 93 мм; RADW = 43 мм; DIX = 64°; WF = 26 мм.	PCLNR2525M12 CER2525K16HD

2.9 Вибір засобів технічного контролю

Технічний контроль вала-шестерні передбачає виконання низки вимірювань. Діаметри перевіряють за допомогою спеціальних калібрів-скоб. Лінійні розміри по довжині контролюють із використанням шаблонів.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		41

Шорсткість поверхні: при значенні $Ra\ 3,2$ оцінка здійснюється шляхом порівняння з еталонними зразками шорсткості, а при $Ra\ 1,6$ застосовується профілометр, який фіксує профіль мікронерівностей та визначає параметр Ra .

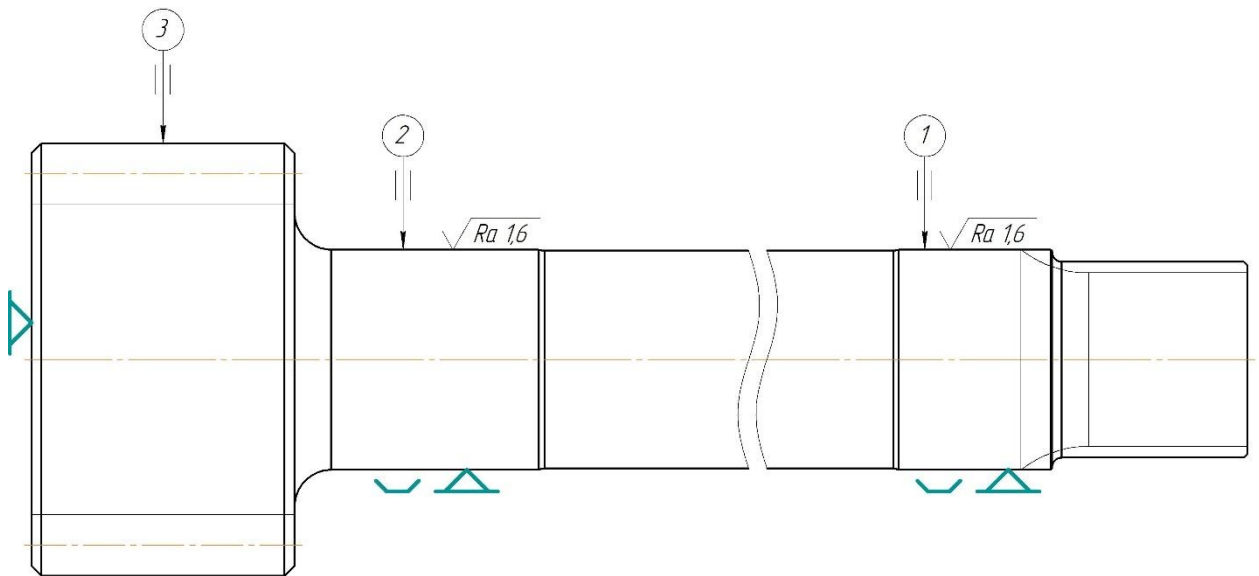


Рисунок 2.6 – Схема контролю валу-шестерні

2.10 Визначення припусків і операційних розмірів

Обчислимо припуски на обробку поверхні деталі $\varnothing 180h6$ ($^{+0,040}_{+0,013}$).

Технологічний маршрут передбачає три операції: чорнове, напівчистове та чистове точіння.

Обробка виконується на сучасних верстатах з ЧПК, це забезпечує високу точність позиціонування. Похибка у радіальному напрямку практично відсутня, тобто дорівнює нулю. Це має суттєве значення, адже усунення похибки в цій площині дозволяє досягти високої точності розмірів, отриманих у процесі розрахунку. Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.16.

Величина відхилень форми та положення заготовки, що виникають у процесі її механічної обробки визначається за формулою 2.1.

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2 + \rho_{ц}^2} \quad (2.1)$$

$\rho_{см} = 1,2$ мм – величина зміщення ділянок циліндричної поверхні шийки відносно одна одної в результаті неспівпадіння напівматриць горизонтально-кувальної машини;

$\rho_{см} = 0,5 \cdot 315 = 157,5$ (мкм) – просторове відхилення у вигляді короблення заготовки;

$\rho_{ц} = 0,25$ мм – радіальне биття оброблюваної поверхні в результаті погрішності зацентровки.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		42

Величина просторового відхилення поверхні заготовки:

$$\rho_0 = \sqrt{1200^2 + 157,5^2 + 250^2} = 1235,8 \approx 1236 \text{ (мкм)}$$

Остаточні просторові відхилення оброблюваної поверхні, що мають місце в результаті копіювання погрішностей при обробці, для кожного з технологічних переходів визначаються за формулою 2.2.

$$\rho_n = E \cdot \rho_0 \quad (2.2)$$

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 1236 = 74 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_2 = 49 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_3 = 37 \text{ (мкм)};$$

$$\rho_4 = 25 \text{ (мкм)}.$$

Мінімально необхідний припуск для виконання кожного з технологічних переходів, що розглядаються, визначається формулою 2.3.

$$2z_{n\min} = 2 \cdot (Rz + T + \sqrt{\rho^2 + \varepsilon^2}) \quad (2.3)$$

$$2z_{1\min} = 2 \cdot (50 + 100 + \sqrt{74^2 + 0^2}) = 448 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{2\min} = 249 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{3\min} = 160 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{4\min} = 103 \text{ (мкм)}.$$

Для визначення максимально можливих припусків та проміжних і граничних розмірів заготовки при виконанні окремих технологічних переходів раціонально скласти схему розташування проміжних припусків і допусків на проміжні та початкові розміри заготовки.

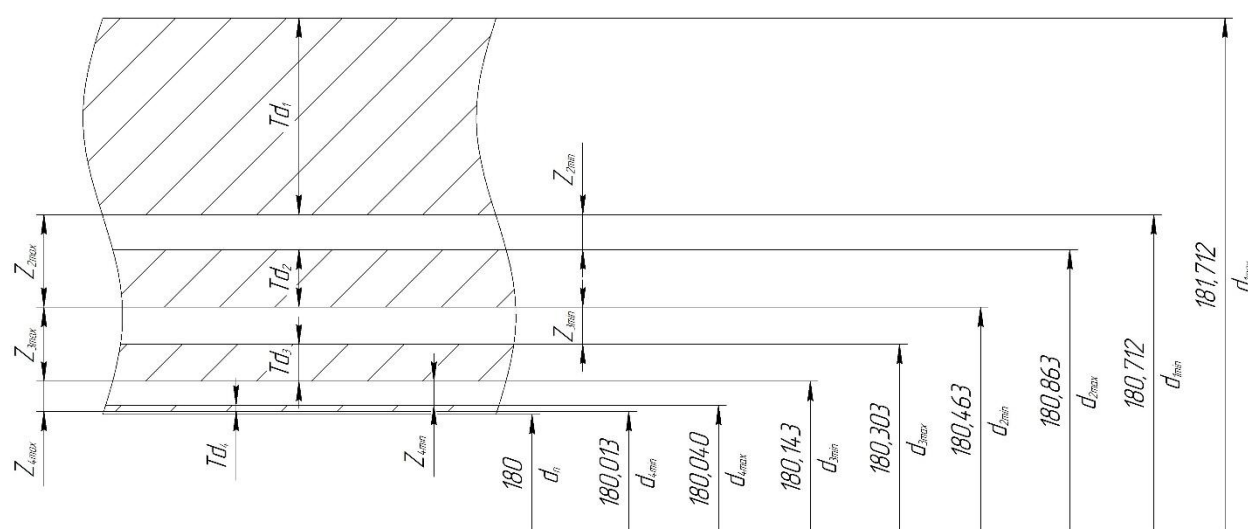


Рисунок 2.7 – Схема розташування проміжних припусків і допусків на проміжні та початкові розміри заготовки

$$2z_{1\max} = 2 \cdot \left(z_{1\min} + \frac{IT_0}{2} - \frac{IT_1}{2} \right) = 2 \cdot \left(448 + \frac{1600}{2} - \frac{1000}{2} \right) = 1496 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{2\max} = 1098 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{3\max} = 2 \cdot \left(z_{1\min} + \frac{IT_2}{2} + \frac{IT_3}{2} \right) = 2 \cdot \left(160 + \frac{400}{2} + \frac{160}{2} \right) = 880 \text{ (мкм)};$$

$$2z_{4\max} = 393 \text{ (мкм)}.$$

Проміжні та граничні розміри заготовки також розраховуються з використанням схеми на рисунку 2.6:

$$d_{4\min} = d + a_{\min} = 180 + 0,013 = 180,013 \text{ (мм)};$$

$$d_{4\max} = d + a_{\max} = 180 + 0,040 = 180,040 \text{ (мм)};$$

$$d_{3\min} = d_{4\max} + 2z_{4\min} = 180,040 + 0,103 = 180,143 \text{ (мм)};$$

$$d_{3\max} = d_{3\min} + IT_3 = 180,143 + 0,160 = 180,303 \text{ (мм)};$$

$$d_{2\min} = d_{3\max} + 2z_{3\min} = 180,303 + 0,160 = 180,463 \text{ (мм)};$$

$$d_{2\max} = d_{2\min} + IT_2 = 180,463 + 0,400 = 180,863 \text{ (мм)};$$

$$d_{1\min} = d_{2\min} + 2z_{2\min} = 180,463 + 0,249 = 180,712 \text{ (мм)};$$

$$d_{1\max} = d_{1\min} + IT_1 = 180,712 + 1 = 181,712 \text{ (мм)}.$$

Таблиця 2.17 – Розрахунки припусків і операційних розмірів

Граничні розміри, мм	1	$d_{\max}$	181,712	180,863	180,303	180,040
	2	$d_{\min}$	180,712	180,463	180,143	180,013
Граничні величини припусків, мкм	3	$2z_{\max}$	1496	1098	880	393
	4	$2z_{\min}$	448	249	160	103
Елементи припуску, мкм	5	ϵ	0	0	0	0
	6	ρ	74	49	37	25
	7	T	100	50	30	20
	8	Ra	12,5	6,3	3,2	1,6
Допуск IT, мкм	9	-	1000	400	160	27
Квалітет	10	-	14	12	10	6
Технологічні переходи	11	-	Точіння чорнове	Точіння напівчистове	Точіння чистове	Шліфування попереднє

2.11 Розрахунок режимів різання

Розрахуємо режими різання при точінні ділянки валу-шестерні аналітичним методом $\varnothing 180h6 \begin{smallmatrix} +0,040 \\ +0,013 \end{smallmatrix}$.

Швидкість різання залежить від властивостей ріжучого інструмента і може бути визначена за емпіричною формулою 2.4:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^v} \cdot K_v \quad (2.4)$$

$$V = \frac{340}{60^{0,2} \cdot 0,6^{0,15} \cdot 0,8^{0,45}} \cdot 0,944 = 168,9 \text{ (м/хв)}$$

$C_v = 340$ – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$m = 0,2$; $x = 0,15$; $v = 0,45$ – показники степені;

$T = 60$ хв – період стійкості інструмента;

$t = (181,212 - 180,0265)/2 = 0,6$ мм – глибина різання;

$S = 0,8$ мм/об – подача;

K_v – узагальнений коефіцієнт, що враховує зміни умов обробки до табличних.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \cdot K_{\varphi v} \cdot K_{rv} \quad (2.5)$$

$$K_v = 1,07 \cdot 0,8 \cdot 0,65 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,944$$

$K_{mv} = 1,07$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготовки;

$K_{nv} = 0,8$ – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки;

$K_{uv} = 0,65$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої частини інструмента;

$K_{\varphi v} = 0,9$ – коефіцієнт, що враховує геометрію головного кута в плані різця;

$K_{rv} = 1$ – коефіцієнт, що враховує радіус при вершині різця.

Під час налагодження верстата необхідно встановити частоту обертання шпинделя верстата.

Розрахункову швидкість, що забезпечує оптимальне різання, визначаємо за формулою (2.6):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \quad (2.6)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 168,9}{3,14 \cdot 181,212} = 296,8 \approx 300 \text{ (об/хв)}$$

Дійсна швидкість різання: $V_d = 170,7$ м/хв

Основний технологічний час – час, протягом якого відбувається зняття стружки без особистої участі робітника, визначаємо за формулою (2.7):

$$T_0 = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i \quad (2.7)$$

$$T_0 = \frac{201,85}{300 \cdot 0,8} \cdot 1 = 0,84 \text{ (хв)}$$

L – шлях інструмента в напрямку робочої подачі, визначається за формулою (2.8):

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						45
Змн.	Арк	№ док.ум.	Підпис	Дата		

$$L = l + y + \Delta \quad (2.8)$$

$$L = 200 + 0,35 + 1,5 = 201,85 \text{ (мм)}$$

$l = 200$ мм – розмір оброблюваної поверхні в напрямку подачі;

y – величина врізання, мм;

$\Delta = 1,5$ мм – величина перебігу;

$$y = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi \quad (2.9)$$

$$y = 0,6 \cdot \operatorname{ctg} 60^\circ = 0,35$$

t – глибина різання, мм;

φ – головний кут у плані різця;

i – кількість проходів.

Сила різання P_z , спрямована по дотичній до поверхні різання, визначає потужність, що витрачається на різання N_p .

Складові сили різання при точінні розраховують за аналітичною формулою (2.10):

$$P_{z(x,y)} = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.10)$$

$$P_{z(x,y)} = 10 \cdot 300 \cdot 0,6^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 170,7^{-0,15} \cdot 1,12 = 789 \text{ (Н)}$$

$C_p = 300$ – коефіцієнт, що враховує умови обробки;

$x = 1,0$; $y = 0,75$; $n = -0,15$ – показники степені;

K_p – узагальнений поправочний коефіцієнт, який враховує зміну умов відносно табличних, розраховується за формулою 2.11:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\varphi p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} \cdot K_{yp} \quad (2.11)$$

$$K_p = 0,95 \cdot 0,94 \cdot 1,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,12$$

$K_{mp} = 0,95$ – поправковий коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу;

$K_{yp} = 1,25$; $K_{\varphi p} = 0,94$; $K_{\lambda p} = 1,0$; $K_{rp} = 1,0$ – коефіцієнти, що враховують відповідні геометричні параметри різця.

Потужність різання розраховують за формулою 2.12:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (2.12)$$

$$N = \frac{789 \cdot 170,7}{1020 \cdot 60} = 2,2 \text{ (кВт)}$$

2.12 Технічне нормування операцій

Нормування технологічного процесу здійснюють по операції точіння ділянки валу $\varnothing 180h6 \begin{smallmatrix} +0,040 \\ +0,013 \end{smallmatrix}$ згідно до нормативів.

Технічна норма часу незалежно від типу верстата і методу обробки:

$$T_{шк} = T_{шт} + \frac{T_{пз}}{n} \quad (2.13)$$

$$T_{шк} = (1,71 + 1,85 + 2,49) + \frac{2,3}{800} = 6,1 \text{ (хв)}$$

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						46
Змн.	Арк	№ док.ум.	Підпис	Дата		

$T_{шт}$ – норма штучного часу, хв.;

$T_{пз} = 2,3$ хв – норма підготовчо-завершального часу на партію деталей;

$n = 800$ – розмір партії деталей, шт.

Норма штучного часу:

$$T_{шт} = T_o + T_b + T_{тех} + T_{орг} + T_{пп} \quad (2.14)$$

$$T_{шт1} = 0,84 + 0,64 + 0,072 + 0,12 + 0,037 = 1,71 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт2} = 0,96 + 0,64 + 0,078 + 0,13 + 0,04 = 1,85 \text{ (хв)}$$

$$T_{шт3} = 1,5 + 0,64 + 0,11 + 0,18 + 0,054 = 2,49 \text{ (хв)}$$

T_o – основний технологічний час, хв.;

$T_b = 0,64$ хв – допоміжний час;

$T_{тех}$ – час технічного обслуговування робочого місця;

$T_{орг}$ – час організаційного обслуговування робочого місця, хв.;

$T_{пп}$ – час перерв, хв.

Допоміжний час встановлюється для кожного технологічного переходу по нормативах і розраховується за формулою:

$$T_b = T_{в.у.} + T_{в.пер.} + T_{в.из.} \quad (2.15)$$

$$T_b = 0,22 + 0,24 + 0,18 = 0,64 \text{ (хв)}$$

$T_{в.у.} = 0,22$ хв – час установки і зняття заготовки;

$T_{в.пер.} = 0,24$ хв – час, пов'язаний з переходом;

$T_{в.из.} = 0,18$ хв – час на вимірювання.

Для операції основний технологічний час визначається підсумуванням T_o і T_b по технологічних переходах.

Оперативний час операції:

$$T_{оп} = T_o + T_b \quad (2.16)$$

$$T_{оп1} = 0,84 + 0,64 = 1,48 \text{ (хв)}$$

$$T_{оп2} = 0,96 + 0,64 = 1,6 \text{ (хв)}$$

$$T_{оп3} = 1,5 + 0,64 = 2,14 \text{ (хв)}$$

2.13 Застосування САМ-систем до технологічних операцій

Розроблення операцій обробки для верстатів із числовим програмним керуванням (ЧПК) доцільно виконувати із застосуванням сучасних САМ-систем, зокрема FeatureCAM, яка забезпечує автоматизацію створення траєкторій інструменту та генерацію керуючих програм.

У середовищі FeatureCAM для токарної операції було побудовано модель процесу різання, оптимізовано режими обробки та сформовано код керуючої програми, наведений у додатку А.

Програма створює точну послідовність рухів інструмента відповідно до заданої геометрії деталі та параметрів режимів різання.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.02.ПСТПВ	Арк.
						47
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Хід виконання операції та отриманий результат візуалізовано на Рис. 2.7 та Рис. 2.8, що демонструють етапи формування поверхні та відповідність отриманої моделі вимогам креслення.

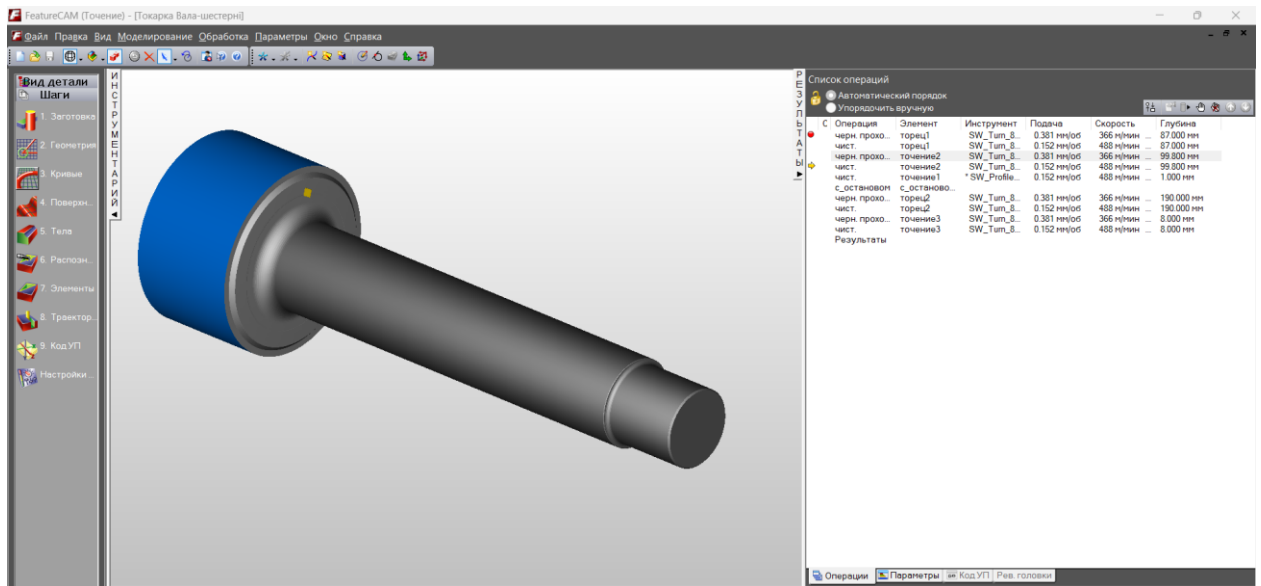


Рисунок 2.8 – Фрагмент симуляції обробки деталі «Вал-шестерня» в САМ-системі FeatureCAM

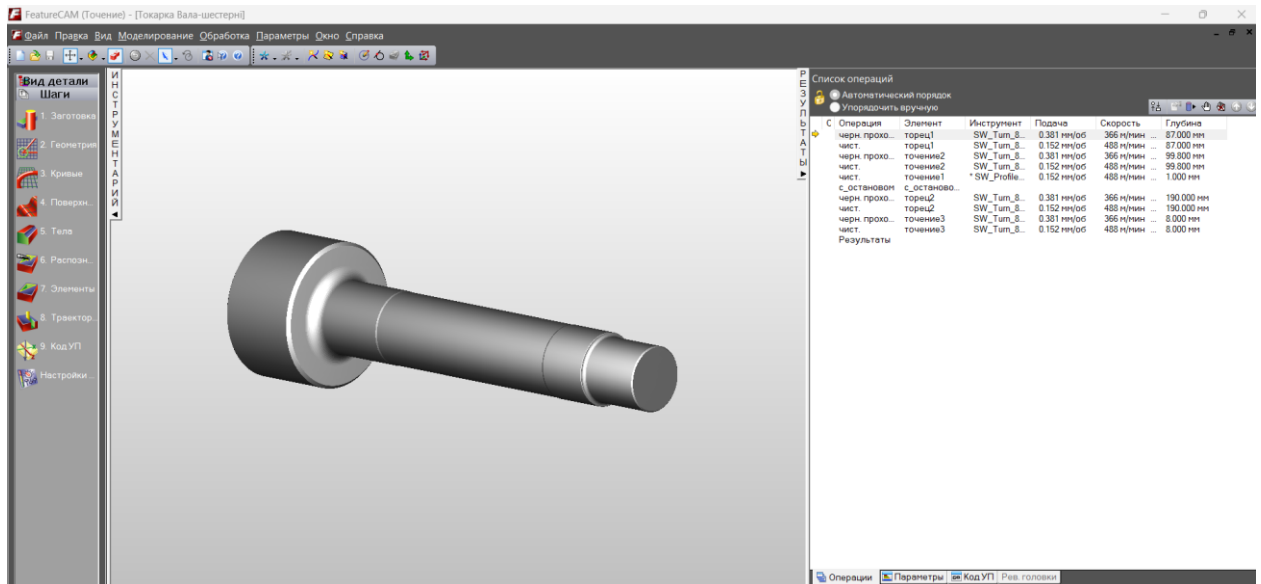


Рисунок 2.9 – Результат обробки деталі «Вал-шестерня» в САМ-системі FeatureCAM

Повідковий патрон – це допоміжний притискний пристрій, який використовується при токарних, шліфувальних та інших обробних операціях для забезпечення радіальної опори тонких або довгих деталей, а також для передачі крутного моменту при обробці, коли традиційний кулачковий патрон або центри не забезпечують потрібної жорсткості чи точності.



Використовуються для забезпечення додаткової опори при токарній або шліфувальній обробці довгих або тонких деталей; центрування заготовки відносно осі верстата та підвищення її радіальної жорсткості; передача обертання від шпинделя через робочу деталь; зменшення ризику вібрацій, биття та деформації деталі, що підвищує якість обробленої поверхні і точність розмірів.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.03.ПВЮЗ				
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата					
Розроб.		Лещенко			ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО ОСНАЩЕННЯ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САД-СИСТЕМ	Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова						49	78
Реценз.						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Н. контр.		Нечаєв							
Затв.		Рязанцев							

Принцип дії: Заготовка вставляється між опорним елементом повідкового патрона та іншою опорою. Регулювальним механізмом встановлюють контактну силу так, щоб заготовка щільно, але без надмірного притиску прилягала до опори. Під час обробки сили, що намагаються зігнути або змістити заготовку, сприймаються опорною поверхнею повідкового патрона, що значно підвищує жорсткість системи. Якщо патрон має механізм передачі крутного моменту, то він забезпечує обертання заготовки разом із шпинделем – це важливо при обробці гладких або тонких деталей, яким потрібна синхронна передача обертання.

Повідковий патрон складається з жорсткого корпусу, який має посадочну частину для монтування на шпиндель чи в пристосування, внутрішньої конічної частини та опорної площини; коробчастої кришки, що закриває і фіксує внутрішні елементи; робочого захватного вузла – комплекту кулачків або цанг, змінних захватних вставок і кронштейнів, які взаємодіють з заготовкою; регулювального механізму для переміщення і притиснення захватних елементів; пружинного елемента, що забезпечує зворотний хід і амортизацію при захопленні; опорного елемента, який сприймає радіальні навантаження і передає їх на корпус; вузла передачі крутного моменту – за наявності конструкції, що передає обертання; напрямних або направляючих втулок для забезпечення точної осьової та радіальної роботи рухомих частин; ущільнювачів і манжет для захисту внутрішніх деталей від стружки та охолодної рідини; фіксаторів і стопорних гвинтів для закріплення положення патрона та його елементів; кріпильних елементів і опорних деталей; а також допоміжних елементів – маркувального майданчика, прокладок, амортизуючих вставок і захисних кришок.

3.2 Проектування контрольного оснащення

Для перевірки точності виготовлення деталі вал-шестерня розроблено спеціальне контрольне оснащення, що забезпечує зручність вимірювань і високу надійність результатів. Оснащення змонтовано на базовій плиті, до якої закріплюються задня бабка та опорні елементи у вигляді призм із підшипниковими роликами. Така конструкція дозволяє вільне обертання валу під час контролю та зменшує вплив тертя на результати вимірювань.

Плита має Т-подібні пази, які забезпечують можливість регулювання положення опорних елементів і штативів з індикаторами. Геометричні параметри пазів відповідають стандартним розмірам. Кріплення елементів на плиті здійснюється за допомогою притискних планок і болтів, що гарантує стабільність під час вимірювань.

Контрольна установка оснащена трьома штативами з індикаторами годинникового типу, які призначені для вимірювання радіального биття

					КНУ.КМР.131.25.1-07.03.ПВІОЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк	№ док.ум.	Підпис	Дата		

зубчастого вінця шестерні, а також контролю концентричності поверхонь під підшипники відносно осі валу. Така система дозволяє виконувати перевірку деталі безпосередньо після токарної або зубообробної операції без потреби додаткового базування.

Для встановлення деталі використовуються призми типу КІЗП, які забезпечують стабільну опору та точне центрування деталі за циліндричною поверхнею. Наявність роликів елементів знижує похибки, пов'язані з мікронерівностями поверхонь і силами тертя під час обертання валу.

Контрольне оснащення розроблено з урахуванням технологічних вимог: передбачено зручне розміщення індикаторів, вільний доступ до вимірюваних зон, а також можливість оперативного регулювання положення опорних елементів. На Рис. 3.2 подано загальний вигляд оснащення, а також розрізи, які демонструють конструкцію призми, розміщення Т-подібних пазів і з'єднання з плитою.

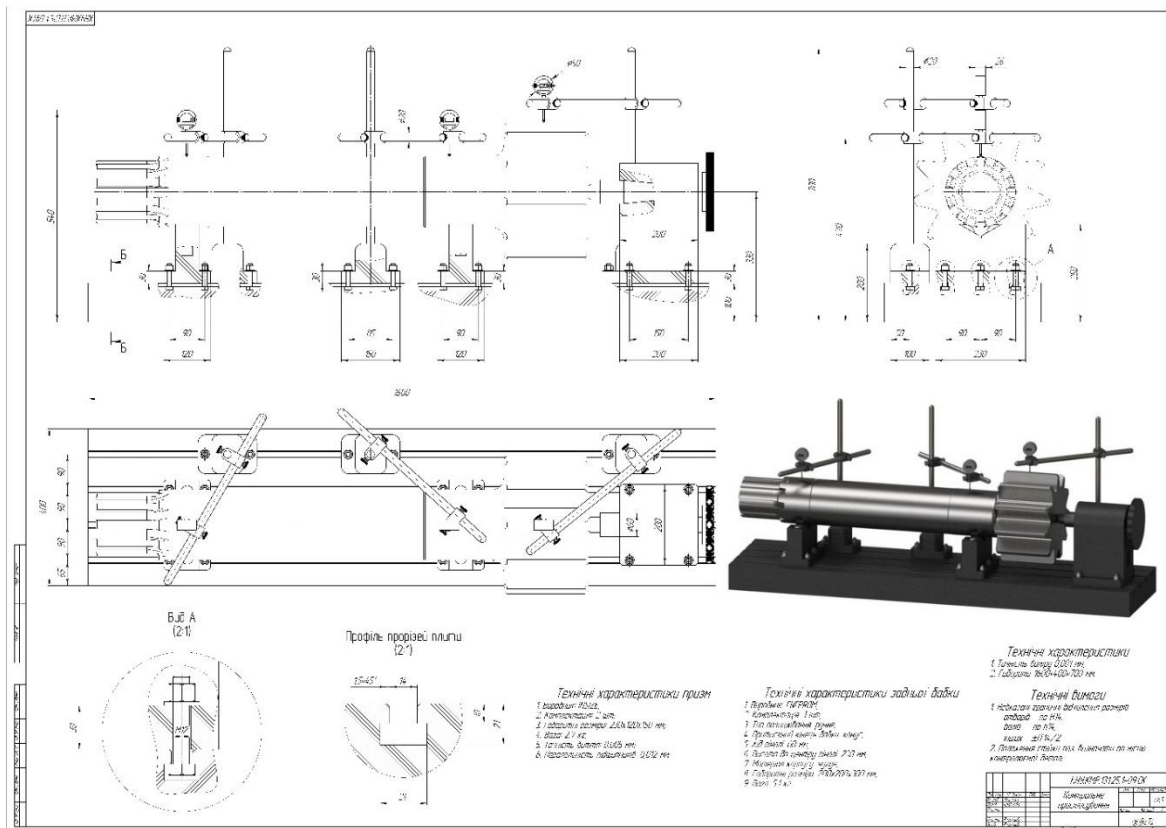


Рисунок 3.2 – Креслення контрольного оснащення

Отримане рішення дозволяє здійснювати повний контроль геометричних параметрів вал-шестерні – зокрема, биття, співвісності, довжини базових ділянок, правильності розташування зубців і посадочних поверхонь – з високою точністю та відтворюваністю результатів.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.03.ПВІОЗ		Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата			51

4 ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ І МАТЕРІАЛУ ВАЛА-ШЕСТЕРНІ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САЕ- СИСТЕМИ

4.1 Налаштування статичного дослідження вала-шестерні у САЕ-системі

З метою проведення розрахунку вал-шестерні на міцність у середовищі SolidWorks Simulation було обрано матеріал сталь 34CrNiMo6 відповідно до ДСТУ EN 10250-3 (Рис. 4.1). Згідно з літературними даними, межа текучості цього матеріалу знаходиться в діапазоні 900–1300 МПа. Для забезпечення консервативності оцінки та перевірки мінімального запасу міцності в розрахунках прийнято нижнє значення межі текучості — 900 МПа.

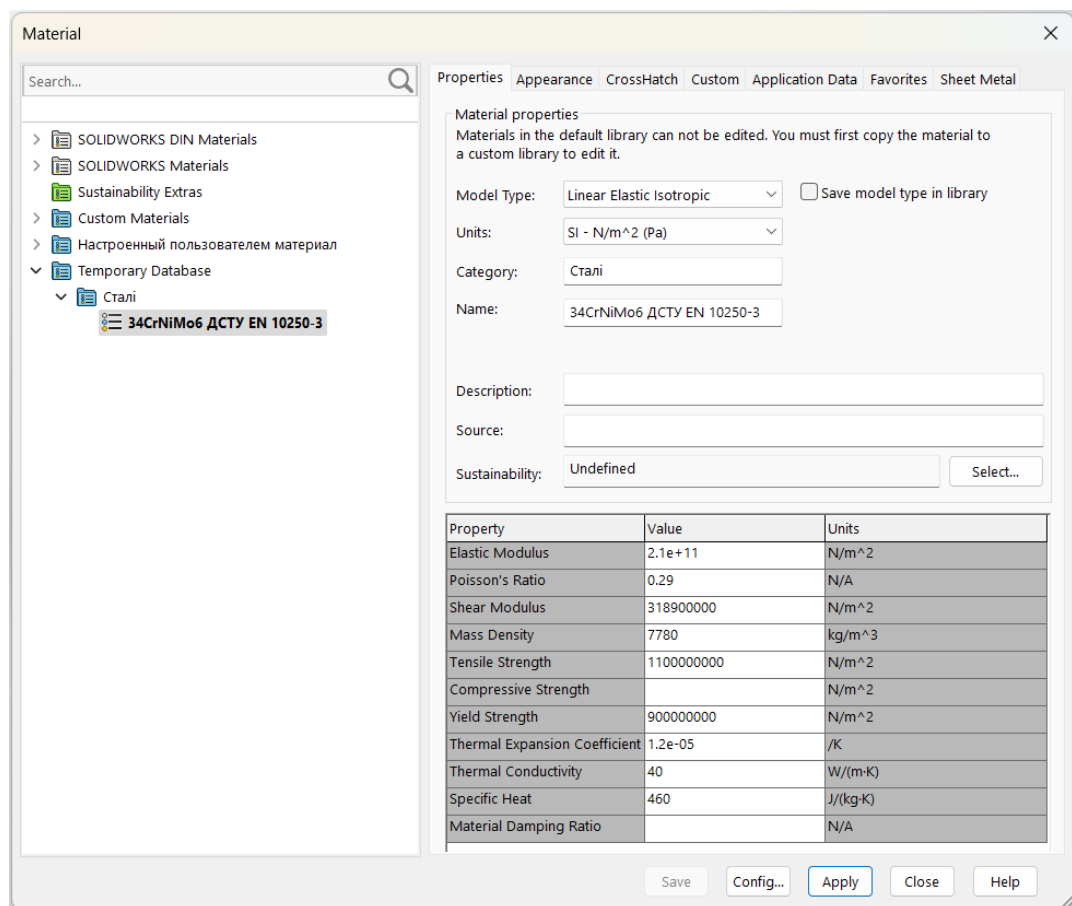


Рисунок 4.1 – Параметри матеріалу сталь 34CrNiMo6 ДСТУ EN 10250-3 вала-шестерні (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК								
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ, КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ І МАТЕРІАЛУ ВАЛА- ШЕСТЕРНІ МЕТОДОМ КІНЦЕВИХ ЕЛЕМЕНТІВ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ САЕ-СИСТЕМИ				Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Лещенко										52	78	
Перевір.	Кравцова								Кафедра ТМ гр. ПМ-24м				
Реценз.													
Н. контр.	Нечасів												
Затв.	Рязанцев												

Основна мета обчислення у випробовуванні вала на кручення при номінальних значеннях крутного моменту.

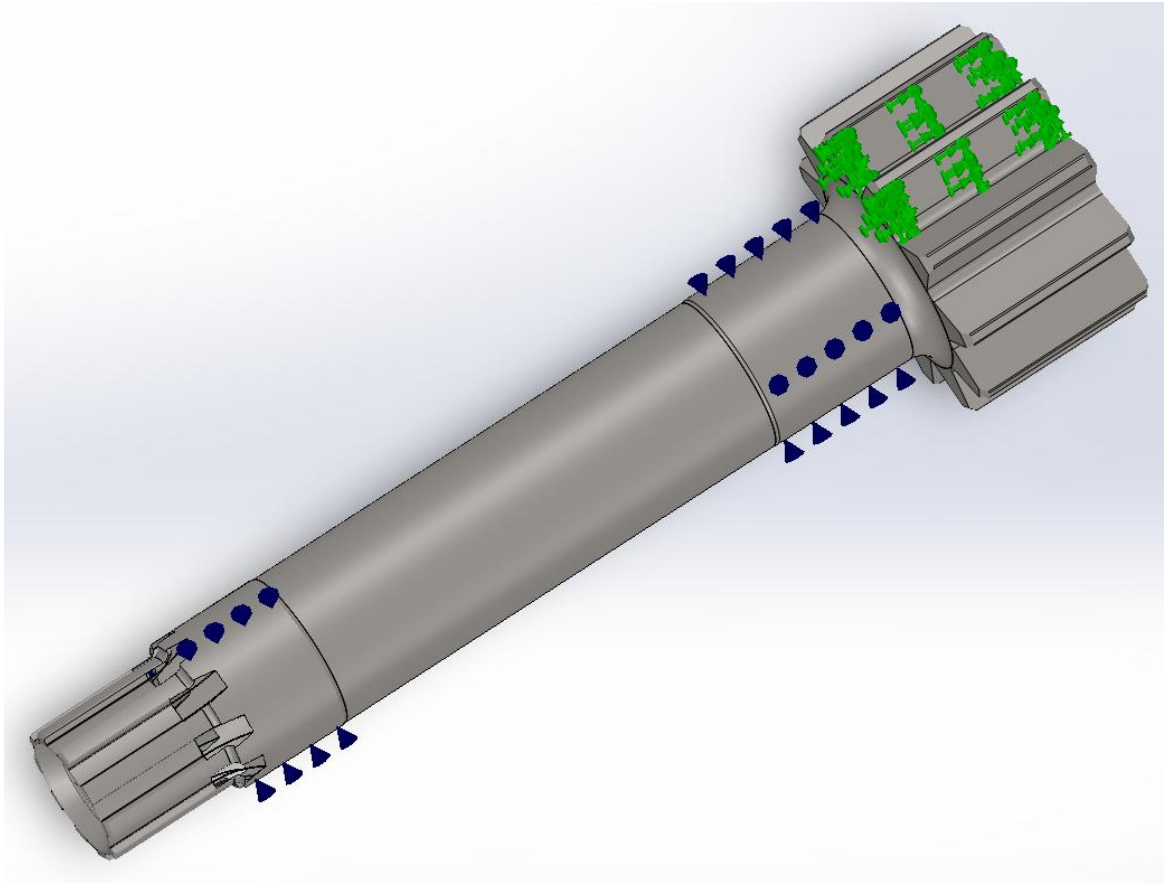


Рисунок 4.2 – Кріплення вала-шестерні в просторі типом «Опора вальниці» та «Зафіксована геометрія» для двох зубів у зачепленні (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

Кріплення вала-шестерні реалізуємо з допомогою «Опора вальниці» з наступними налаштуваннями. Опора біля шліці : Total lateral stiffness 3×10^9 (Н/м), Total axial stiffness 1×10^9 (Н/м) – тримає і по осі, і по радіусу. Опора біля шестерні: Total lateral stiffness 3×10^9 (Н/м), Total axial stiffness 0 (Н/м) – лише радіальна опора, осьове ковзання дозволено. Таким чином найпростіше, але достатньо реалістично, можна імітувати кріплення вала у підшипниках редуктора.

Бічні поверхні двох зубів зафіксовано по всім степеням свободи із метою імітувати заклинювання шестерні. Пряму контакту на зубцях у зачепленні не виокремлено і тієї причини, що фіксація цілої бічної поверхні зуба або лише смужки на зубі не призведе у даному обчисленні до кардинально різних результатів.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		53

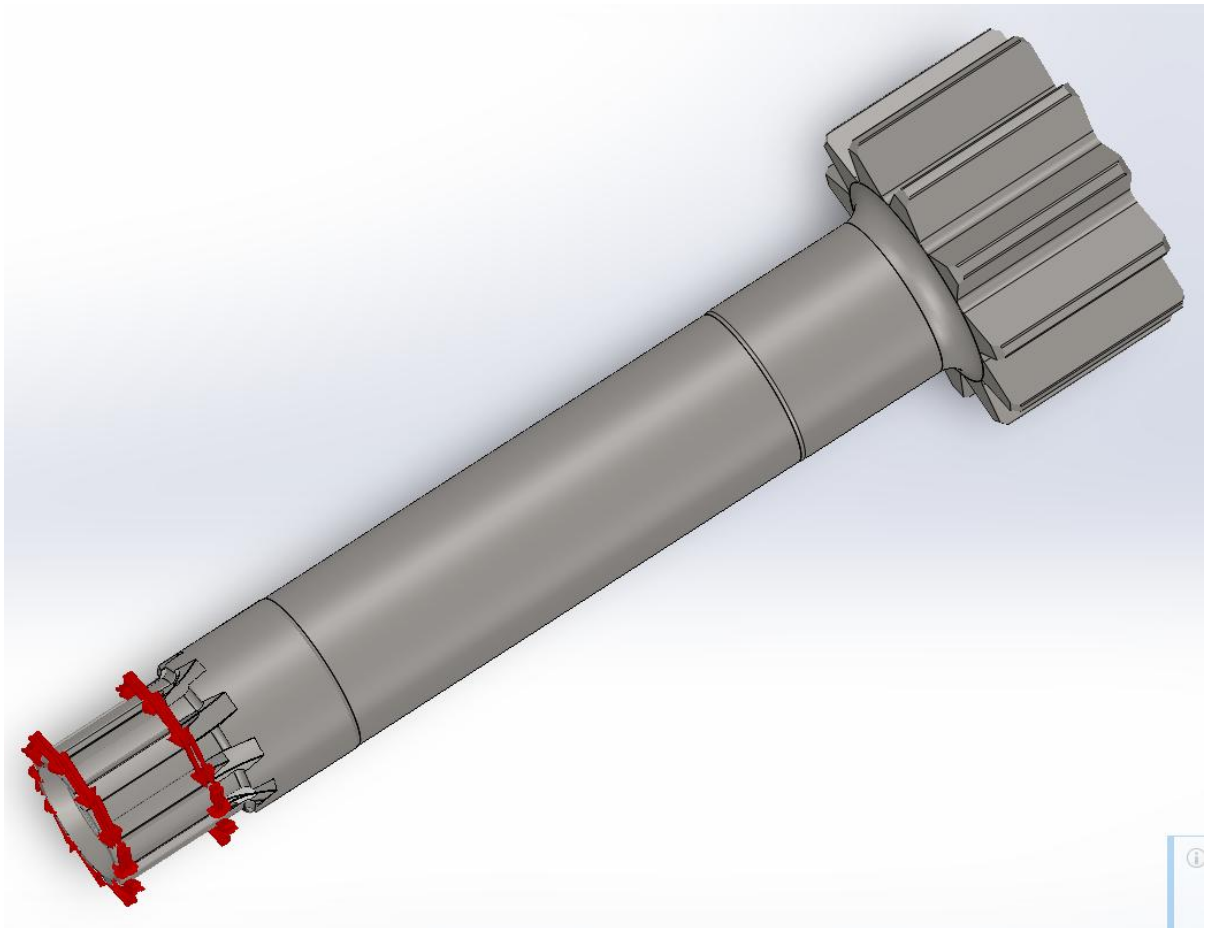


Рисунок 4.3 – Навантаження шліцьової поверхні вала-шестерні «Крутним моментом» (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

Виходячи із паспортних даних вихідний момент з двигуна, тобто, момент, який реально передається на вал редуктора від двигуна становить 4340 Н·м. Напрямок дії на зубці шліці показано на рис. 4.3.

Отже, для моделювання напружено-деформованого стану вал-шестерні було створено розрахункову схему, у якій один кінець вала піддавався обертовому навантаженню, а зубці шестерні на протилежному кінці були зафіксовані від обертання. Така постановка задачі дозволяє відтворити умови випробування вала на кручення, що відповідає можливій аварійній ситуації заклинювання шестерні під час роботи редуктора.

Проведення статичного дослідження у SolidWorks Simulation є необхідним для визначення розподілу еквівалентних напружень, кутів закручування та деформацій у матеріалі вала під дією крутного моменту. Це дозволяє: оцінити запас міцності конструкції відносно межі текучості сталі; виявити зони концентрації напружень, які є потенційними місцями зародження тріщин; перевірити адекватність геометрії вала та можливість його подальшої

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
						54
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

оптимізації; спрогнозувати поведінку елемента при критичних режимах експлуатації, зокрема при заклинюванні або перевантаженні.

Таким чином, статичне дослідження дозволяє комплексно оцінити працездатність та надійність вала-шестерні на етапі проектування.

Mesh Details	
Study name	Статический 1* (-По умолчанию-)
DetailsMesh type	Solid Mesh
Mesher Used	Blended curvature-based mesh
Jacobian points for High quality mesh	4 points
Max Element Size	12 mm
Min Element Size	3 mm
Mesh quality	High
Total nodes	598587
Total elements	419801
Maximum Aspect Ratio	1 988,3
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	97,5
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	0,559
Percentage of distorted elements	0,0536
Number of distorted elements	225
Reuse mesh for identical bodies	Off
Number of bodies that have reused mesh	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:00:38

Рисунок 4.4 – Детальні параметри сітки кінцевих елементів вала-шестерні (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

Для створення сітки кінцевих елементів було побудовано стартову сітку по наступним рекомендованим параметрам (вал $\varnothing \approx 180$ мм): global element size старт: $d/10 \approx 18$ мм. Локальний елемент у корені зубця/шпоночного паза: $d/25 \dots d/40 \approx 4.5\text{--}7.2$ мм. Мінімум елементів по діаметру у зоні, котра аналізується: 10–15. Кількість елементів між опорами: ≥ 15 . Ціль: $\Delta\% \leq 3\%$ для max von Mises. У ході пошуку збіжності сітки остаточно параметри сітки становили такі як на рис. 4.4.

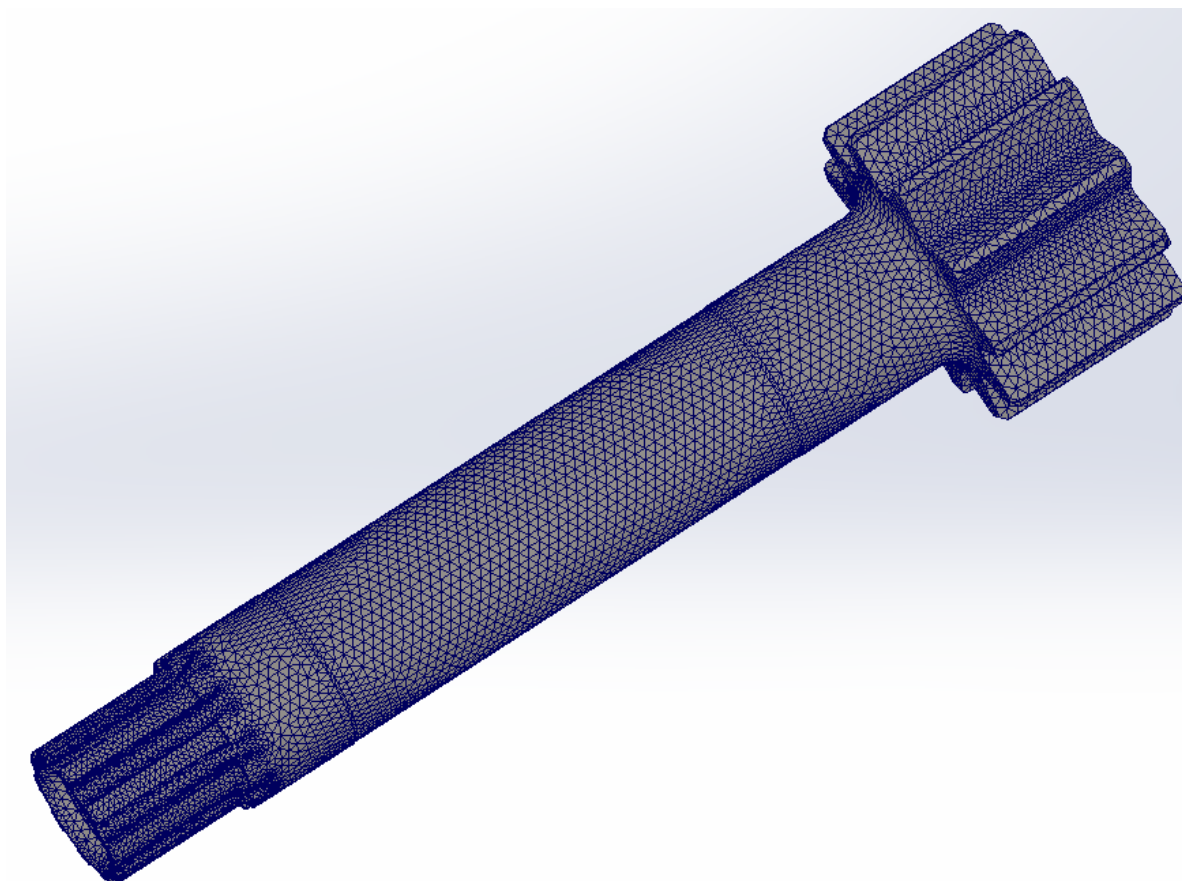


Рисунок 4.5 – Відображення сітки кінцевих елементів на поверхні вала-шестерні (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

4.2 Інтерпретація епюр отриманих у статичному аналізі вала-шестерні

Як видно з рис. 4.6, максимальні значення еквівалентних напружень формуються переважно в ділянках коренів зубців шестерні, зон шліцьових з'єднань і перехідних канавок. Таке розташування напружень зумовлене локальною концентрацією механічних навантажень у місцях різкої зміни перерізу, де відбувається перерозподіл крутного моменту та виникнення додаткових згинальних складових.

Результати числового аналізу напружено-деформованого стану показали, що отримані значення еквівалентних напружень не перевищують межу текучості сталі 34CrNiMo6, що свідчить про роботу елемента в межах пружної області деформації. Відповідно до критерію міцності, вал-шестерня здатна надійно сприймати прикладене навантаження без втрати працездатності.

Отримані результати підтверджують адекватність прийнятої розрахункової моделі, коректність прикладених граничних умов і навантажень, а також відповідність геометричних параметрів і вибраного матеріалу вимогам експлуатаційної надійності.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
						56
Змн.	Арк	№ док-м.	Підпис	Дата		

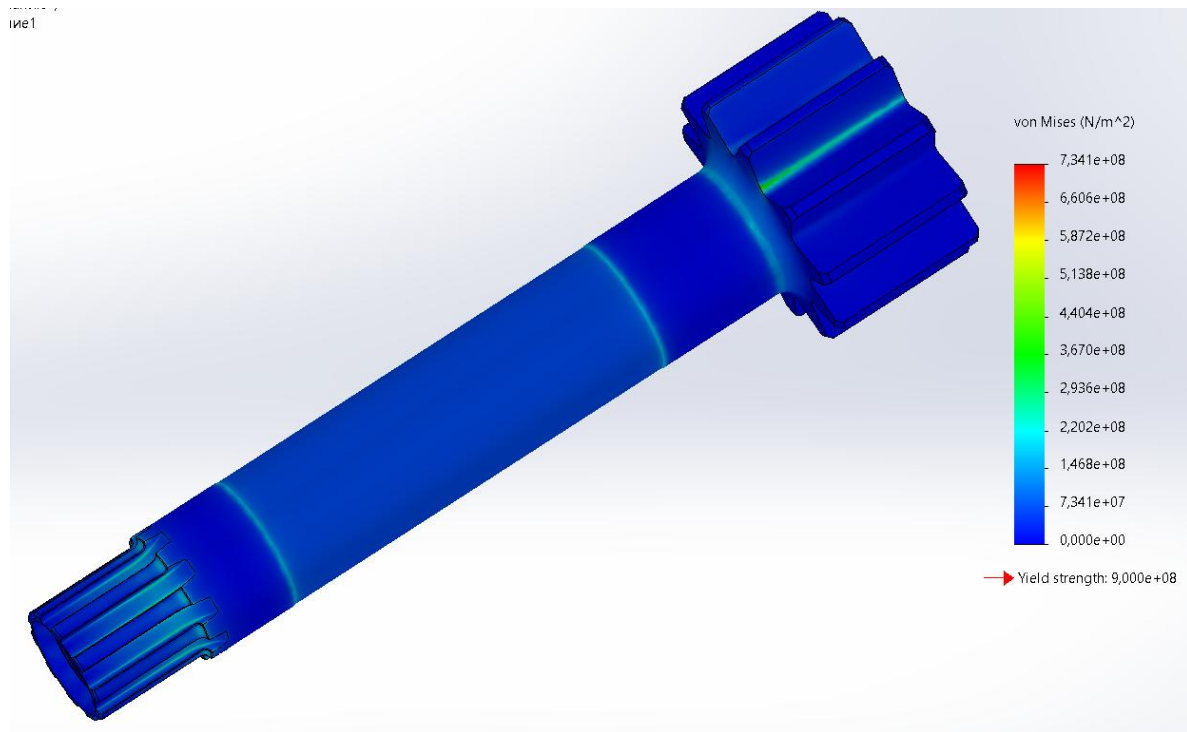


Рисунок 4.6 – Епюра розподілу еквівалентних напружень на поверхні вала-шестерні під дією навантаження (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

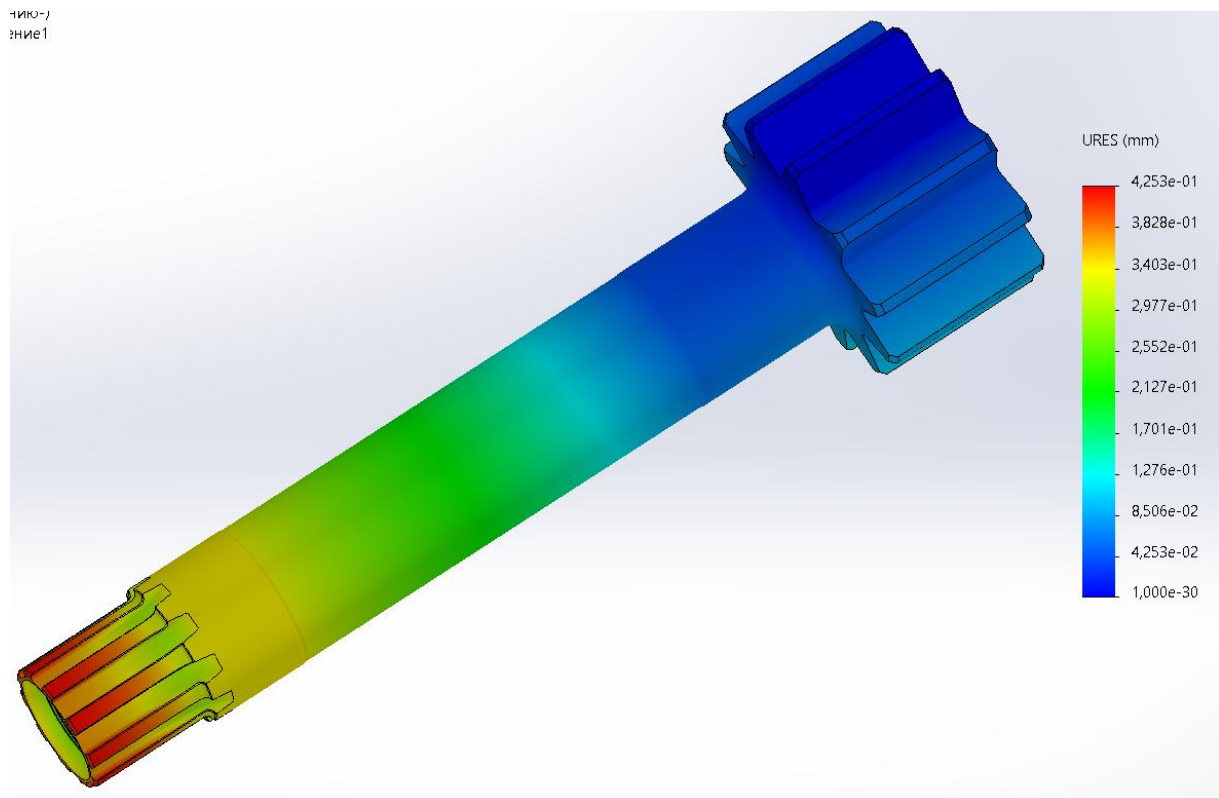


Рисунок 4.7 – Епюра переміщень матеріалу на поверхні вала-шестерні під дією навантаження (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		57

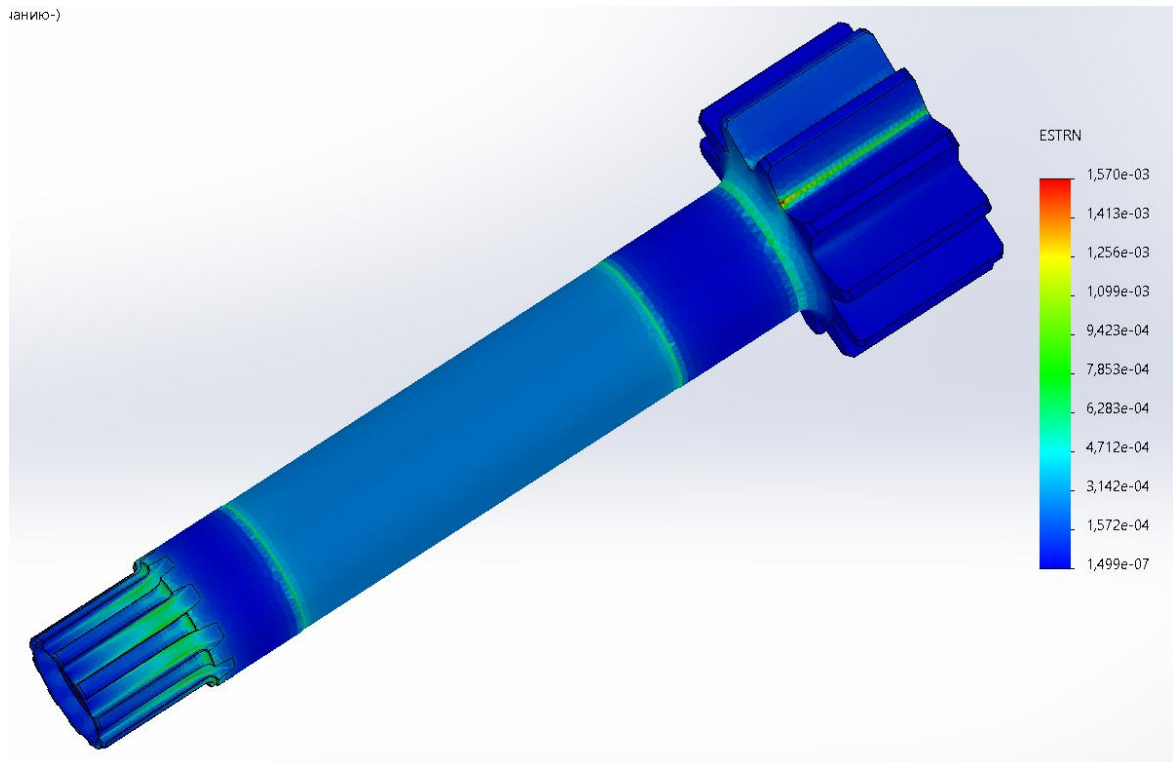


Рисунок 4.8 – Епюра деформацій матеріалу на поверхні вала-шестерні під дією навантаження (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

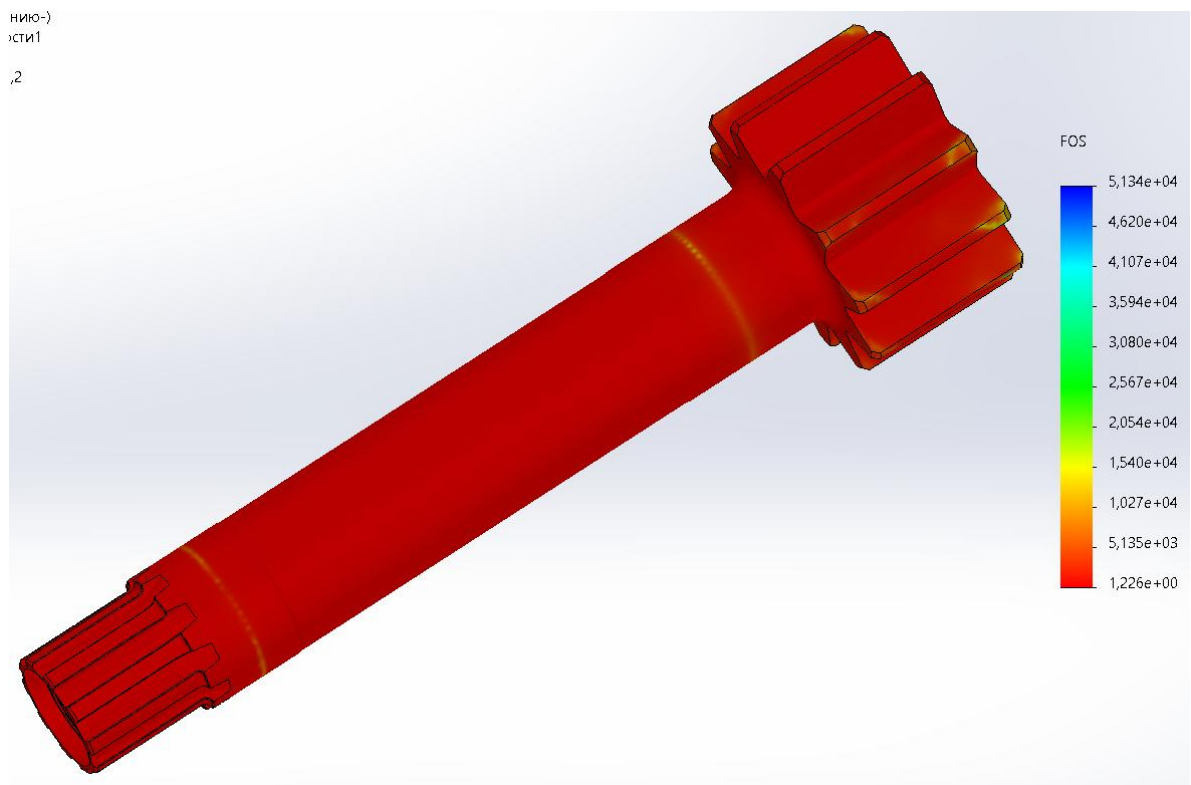


Рисунок 4.9 – Епюра розподілу мінімального запасу міцності на поверхні вала-шестерні під дією навантаження (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		58

На рис. 4.9 наведено просторовий розподіл коефіцієнта запасу міцності в об'ємі досліджуваного елемента. Результати розрахунку свідчать, що мінімальне значення коефіцієнта становить 1,3, причому воно характерне для більшості масивної частини деталі, де спостерігається основне передавання крутного моменту. Такий рівень запасу є допустимим відповідно до інженерних критеріїв міцності для статичних навантажень, за відсутності значних коливальних режимів роботи, втомних циклів або агресивних зовнішніх чинників.

Разом із тим, з урахуванням можливих експлуатаційних відхилень — варіацій прикладених навантажень, похибок складання, технологічних неточностей у виготовленні чи зносу з'єднань — доцільно розглянути оптимізацію конструкції з метою підвищення мінімального запасу міцності. Це може бути досягнуто зниженням концентрацій напружень у перехідних зонах, зміною радіусів філе, або локальним посиленням критичних перерізів без істотного збільшення маси чи габаритів деталі. А також виконання якісної термічної обробки (гартування і відпуск) може підвищити міцність до 1300 МПа згідно досліджень сталі 34CrNiMo6, що уже на 44% збільшить запас міцності.

Таким чином, отримані результати підтверджують загальну працездатність і надійність конструкції, але водночас вказують на можливі напрямки її інженерного удосконалення для підвищення довговічності в реальних умовах експлуатації.

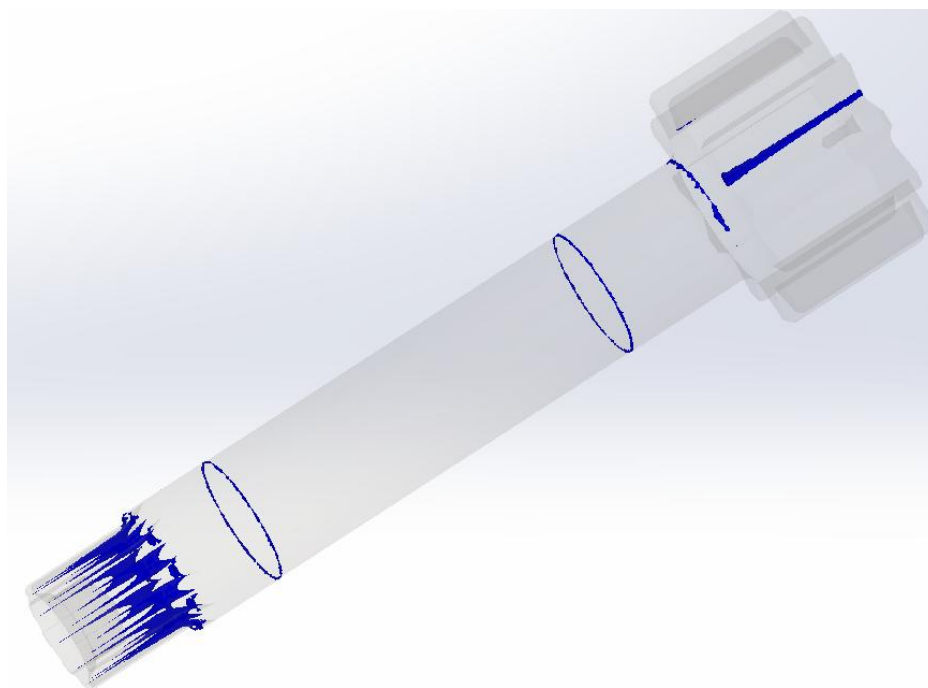


Рисунок 4.10 – Епюра розподілу найвищих еквівалентних напружень всередині тіла вала-шестерні під дією навантаження (скріншот вікна SolidWorks Simulation)

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		59

Для дослідження внутрішнього розподілу напружень у тілі деталі було виконано побудову епюри енергетичної щільності деформацій за допомогою інструмента Design Insight (рис. 4.10). Цей функціонал дає змогу візуалізувати зони максимального накопичення енергії деформації, що корелюють із областями найбільшої напруженості матеріалу.

Отримані результати демонструють очікувану концентрацію напружень не лише в зоні фіксації, де діє реакційний момент, але й у ділянках із геометричними неоднорідностями — у місцях переходів перерізів, радіусах заокруглень, канавках та западинах зубців. Саме ці зони є потенційними концентраторами напружень, що зумовлено локальною зміною жорсткості й нерівномірним розподілом напружено-деформованого стану, що узгоджується з положеннями теорії пружності та результатами числового моделювання для складного напруженого стану.

Проведений аналіз є важливим етапом інженерної верифікації конструкції, оскільки дає змогу ідентифікувати критичні ділянки на ранній стадії проєктування та, за необхідності, внести конструктивні корективи для підвищення ресурсу, надійності та довговічності деталі в умовах реальної експлуатації.

Отже, із метою підвищити запас міцності вала-шестерні у зонах концентрації напружень, а саме, на зубах шестерні та на проміжній ділянці вала між шестернею і посадковим місцем для вальниці. Було проаналізовано найсучасніші наукові статті, в яких досліджено методи зміцнення сталі саме нашої марки 34CrNiMo6. Серед оглянутих методів були: метод дробоструминної обробки [12], метод мало-пластичного кулькового обкатування [13], лазерно-ударне зміцнення [14], індукційне гартування та відпуск [15]. Огляд та аналіз перелічених методів опублікований нами у [17].

Обраний нами метод індукційного гартування з відпуском для сталі 34CrNiMo6 згідно досліджень авторів [15] дає змогу досягнути межі міцності порядку 1300 МПа, а для даного вала-шестерні запасу міцності у 1,75.

Оптимальний режим термообробки визначений у дослідженні [15], включав індукційне гартування сталі 34CrNiMo6 при струмі 600 мА протягом 7 с, доповнене відпуском при температурі 330°C протягом 2 год. Внаслідок цієї комплексної обробки механічні характеристики суттєво покращилися, зокрема, межа міцності при розтягу досягла 1378 МПа. Мікроструктура утворилася зональною, складаючись із загартованого шару, який переважно містив відпущений мартенсит. Товщина загартованого шару може досягати 3,21 мм.

Даний режим зміцнювальної термообробки включений у структуру та зміст технологічних операцій обробки вала-шестерні КНУ.КМР.131.25.1-07.СЗТОО.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.04.ІАГПК	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО- АНАЛІТИЧНИХ РОБІТ

5.1 Планування фондів капітальних вкладень

5.1.1 Розрахунок вартості будівель цеху

Планування фондів капітальних вкладень передбачає визначення обсягів інвестицій, необхідних для розвитку виробництва, модернізації обладнання, оновлення основних фондів та впровадження нових технологій.

Первісна вартість одиниці обладнання визначається з урахуванням підготовчих витрат, до яких належать будівельно-монтажні роботи, улаштування фундаментів та встановлення обладнання. Результати розрахунків наведені у таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Обчислення вартості виробничих та службово-побутових приміщень

Найменування	Загальна площа, м2	Об'єм, м3	Вартість у. о.	Вартість, грн
1	2	3	4	5
Виробнича	2380,77	23807,7	380923,2	15290919,7
Службово-побутова	529,8	3496,68	76926,7	3356543,3
Разом	2910,6	27304,38	-	18647463

5.1.2 Розрахунок вартості оснащення

Загальна сума витрат на оснащення визначається шляхом підсумування вартості технічного обладнання цеху, енергетичного та вантажопідіймального обладнання, засобів контролю й керування, а також інструменту. Такий підхід дає змогу отримати повну оцінку витрат, що охоплює всі необхідні елементи для ефективного функціонування цеху.

Ціна окремих одиниць обладнання розраховується за їх первісною вартістю, до якої додаються підготовчі витрати, пов'язані з будівельними роботами, улаштуванням фундаментів та монтажем устаткування. Результати розрахунків наведені у таблицях 5.2 та 5.3.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-07.05.ТЕОПР</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Лещенко</i>				ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ РОЗРАХУНКОВО-АНАЛІТИЧНИХ РОБІТ	<i>/літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркуші</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Кравцова</i>						61	78
<i>Реценз.</i>						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>							
<i>Затв.</i>	<i>Рязанцев</i>							

Таблиця 5.2 – Розрахунок вартості оснащення

Найменування	Потужність, кВт	Балансована вартість, грн	Кількість, шт	Загальна вартість, грн
1	2	3	4	5
AYANRE C86YA-200	75	580000	1	580000
MICROCUT BNC-1660	11	600000	2	1200000
MICROCUT BNC-1860	11	800000	1	800000
HAAS VF-12/50	22,4	173500	1	173500
JUNKER KARGO 20XL	40	320000	1	320000
Разом	-	-	6	3073500

Таблиця 5.3 – Амортизаційні відрахування

Найменування	Вартість основних фондів, грн	Норма амортизаційних відрахувань, %	Річні амортизаційні відрахування, грн
1	2	3	4
1. Будівлі та споруди	18647463	4,65 %	867107
- виробничі	15290919,7		711027,8
- службово побутові	3356543,3		156079,2
2. Обладнання		43 %	
- металообробне	3073500		1321605
- енергетичне	245880		105728,4
- підйомно-транспортне	461025		198240,8
3. Засоби контролю та управління	614700	63,36 %	389473,9
4. РІ та пристосування	461025	52,71 %	243006,3
5. Вип.-госп. інвентар	153675	39,3 %	60394,3
Разом	22950363	-	2881586,5

5.2 Планування фондів заробітної плати

Після визначення фонду заробітної плати виконується розрахунок собівартості продукції. Для підвищення точності та зручності всі необхідні обчислення також проводяться автоматично за допомогою створеного калькулятора в Excel. У програмі враховано основні статті витрат – матеріали, енергія, оплата праці, амортизація та інші виробничі витрати.

Автоматизований підхід дає змогу швидко отримувати повну структуру собівартості виробу, оперативно змінювати вихідні параметри та аналізувати вплив окремих факторів на загальний результат. Це забезпечує ефективність планування й точність економічних розрахунків у проєкті.

Вихідні дані			
Ставка одного працівника першого розряду	Счас.1	106,46	грн/год
Трудомісткість виготовлення одного виробу	тсб	2,725	год
Трудомісткість механічних операцій на один виріб	тм	2,5	год
Планова кількість одиниць продукції	Nзап	800	шт
Чисельність допоміжних робітників	Чдоп	1	осіб
Працюють за відрядною системою			

Рисунок 5.1 – Вихідні дані для планування фондів заробітної плати

Розрахунок			
Пряма заробітна плата робітників-відрядників на поточній лінії	Зпл.пр	10327684,60	грн
Годинна тарифна ставка для відповідного розряду	Счас.сд	189,50	грн/год
Пряма заробітна плата основних працівників	Зм.пр	369203,28	грн
Премії із фонду заробітної плати	Зпрем	1497564,30	грн
Додаткові доплати	Здопл	106968,88	грн
Фонд годинної зарплати основних працівників	Фзп.дн.ор.	12301421,06	грн
Додаткова зарплата основних працівників підприємства	Здод	615071,05	грн
Фонд зарплати основних працівників	Фзп.ор.	12916492,12	грн
Пряма заробітна плата допоміжних робітників	Здоп.вир.	145805,16	грн
Тарифна зарплата основного працівника 6-го розряду	Зтар	190,03	грн/год
Основна зарплата допоміжних працівників	Зо.вр.	180798,40	грн
Додаткова заробітна плата допоміжних працівників	Зд.вр.	21870,77	грн
Премії із фонду заробітної плати допоміжних працівників	Зпрем.вр.	20412,72	грн
Додаткові доплати допоміжним працівникам	Здопл.вр.	1458,05	грн
Фонд зарплати допоміжного персоналу	Фзп.вр.	202669,18	грн
Фонд заробітної плати всього персоналу цеху	Фзп.р.	13119161,29	грн
Фонд зарплати промислово-виробничих працівників	Фзп.пп.	20068661,29	грн
Розрахунок середньої заробітної плати	Зсеред.	Таблиця	грн

Рисунок 5.2 – Розрахунок планування фондів заробітної плати

					КНУ.КМР.131.25.1-07.05.ТЕОПР	Арк.
						63
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця - Фонд заробітної плати ІТР, службовців та МОП					
№п/п	Посада	Кількість штатних, осіб	Міс. оклад з/п, грн	Міс. фонд з/п, грн	Фонд з/п на рік, грн
1	2	3	4	5	6
ІТР					
1	Нач. цеху	1	40000	40000	452000
2	Заст. нач. цеху	1	37000	37000	418100
3	Ст. майстер	2	18000	36000	406800
4	Змінний майстер	5	17000	85000	960500
5	Нач. тех. бюро	1	28000	28000	316400
6	Інж.-технолог 1 кат.	1	32000	32000	361600
7	Інж.-технолог 2 кат.	1	28000	28000	316400
8	Технік-технолог	1	22000	22000	248600
9	Майстер з ремонту	1	20000	20000	226000
10	Старший диспетчер	1	19000	19000	214700
11	Диспетчер	1	17000	17000	192100
12	Інженер формувальник	1	22500	22500	254250
13	Технік формувальник	1	20000	20000	226000
14	Механік цеху	1	22500	22500	254250
15	Контрольний майстер	1	17000	17000	192100
Разом, грн					5039800
Службовці					
1	Бухгалтер	1	20000	20000	226000
2	Зав. складом	1	20000	20000	226000
3	Старший рахівник	1	20000	20000	226000
4	Касир	1	16000	16000	180800
5	Старший табельщик	1	17000	17000	192100
6	Машиністка	1	16000	16000	180800
7	Табельщик	1	16000	16000	180800
Разом, грн					1412500
МОП					
1	Прибиральники	2	10000	20000	226000
2	Ліфтер, вахтер	2	12000	24000	271200
Разом, грн					497200

Рисунок 5.3 – Кінцевий результат розрахунку

Таблиця - Розрахунок середньої заробітної плати			
Категорія робітників	Фонд зарплати, грн	Чисельність працюючих робітників	Середньомісячна зарплата, грн
1	2	3	4
ПВП			
Основні робітники	12916492	60	19051
Допоміжні робітники	202669	1	17935
ІТР	5039800	20	22300
Службовці	1412500	7	17857
МОП	497200	4	11000

Рисунок 5.4 – Середня заробітна плата

					КНУ.КМР.131.25.1-07.05.ТЕОПР	Арк.
						64
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

5.3 Обчислення собівартості продукції

Планування фондів заробітної плати є одним із ключових етапів економічного планування на підприємстві, оскільки воно забезпечує раціональне використання трудових ресурсів і фінансових коштів. Метою цього процесу є визначення необхідного розміру фонду оплати праці для забезпечення виробничої програми та стимулювання ефективної роботи персоналу.

У даній роботі планування фондів заробітної плати виконується не стандартним аналітичним методом за формулами, а автоматизовано – за допомогою спеціально розробленого калькулятора в середовищі Excel. Цей калькулятор дозволяє швидко і точно визначати фонд заробітної плати з урахуванням тарифних ставок, надбавок, премій, відпусткових та інших складових.

Вихідні дані			
Норма витрати основного матеріалу на деталь	Нм	358,79	кг/шт
Ціна заготовок з урахуванням методу їх отримання	Цм	2232	грн/т
Річний обсяг виробництва продукції	N	800	шт
Маса заготовки	Вчр	397,5	кг
Маса деталі	Вчст	358	кг
Ціна відходів матеріалу	Цвідх	207	грн/т
Місячна тарифна ставка першого розряду	МТС1р	15000	грн/міс.
Тарифний коефіцієнт і-го розряду	ктар.і	1,78	-
Штучний час виконання і-ї операції	Тшт.і	6,3	хв/шт
Кількість верстатів, що обслуговуються одним робітником	-	1	шт
Кількість операцій	Ко	5	шт
Первісна вартість машин та обладнання	Кмио	1164027	грн
Первісна вартість технологічного оснащення	Ктр	28367	грн
Первісна вартість будівлі	Кбуд	18647463	грн

Рисунок 5.5 – Вихідні дані для розрахунку собівартості продукції

Розрахунок			
Витрати на сировину та матеріали на річний обсяг виробництва	Смо	704720,97	грн/рік
Коефіцієнт, що враховує транспортно-заготівельні витрати	Кт-з	1,10	-
Поворотні відходи	Свідх	6410,38	грн/рік
Величина відходів на одиницю продукції	Нвідх	38,71	кг/шт
Витрати на основні матеріали за вирахуванням зворотних відходів	См	698310,59	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на сировину та матеріали	ПДВвх	139662,12	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	Спал	34915,53	грн/рік
Величина вхідного ПДВ на паливо та енергію	ПДВпал	6983,11	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	Сз.осн.	572715,00	грн/рік
Розцінка на операцію	Рі	110,14	грн/шт
Годинна тарифна ставка і-го розряду	ГТСір	190,71	грн/год
Годинна тарифна ставка першого розряду	ГТСІр	107,14	грн/год
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	Сз.д.	114543,00	грн/рік
Сумарний фонд заробітної плати	Фзп.	687258,00	грн/рік
Чисельність основних виробничих робітників	Чвр	4,00	люд.
Облікова кількість основних робочих	Човр	5,00	люд.
Середньомісячна заробітна плата основних виробничих робітників	ЗПміс.осн.	11454,30	грн/міс.
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів від коштів на оплату праці	Офзп	651,48	грн/рік
Чисельність допоміжних виробничих робітників	Чдвр	1,00	люд.
Сумарний фонд заробітної плати допоміжних робітників	Фзп.д	166608,00	грн/рік
Відрахування до бюджету та позабюджетних фондів допоміжних робітників	Офзп.доп	224254,37	грн/рік
Вартість матеріалів, що витрачаються для забезпечення функціонування обладнання	Сзфо.	34920,81	грн/рік
Поточний ремонт обладнання та транспортних засобів	Срем.	253,15	грн/рік
Внутрішньозаводські витрати	Свз.в.	8510,10	грн/рік
Погашення вартості інструментів та пристосування загального призначення	Сінстр	4656,11	грн/рік
Інші витрати	Сін.	536,77	грн/рік
Усього витрати на утримання та експлуатацію обладнання	Суео	13956,13	грн/рік
Службовці цехового рівня та на ділянках	Чсл.цех	1,00	люд.
Річний фонд заробітної плати службовців	Фзп.сл.	296755,68	грн/рік
Витрати утримання апарату управління цеху	Офзп.сл.	399433,15	грн/рік
Утримання цехових, виробничих та адміністративних будівель	Сбуд.	279711,95	грн/рік
Витрати на ремонт цехових будівель	Срем. буд.	372949,26	грн/рік
Витрати на заходи забезпечення нормальних умов праці, техніки безпеки	Стех.б	23012,43	грн/рік
Витрати на випробування, досліди, дослідження, раціоналізацію та винахідництво	Срац.	172593,25	грн/рік
Інші витрати у складі загальноновиробничих витрат	Сін.вит.	37431,00	грн/рік
Усього загальноцехові витрати	Сузв	1285131,04	грн/рік
Загальногосподарські витрати	Рзг	715893,75	грн/рік
Витрати на реалізацію	Рреал.	32264,78	грн/рік
Платежі, відрахування та податки у собівартості продукції	Рпл.	64529,56	грн/рік
Податок на нерухомість	Пн.	186474,63	грн/рік

Рисунок 5.6 – Розрахунок собівартості продукції

					КНУ.КМР.131.25.1-07.05.ТЕОПР	Арк.
						66
Змн.	Арк	№ докum.	Підпис	Дата		

Таблиця - Собівартість річного випуску продукції		
Найменування	Витрати	
1	2	
Сировина та матеріали за вирахуванням зворотних відходів	698311	грн/рік
Паливо та енергія на технологічні цілі	34916	грн/рік
Основна заробітна плата виробничих робітників	572715	грн/рік
Додаткова заробітна плата виробничих робітників	114543	грн/рік
Відрахування до бюджетних та позабюджетних фондів	651	грн/рік
Загальновиробничі витрати	13956	грн/рік
Разом: цехова собівартість	1435092	грн/рік
Загальногосподарські витрати	715894	грн/рік
Разом: виробнича собівартість	2150985	грн/рік
Витрати реалізації продукції	32265	грн/рік
Інші платежі, відрахування та податки	251004	грн/рік
Разом: повна собівартість	2434254	грн/рік
Собівартість одиниці виробленої продукції	3043	грн/шт

Рисунок 5.7 – Собівартість річного випуску продукції

Таблиця - Розрахунок строку окупності		
Найменування	Розраховані величини	
1	2	
Ціна продажу одиниці продукції	5478	грн/шт
Початкові інвестиції	4 868 509	грн
Дохід від продажу продукції	4382400	грн/рік
Прибуток від продажу продукції	1948146	грн/рік
Строк окупності	2	р

Рисунок 5.8 – Строк окупності

6 БЕЗПЕКОВІ ФАКТОРИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА-ШЕСТЕРНІ

6.1 Перелік потенційний небезпек у процесі виготовлення вала-шестерні

Процес виготовлення вала-шестерні охоплює низку технологічних операцій, що супроводжуються дією механічних, термічних, хімічних та організаційних факторів, здатних створювати потенційну небезпеку для персоналу та обладнання. Визначення таких ризиків є необхідним етапом планування виробництва, оскільки дозволяє своєчасно передбачити заходи щодо їх запобігання або мінімізації.

Однією з основних небезпек є вплив рухомих частин металорізального устаткування під час токарної, фрезерної та зубофрезерної обробки. Неконтрольоване наближення працівника до зони різання може призвести до травмування внаслідок затягування одягу, контакту з ріжучим інструментом або обертальними вузлами. Додаткову загрозу становить можливе відлітання стружки з високою температурою та гострими кромками, що створює ризики опіків і порізів.

Під час обробки поверхонь з високою точністю особливу небезпеку становить руйнування або передчасний знос ріжучого інструменту. Виникнення мікротріщин, відколів або заклинювання інструмента може призвести до його фрагментації та некерованого розльоту частинок, що також небезпечно для оператора. У випадку високошвидкісного різання такі явища мають значно більшу інтенсивність та потребують підвищеної уваги.

У процесі термічної обробки, зокрема гартування або відпуску, з'являються додаткові фактори ризику, пов'язані з роботою при високих температурах та застосуванням охолоджувальних середовищ. Контакт із нагрітими деталями чи технологічним обладнанням, а також утворення парів і випаровувань можуть викликати опіки, хімічні подразнення або погіршення мікроклімату робочої зони.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Леценко</i>			БЕЗПЕКОВІ ФАКТОРИ ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА ТА НОРМАТИВНО- ПРАВОВЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ ПІД ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ВАЛА- ШЕСТЕРНІ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кравцова</i>					68	78
<i>Реценз.</i>						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Затв.</i>		<i>Рязанцев</i>						

Серйозним джерелом небезпеки є підйомно-транспортні операції, необхідні при переміщенні заготовок та готових деталей значної маси. Неправильне використання строп, тельферів або кранів може призвести до падіння заготовки, деформації деталі чи травмування робітників. До цього ж типу небезпек належать ризики, пов'язані з ручним переміщенням важких елементів технологічного оснащення.

Під час шліфування зубчастої поверхні та шийок вала виникають небезпеки, пов'язані з утворенням пилу та підвищеним рівнем шуму й вібрацій. Надмірне пилове навантаження сприяє забрудненню робочої зони та може негативно впливати на органи дихання при недостатній вентиляції, а підвищена вібрація — на загальну втому оператора та точність виконання операцій.

Організаційні ризики також мають суттєве значення. До них належать: неправильне налаштування обладнання, недоліки в технічній документації, порушення послідовності операцій, недостатній контроль якості інструмента або заготовки. Такі фактори можуть призвести не тільки до браку, але й до аварійних ситуацій, пов'язаних з виходом обладнання з ладу.

Отже, процес виготовлення вала-шестерні має комплексний характер і супроводжується різними типами потенційних небезпек. Систематичний аналіз ризиків, дотримання вимог техніки безпеки, своєчасне технічне обслуговування обладнання та належна підготовка персоналу є ключовими умовами забезпечення безпечних виробничих умов.

6.2 Порівняльний аналіз актуальної нормативної бази з охорони праці в механообробних цехах в Україні та Європі

Нормативна база з охорони праці в механообробних цехах України та країн Європейського Союзу ґрунтується на спільній меті – забезпеченні безпечних умов праці та мінімізації виробничих ризиків. Проте підходи до формування вимог, механізми їх реалізації та рівень стандартизації суттєво відрізняються, що впливає на практику організації робіт на машинобудівних підприємствах.

6.2.1 Структура нормативної бази

В Україні систему охорони праці визначає Закон «Про охорону праці» та комплекс галузевих, міжгалузевих правил, ДСТУ, санітарних норм. Нормативи формуються переважно на національному рівні та часто мають інструктивно-регламентаційний характер.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН	Арк.
						69
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

У Європейському Союзі основою є рамкова Директива 89/391/ЄЕС, від якої походить багато спеціалізованих директив щодо шуму, вібрації, роботи з обладнанням, хімічних агентів тощо. ЄС використовує принцип гармонізації: нормативи єдині для всіх країн-членів.

Відмінність: українська система більш фрагментована та різномірнева, тоді як у ЄС – централізована та уніфікована.

6.2.2 Підхід до управління ризиками

Українське законодавство передбачає необхідність оцінки ризиків, однак механізми її проведення часто декларовані загально та не містять єдиної методології. На багатьох підприємствах акцент робиться на виконанні інструкцій, а не на системному аналізі небезпек.

Європейський підхід базується на обов'язковості формальної оцінки ризиків, регулярному її оновленні та документальному підтвердженні. Ризик-орієнтований підхід є не рекомендацією, а вимогою директив.

Відмінність: у ЄС оцінка ризиків – це регламентована процедура з чіткими критеріями, тоді як в Україні вона часто носить локальний або формальний характер.

6.2.3 Вимоги до машин та технологічного обладнання

В Україні існують національні стандарти та технічні регламенти, але вони не завжди повністю відповідають сучасним вимогам конструкційної безпеки. Часто практикується використання обладнання, виробленого за радянськими ГОСТами, що потребує додаткових локальних заходів захисту.

У ЄС діє Машинна директива 2006/42/ЕС, яка встановлює єдині жорсткі вимоги до конструкції обладнання, систем блокувань, аварійних вимикачів, огорожень, рівня шуму та ін. Машини без маркування СЕ не допускаються до експлуатації.

Відмінність: європейські вимоги рівномірно застосовуються на всіх підприємствах, тоді як в Україні ступінь відповідності техніки залежить від її віку та можливостей підприємства.

6.2.4 Регулювання шкідливих факторів виробничого середовища

Українські норми регламентують допустимі рівні шуму, вібрацій, запиленості, температури та інших факторів, проте частина нормативів базується на застарілих вимогах або оновлюється нерегулярно.

У ЄС відповідні директиви визначають максимальні та мінімальні показники впливу та обов'язкові дії роботодавця при їх перевищенні:

					КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН	Арк.
						70
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		

зниження рівня шуму, вибір низьковібраційного обладнання, обмеження тривалості впливу тощо.

Відмінність: у країнах ЄС зобов'язання роботодавця прямо прив'язані до вимірних показників, тоді як в Україні такі механізми менш формалізовані.

6.2.5 Контроль та відповідальність

В Україні контроль за дотриманням норм здійснює Держпраці. Однак рівень контролю може бути нерівномірним через кадрові та фінансові обмеження.

У Європі система контролю більш розгалужена: інспекції мають високий рівень автономії, а санкції – значну превентивну дію. Крім державного нагляду, значна частина контролю відбувається в межах сертифікаційних і аудиторських систем, таких як ISO 45001.

Відмінність: європейська модель передбачає сувору відповідальність і постійний незалежний аудит, в Україні акцент робиться на державному нагляді, що іноді недостатній.

6.2.6 Практичні наслідки для механообробних цехів

На підприємствах України рівень безпеки значною мірою залежить від технічного стану обладнання, компетентності керівництва та наявності ресурсів. Нормативна база дає необхідні вимоги, але підприємство часто змушене самостійно адаптувати їх до умов виробництва.

У Європі практичне впровадження безпеки спирається на стандартизовані директиви та сучасне обладнання, що вже на етапі виготовлення відповідає вимогам конструкційної безпеки.

Відмінність: в Україні безпека часто забезпечується організаційними методами, у ЄС – технічними рішеннями.

Нормативно-правова база України в галузі охорони праці загалом відповідає європейській за структурою та ключовими принципами, однак має нижчий рівень стандартизації та системності. Європейська система є більш уніфікованою, технічно орієнтованою та базується на жорстких директивах, що визначають конкретні параметри безпеки і відповідальність за їх невиконання. Для механообробних цехів це означає, що українські підприємства можуть запозичувати європейські підходи – насамперед ризик-орієнтоване управління, інтеграцію технічних засобів захисту та впровадження систем менеджменту безпеки – для підвищення рівня охорони праці до стандартів ЄС.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		71

6.3 Захисне заземлення електроустановок: принцип роботи, класифікація та розрахункові параметри

Захисне заземлення — це спеціально організоване електричне під'єднання металевих конструктивних елементів обладнання до землі. Таке з'єднання використовується для тих частин електроустановок, які за нормальних умов експлуатації не знаходяться під напругою, але можуть опинитися під потенціалом у випадку пошкодження ізоляції.

Основна мета захисного заземлення — знизити небезпеку ураження людини електричним струмом у мережах напругою до 1000 В змінного струму з ізольованою нейтраллю, у мережах постійного струму з ізольованою середньою точкою, а також у електроустановках понад 1000 В незалежно від способу заземлення нейтралі.

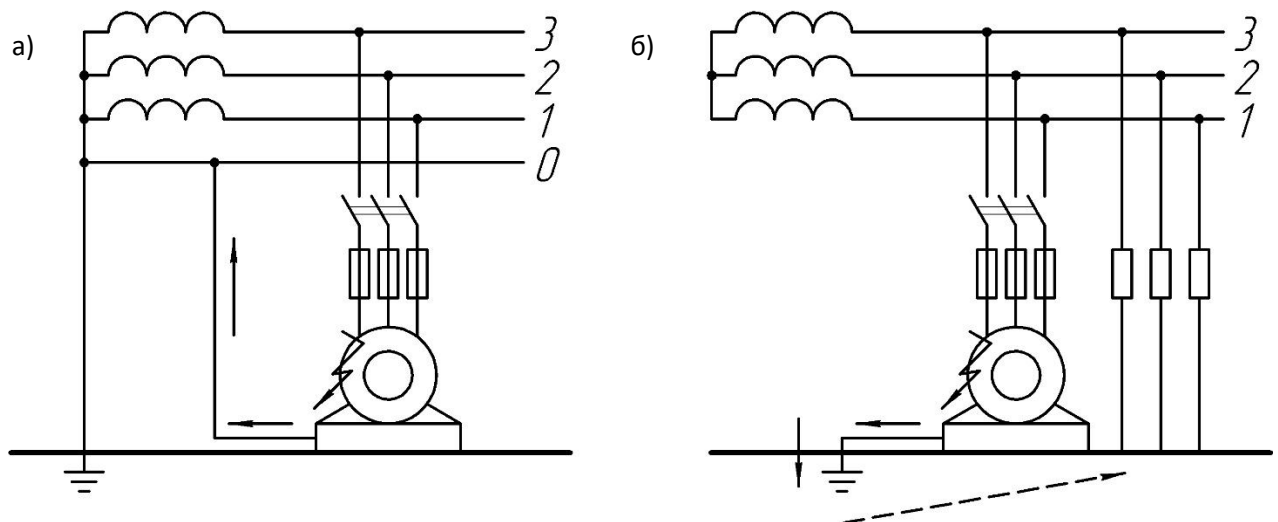


Рисунок 6.1 – Заземлення електроустановки у мережі трифазного струму: а) із глухозаземленою нейтраллю; б) з ізольованою нейтраллю

Згідно з рисунком 6.1, у трифазних мережах можливі два варіанти виконання заземлення: при глухозаземленій нейтралі (а) та при ізольованій (б). У мережах до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю елементи, що підлягають заземленню, безпосередньо приєднують до захисного нульового проводу. У разі пробоя ізоляції це призводить до короткого замикання фази на нейтраль (рис. 6.1 а), після чого відбувається автоматичне відключення пошкодженої ділянки мережі.

У мережах напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю, а також у всіх системах понад 1000 В застосовують локальні заземлюючі пристрої з малим опором, до яких під'єднуються всі елементи, що підлягають захисному

заземленню (рис. 6.1 б). Нормативні значення опору таких пристроїв задаються «Правилами улаштування електроустановок» (ПУЕ).

Основний фізичний принцип дії захисного заземлення полягає в тому, що електричний шлях через заземлюючий контур має значно менший опір порівняно з опором тіла людини. Завдяки цьому струм у разі пробією ізоляції проходить переважно через заземлювач, а напруга дотику знижується до безпечних значень. Відповідно до ПУЕ, допустимий опір заземлюючого пристрою для мереж з ізолюованою нейтраллю до 1000 В становить 10 Ом (за потужності джерела до 100 кВ·А) та 4 Ом — для більш потужних систем.

Заземлювачі поділяються на природні та штучні. До природних відносяться металеві трубопроводи без ізоляції (крім систем із горючими речовинами), обсадні труби свердловин, закладені в ґрунт металеві чи залізобетонні елементи, свинцеві оболонки кабелів та інші конструкції, що вже контактують із землею (рис. 6.2).

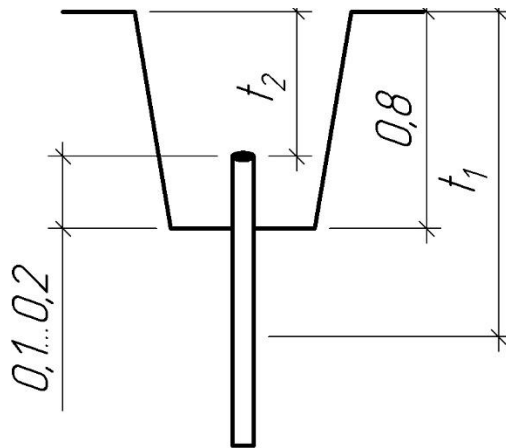


Рисунок 6.2 – Розміри та глибина закладання електродів

Штучні заземлення формують із вертикальних і горизонтальних електродів. Вертикальні електроди зазвичай виготовляють зі сталевих стрижнів діаметром 10–16 мм або з кутової сталі завдовжки до 3–5 м. Для усунення взаємного екранування відстань між ними повинна відповідати їх довжині. Горизонтальні електроди виконують із сталевих смуг перерізом не менше 40 мм² або круглого прутка діаметром не меншим за 10 мм. Монтаж системи передбачає риття траншеї глибиною 0,7–0,8 м, забивання вертикальних електродів і подальше з'єднання їх зі смугами, розміщеними на глибині 0,6 м.

Планування параметрів заземлювального пристрою здійснюють згідно з методикою коефіцієнта використання електродів (рис. 6.3). Розрахунок передбачає кілька основних етапів:

					КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		73

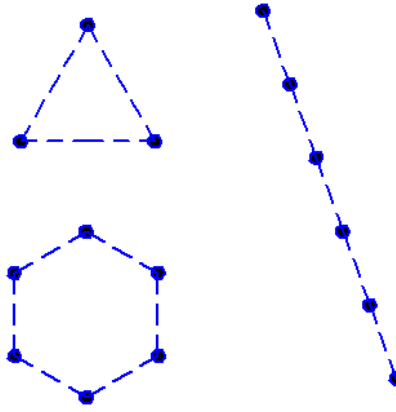


Рисунок 6.3 – Схеми розташування електродів

1. Визначення нормативного опору R_3 – 10 Ом або 4 Ом.
2. Розрахунок сезонно скоригованого питомого опору ґрунту ρ_v і ρ_Γ за формулами:

$$\rho_v = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_v \quad (6.1)$$

$$\rho_\Gamma = \rho_{\text{вим}} \cdot \Psi_\Gamma \quad (6.2)$$

3. Обчислення опору розтікання одиночного вертикального електрода:

$$R_\theta = \frac{\rho_\theta}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot t_1 + l}{4 \cdot t_1 - l} \right) \quad (6.3)$$

4. Попередній вибір кількості вертикальних електродів:

$$n = \frac{R_B}{R_3 \cdot \eta_B} \quad (6.4)$$

5. Встановлення довжини горизонтального електрода залежно від схеми розміщення:

- при контурному влаштуванні $l_\Gamma = a \cdot n$;
- при рядовому влаштуванні $l_\Gamma = a \cdot (n - 1)$.

6. Обчислення опору розтікання горизонтального електрода

$$R_2 = \frac{\rho_2}{2 \cdot \pi \cdot l_2} \cdot \ln \frac{l_2^2}{b_1 \cdot t_2} \quad (6.5)$$

7. Визначення загального опору заземлювальної системи

$$R_{\text{заз}} = \frac{R_\theta \cdot R_2}{R_\theta \cdot \eta_2 + R_2 \cdot \eta_\theta \cdot n} \leq R_3 \quad (6.6)$$

8. Уточнення параметрів і повторний розрахунок за необхідності

$$\begin{cases} R_{\text{заз}} \leq R_3 \\ R_{\text{заз}} \approx R_3 \end{cases}$$

У практичному прикладі застосовуються сталеві вертикальні електроди діаметром 30 мм і завдовжки 3 м.

З використанням питомого опору ґрунту $\rho_{\text{вим}} = 250 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ та коефіцієнта сезонності $\psi = 1,3$ отримано $\rho_{\text{в}} = 325 \text{ Ом}\cdot\text{м}$.

Глибину закладення обчислено за формулою:

$$t_1 = 0,5 \cdot l + t_0 \quad (6.7)$$

Після чого визначено опір вертикального електрода. Кількість електродів, розрахована за формулою (6.4), становить 39 шт.

Горизонтальний електрод виконано зі смугової сталі 4×40 мм. Довжину смуги l_1 визначено за формулою:

$$l_1 = 1,05 \cdot a \cdot n \quad (6.8)$$

Отримано значення 246 м.

Питомий опір ґрунту для горизонтального електрода $\rho_{\text{г}}$, розрахований з урахуванням $\psi = 4,5$, становить 1125 Ом·м.

Після обчислень за формулою (6.5) і визначення загального опору $R_{\text{заг}}$ (формула 6.6) отримано значення 3,54 Ом. Воно не перевищує допустиме значення 4 Ом, що підтверджує придатність розрахованої системи заземлення до практичного застосування.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.06.БФВСН	Арк.
						75
Змн.	Арк	№ док.м.	Підпис	Дата		

ВИСНОВОК

У процесі виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було виконано повний комплекс інженерно-технологічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності виробництва деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту екскаватора.

У першому розділі встановлено службове призначення деталі та проаналізовано конструкцію редуктора. Визначено матеріал, розглянуто точність поверхонь та допуски, виконано аналіз технологічності й типу виробництва.

У другому розділі сформовано маршрутно-технологічний процес: обґрунтовано використання поковки, визначено припуски та технологічні бази, підібрано сучасні верстати з ЧПК, інструменти та оснащення. Розраховано режими різання та норми часу. САМ-система FeatureCAM дозволила автоматизувати підготовку керуючої програми, що підвищує точність та стабільність обробки.

У третьому розділі проведено CAE-аналіз SolidWorks Simulation, який показав, що максимальні напруження та переміщення не перевищують допустимих значень. Запас міцності деталі підтверджує її надійність при експлуатаційних навантаженнях.

У четвертому розділі узагальнено результати досліджень та підтверджено ефективність інтегрованого використання CAD/CAM/CAE технологій, що забезпечує підвищення точності механічної обробки, надійності деталі та зниження виробничих витрат.

У п'ятому розділі автоматизовано економічні розрахунки – фонд заробітної плати та собівартості продукції – за допомогою Excel-калькуляторів. Визначено, що впровадження верстата з ЧПК є економічно обґрунтованим та окупається впродовж прогнозованого періоду.

У шостому розділі проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори механообробного виробництва, а також проведено порівняння нормативів України та ЄС. Запропоновано комплекс організаційних та технічних заходів для підвищення рівня безпеки.

Технічне завдання кваліфікаційної роботи виконано повністю, а отримані результати мають практичну цінність для впровадження у виробництво.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.В				
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата					
Розроб.	Лещенко				Висновок		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кравцова							76	78
Реценз.							Кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
Н. контр.	Нечаєв								
Затв.	Рязанцев								

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Каталог та технічний посібник Seco 2020: "Токарна обробка";
2. Каталог Sandvik 2017: "Токарні інструменти";
3. Каталог та технічний посібник Seco 2024: "Токарна обробка";
4. Каталог зубообробного інструмента FETTE 2015;
5. Каталог абразивного інструмента LUCABRASIV 2015;
6. Кіяновський М.В., Цивінда Н.І., Цівко Ф.В. Довідник нормувальника машинобудівного виробництва. – Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 200
7. Технологія обробки типових деталей (курсове проектування) Григурко О.І, Брендюля МФ., Доценко С.М, Навчальний посібник. Львів., Новий світ 2008, 576 с.
8. Технологічна оснастка механоскладального виробництва: Підручник / Боровик А.І., - К.: Кондор, 2008. 726
9. Мазур М.П. Основи теорії різання матеріалів: підручник [для вищ. навч. закладів] / М.П. Мазур, Ю.М. Внуков, В.Л. Доброскок, В.О. Залога, Ю.К. Новосьолов, Ф.Я. Якубов ; під заг. ред. М.П. Мазура. – 2-е вид. перероб. і доп. – Львів : Новий світ-2000, 2011. – 422 с.
10. О.Г. Левченко, Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях
11. О.Г. Левченко, О.І. Полукаров Охорона праці у зварювальному виробництві
12. Leguinaigoicoa N., Albizuri J., Larrañaga A. Fatigue improvement and residual stress relaxation of shot-peened alloy steel DIN 34CrNiMo6 under axial loading // International Journal of Fatigue. 2022. Vol. 162. 107006. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2022.107006.
13. Avilés A., Avilés R., Albizuri J., Pallarés-Santasmartas L., Rodríguez A. Effect of shot-peening and low-plasticity burnishing on the high-cycle fatigue strength of DIN 34CrNiMo6 alloy steel // International Journal of Fatigue. 2019. Vol. 119. P. 338–354. DOI: 10.1016/j.ijfatigue.2018.10.014.
14. Tang Z., Hou Z., Du H., Yao Z. Effects of laser shock peening on the surface integrity and fatigue properties of 34CrNiMo6 steel // Proc IMechE Part B: J Engineering Manufacture. 2025. P. 1–13. DOI: 10.1177/09544054241309163.
15. Kong B., Jia Q., Wang G., Tao D., Yang Z. Microstructure and Mechanical Property Evolution of 34CrNiMo6 Steel via Induction Quenching and Tempering // Metals. 2025. Vol. 15. P. 970. DOI: 10.3390/met15090970.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.СВД						
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата							
Розроб.		Лещенко			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Кравцова								77	78
Реценз.								Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Н. контр.		Нечаєв									
Затв.		Рязанцев									

16. Лещенко К.П., Кравцова Д. Ю. Автоматизація економічного планування в електронних таблицях у процесі розробки інженерного проекту. Розвиток промисловості та суспільства: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. Кривий Ріг : Кривий Ріг, 2025. С. 258
17. Лещенко К., Кравцова Д., Володченков Д. Обґрунтування методу підвищення втомної міцності вала-шестерні редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А. Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні : Матеріали Міжнар. науково-техн. конф. Нові та нетрадиц. технології в ресурсо- та енергозбереженні, м. Одеса, 09–10 груд. 2025 р. Одеса, 2025, с.
18. ДСТУ ISO 286-1-2002 Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилів та посадок.
19. ДСТУ ISO 1101:2009 Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS) Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття.
20. ДСТУ ISO 5459:2009 Кресленики технічні. Геометричні допуски. Базисні та системи баз геометричних допусків.
21. ДСТУ ISO 129.1: 2007 Кресленики технічні. Проставлення розмірів і допусків. Частина 1. Загальні принципи
22. ДСТУ 2.308:2013 ЄСКД. Зазначення допусків форми та розміщення поверхонь.
23. ДСТУ 3.1107-81. Базування та бази в машинобудуванні.
24. ДСТУ 2.307:2013 Єдина система конструкторської документації. Нанесення розмірів і граничних відхилів (ГОСТ 2.307-2011, IDT)
25. ДСТУ 2860-94 Надійність у техніці. Терміни та визначення
26. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.

					КНУ.КМР.131.25.1-07.СВД	Арк.
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата		78

ДОДАТКИ

					КНУ.КМР.131.25.1-07.Д				
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					
Розроб.	Лещенко				ДОДАТКИ	Літ.	Арк.	Архув	
Перевір.	Кравцова							1	
Реценз.						Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
Н. контр.	Нечаєв								
Затв.	Рязанцев								

[illegible]

Код обробки деталі у програмі FeatureCAM

%

OТокарка Вала-шестерні(FILENAME = Токарка Вала-шестерні)

N20 G20 G40

N25 G28 U0

N30 G28 W0

(OPERATION: ROUGH FACE TOPEЦ1)

N40 T101

N45 G50 S3000

N50 G96 S1200 M4

N55 G0 X15.1969 Z0.9646 M8

N60 X7.0241 Z0.678

N65 G1 X-0.0625 F0.01

N70 Z0.8465

N75 X-0.0347 Z0.8604

N80 G0 X7.0241

N85 G1 Z0.5094

N90 X-0.0625

N95 Z0.678

N100 X-0.0347 Z0.6919

N105 G0 X7.0241

N110 G1 Z0.3409

N115 X-0.0625

N120 Z0.5094

N125 X-0.0347 Z0.5234

N130 G0 X7.0241

N135 G1 Z0.1724

N140 X-0.0625

N145 Z0.3409

N150 X-0.0347 Z0.3549

N155 G0 X7.0241

N160 G1 Z0.0039

N165 X-0.0625

N170 Z0.1724

N175 X-0.0347 Z0.1864

N180 G0 Z0.9646

(OPERATION: FINISH FACE TOPEЦ1)

N190 G0 X7.0866

N195 G50 S3000
N200 G96 S1600
N205 G0 X7.0866 Z0.9646 M8
N210 Z0.
N215 G1 X-0.0625 F0.01
N220 X0.1487 Z0.1056
N225 G0 Z0.9646
(OPERATION: ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ2)
N235 G0 X15.1344
N240 G50 S3000
N245 G96 S1200
N250 G0 X15.1344 Z0.9646 M8
N255 X15.1969 Z-40.2953
N260 X14.5673
N265 G1 Z-41.4237 F0.01
N270 X14.9606
N275 X14.9885 Z-41.4098
N280 G0 Z-40.2953
N285 G1 X14.174
N290 Z-41.4237
N295 X14.5673
N300 X14.5952 Z-41.4098
N305 G0 Z-40.2953
N310 G1 X13.7807
N315 Z-41.3598
N320 X13.9085 Z-41.4237
N325 X14.174
N330 X14.2019 Z-41.4098
N335 G0 Z-40.2953
N340 G1 X13.3874
N345 Z-41.1631
N350 X13.7807 Z-41.3598
N355 X13.8085 Z-41.3459
N360 G0 Z-40.2953
N365 G1 X12.9941
N370 Z-41.0984
N375 X13.2288
N380 G3 X13.2786 Z-41.1087 R0.0352
N385 G1 X13.3874 Z-41.1631

N390 X13.4152 Z-41.1492
N395 G0 Z-40.2953
N400 G1 X12.6008
N405 Z-41.0984
N410 X12.9941
N415 X13.0219 Z-41.0845
N420 G0 Z-40.2953
N425 G1 X12.2075
N430 Z-41.0984
N435 X12.6008
N440 X12.6286 Z-41.0845
N445 G0 Z-40.2953
N450 G1 X11.8142
N455 Z-41.0984
N460 X12.2075
N465 X12.2353 Z-41.0845
N470 G0 Z-40.2953
N475 G1 X11.4209
N480 Z-41.0984
N485 X11.8142
N490 X11.842 Z-41.0845
N495 G0 Z-40.2953
N500 G1 X11.0276
N505 Z-41.0984
N510 X11.4209
N515 X11.4487 Z-41.0845
N520 G0 Z-40.2953
N525 G1 X10.6343
N530 Z-41.0984
N535 X11.0276
N540 X11.0554 Z-41.0845
N545 G0 Z-40.2953
N550 G1 X10.2409
N555 Z-41.0984
N560 X10.6343
N565 X10.6621 Z-41.0845
N570 G0 Z-40.2953
N575 G1 X9.8476
N580 Z-41.0984

N585 X10.2409
N590 X10.2688 Z-41.0845
N595 G0 Z-40.2953
N600 G1 X9.4543
N605 Z-41.0984
N610 X9.8476
N615 X9.8755 Z-41.0845
N620 G0 Z-40.2953
N625 G1 X9.061
N630 Z-41.0868
N635 G2 X9.3863 Z-41.0984 R1.1459
N640 G1 X9.4543
N645 X9.4822 Z-41.0845
N650 G0 Z-40.2953
N655 G1 X8.6677
N660 Z-41.0406
N665 G2 X9.061 Z-41.0868 R1.1459
N670 G1 X9.0889 Z-41.0729
N675 G0 Z-40.2953
N680 G1 X8.2744
N685 Z-40.9545
N690 G2 X8.6677 Z-41.0406 R1.1459
N695 G1 X8.6956 Z-41.0267
N700 G0 Z-40.2953
N705 G1 X7.8811
N710 Z-40.8166
N715 G2 X8.2744 Z-40.9545 R1.1459
N720 G1 X8.3022 Z-40.9406
N725 G0 Z-5.3346
N730 G1 X7.4878
N735 Z-40.5944
N740 G2 X7.8811 Z-40.8166 R1.1459
N745 G1 X7.9089 Z-40.8027
N750 G0 Z-5.3346
N755 G1 X7.0945
N760 Z-39.9525
N765 G2 X7.4878 Z-40.5944 R1.1459
N770 G1 X7.5156 Z-40.5805
N775 G0 Z0.143

N780 G1 X6.7008
N785 Z-6.2827
N790 G2 X6.8666 Z-6.2953 R0.2798
N795 G1 X6.9454
N800 G3 X6.9951 Z-6.3056 R0.0352
N805 G1 X7.0739 Z-6.345
N810 G3 X7.0945 Z-6.3698 R0.0352
N815 G1 X7.1223 Z-6.3559
N820 G0 Z0.143
N825 G1 X6.3071
N830 Z-6.0155
N835 G2 X6.7008 Z-6.2827 R0.2798
N840 G1 X6.7286 Z-6.2688
N845 G0 Z0.143
N850 G1 X6.0503
N855 Z-0.0064
N860 X6.2865 Z-0.1245
N865 G3 X6.3071 Z-0.1494 R0.0352
N870 G1 X6.3349 Z-0.1354
N875 G0 Z0.1181
(OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ2)
N885 G0 X5.8335 Z0.0965
N890 G50 S3000
N895 G96 S1600
N900 G0 X5.8335 Z0.0965 M8
N905 G1 X6.2809 Z-0.1273 F0.01
N910 G3 X6.2992 Z-0.1494 R0.0313 F0.
N915 G1 Z-6.0155 F0.01
N920 G2 X6.8666 Z-6.2992 R0.2837
N925 G1 X6.9454 F0.
N930 G3 X6.9896 Z-6.3084 R0.0312
N935 G1 X7.0683 Z-6.3477 F0.01
N940 G3 X7.0866 Z-6.3698 R0.0313 F0.
N945 G1 Z-39.9525 F0.01
N950 G2 X9.3863 Z-41.1024 R1.1499
N955 G1 X13.2288
N960 G3 X13.273 Z-41.1115 R0.0313 F0.
N965 G1 X13.903 Z-41.4265 F0.01
N970 X14.1142 Z-41.3209

N975 G0 X15.1969
N980 Z0.9646
N985 G28 U0
N990 G28 W4.9213
(OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ1)
N1000 T202
N1005 G50 S3000
N1010 G96 S1600 M4
N1015 G0 X15.1969 Z0.9958 M8
N1020 X7.2106 Z-11.0997
N1025 G1 X7.0804 Z-11.2341 F0.01
N1030 G2 X7.0079 Z-11.3921 R0.3625
N1035 G1 Z-32.8993
N1040 G2 X7.0804 Z-33.0572 R0.3625
N1045 G1 X7.2916 Z-32.9516
N1050 G0 X15.1969
N1055 Z0.9958
N1060 G28 U0
N1065 G28 W4.9213
(OPERATION: ROUGH FACE ТОПЕИ2)
N1075 T101
N1080 G50 S3000
N1085 G96 S1200 M4
N1090 G0 X15.1969 Z0.9646 M8
N1095 X15.1344 Z0.678
N1100 G1 X-0.0625 F0.01
N1105 Z0.8465
N1110 X-0.0347 Z0.8604
N1115 G0 X15.1344
N1120 G1 Z0.5094
N1125 X-0.0625
N1130 Z0.678
N1135 X-0.0347 Z0.6919
N1140 G0 X15.1344
N1145 G1 Z0.3409
N1150 X-0.0625
N1155 Z0.5094
N1160 X-0.0347 Z0.5234
N1165 G0 X15.1344

N1170 G1 Z0.1724
N1175 X-0.0625
N1180 Z0.3409
N1185 X-0.0347 Z0.3549
N1190 G0 X15.1344
N1195 G1 Z0.0039
N1200 X-0.0625
N1205 Z0.1724
N1210 X-0.0347 Z0.1864
N1215 G0 Z0.9646
(OPERATION: FINISH FACE ТОПЕЦ2)
N1225 G0 X15.1969
N1230 G50 S3000
N1235 G96 S1600
N1240 G0 X15.1969 Z0.9646 M8
N1245 Z0.
N1250 G1 X-0.0625 F0.01
N1255 X0.1487 Z0.1056
N1260 G0 Z0.9646
(OPERATION: ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ3)
N1270 G0 X15.1344
N1275 G50 S3000
N1280 G96 S1200
N1285 G0 X15.1344 Z0.9646 M8
N1290 X15.1969 Z0.143
N1295 X14.6168
N1300 G1 Z-8.3383 F0.01
N1305 X14.9606
N1310 X14.9885 Z-8.3244
N1315 G0 Z0.143
N1320 G1 X14.273
N1325 Z-8.3383
N1330 X14.6168
N1335 X14.6446 Z-8.3244
N1340 G0 Z0.143
N1345 G1 X13.9291
N1350 Z-8.3383
N1355 X14.273
N1360 X14.3008 Z-8.3244

N1365 G0 Z0.143
N1370 G1 X13.6039
N1375 Z-0.169
N1380 X13.9085 Z-0.3213
N1385 G3 X13.9291 Z-0.3462 R0.0352
N1390 G1 X13.957 Z-0.3323
N1395 G0 Z0.143
N1400 G1 X13.2786
N1405 Z-0.0064
N1410 X13.6039 Z-0.169
N1415 X13.6317 Z-0.1551
N1420 G0 Z0.1181
(OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ3)
N1430 G0 X13.0618 Z0.0965
N1435 G50 S3000
N1440 G96 S1600
N1445 G0 X13.0618 Z0.0965 M8
N1450 G1 X13.903 Z-0.3241 F0.01
N1455 G3 X13.9213 Z-0.3462 R0.0312 F0.
N1460 G1 Z-8.3383 F0.01
N1465 X14.1325 Z-8.2327
N1470 G0 X15.1969
N1475 Z0.9646
N1480 G28 U0
N1485 G28 W0
N1490 M30
%

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

до кваліфікаційної магістерської роботи

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Технологічна підготовка виробництва деталі «Вал-шестерня»
редуктора повороту екскаватора з використанням CAD/CAM/CAE систем і
верстатів з ЧПК

Виконав магістрант гр. ПМ-24м

Лещенко К.П

Керівник КМР

Кравцова Д.Ю.

Нормоконтроль

Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

Рязанцев А.О.

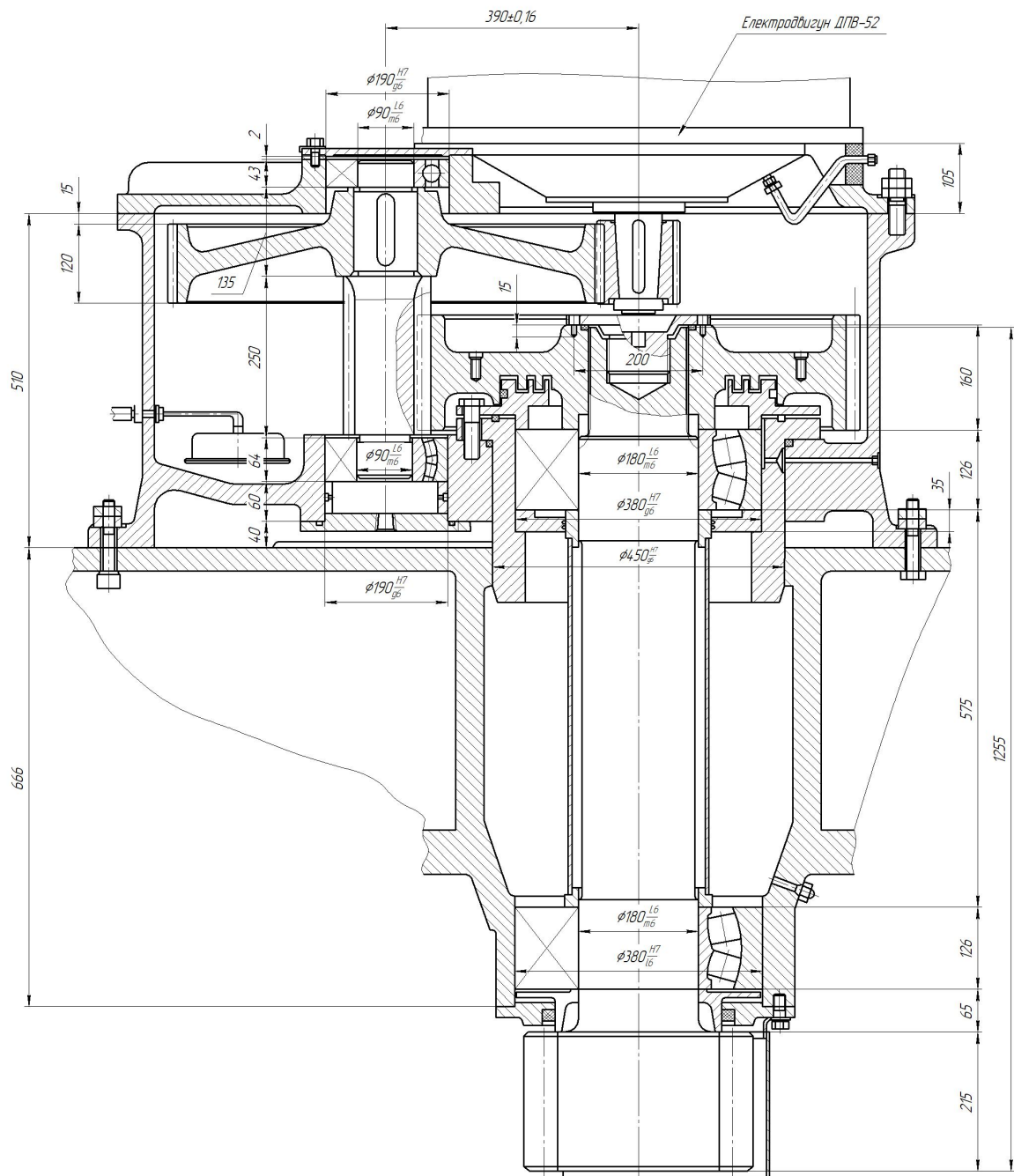
м. Кривий Ріг
2025 р.

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					Кресления		
	A2		1	КНУ.КМР.131.25.1-07.ВШ	Вал-шестерня	1	
	A1		2	КНУ.КМР.131.25.1-07.СК	Редуктор поворота экскаватора	1	
					ЕКГ-5А-У		
	A0		3	КНУ.КМР.131.25.1-07.КП	Контрольные приспособления	1	
	A3		4	КНУ.КМР.131.25.1-07.ЗДВШП	Заготовка детали	1	
					"Вал-шестерня"		
					(поковка)		
	A2		5	КНУ.КМР.131.25.1-07.ВДВШЗ	Выпробовывания детали		
					"Вал-шестерня"		
					из застосуванням САЕ-системи	1	
	A2		6	КНУ.КМР.131.25.1-07.ПП	Патрон повідковий	1	
	A1		7	КНУ.КМР.131.25.1-07.СЗТОО	Структура та зміст		
					технологічних операцій		
Подп. и дата					обработки вала-шестерни	2	
Взам. инв. №							
Подп. и дата							
Инв. № подл.							
Изм. Лист							
Разраб. Лещенко							
Пров. Кравцова							
Н.контр. Нечаев							
Утв. Рязанцев							
				КНУ.КМР.131.25.1-07.ВЕДКМР			
				Відомість електронних документів КМР			
				Лит. Лист Листов			
				1			
				Кафедра ТМ гр. ПМ-24м			
				Формат А4			

Розріз
Б-Б

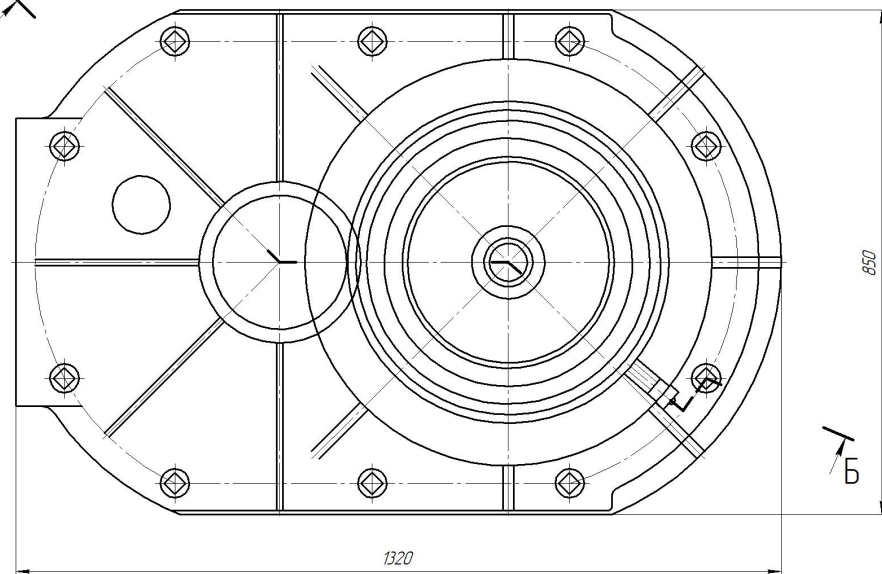
A

Електродвигун ДПВ-52



Bud A
(1:5)

Б



Характеристика зчужастих передач									
Передача	Міжшова відстань, мм	Модуль, мм	Кількість зубів		Коефіцієнт зміщення		Бічний зазор, мм	Ступінь точності	Передавальне число
			Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо			
I	390	6	20	110	0	0	0,26...0,66	8-В	5,5
II	390	10	11	67	+0,3	-0,3	0,26...0,66	8-В	6,09
III	1820	26	11	-	+0,5	-	мін 0,53	9-В	11,62

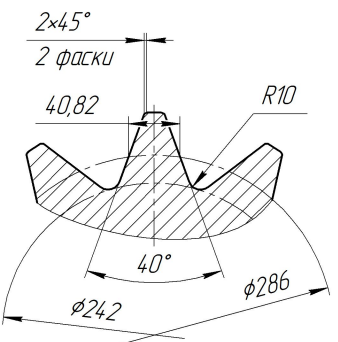
[illegible]

КНУ.КМР.131.25.1-07.ВШ

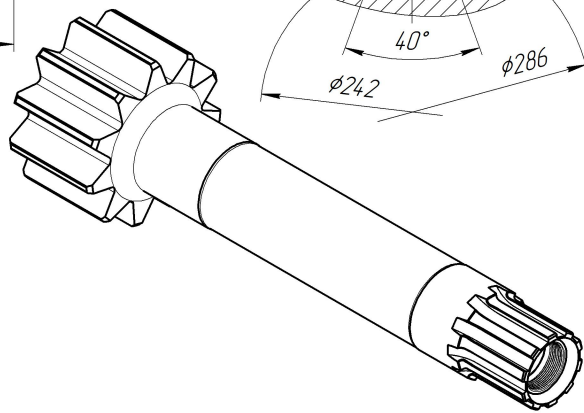
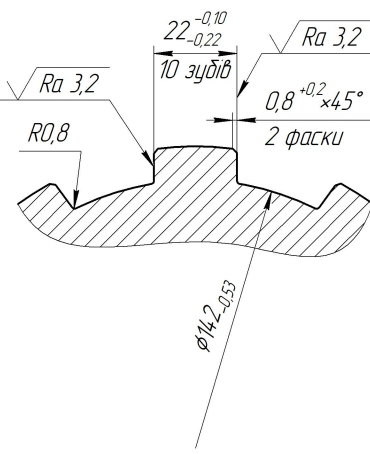
$\sqrt{Ra\ 12,5\ (\checkmark)}$

Модуль	m	26
Кількість зубів	z	11
Нормальний вихідний контур	-	ДСТУ ISO 53-2001
Коефіцієнт зміщення	X	+0,5
Ступінь точності	-	9-B
Довжина загальної нормалі	W	128,024 ^{+0,232} _{-0,442}
Дільний діаметр	d	286

Розріз Г-Г
(1:1)



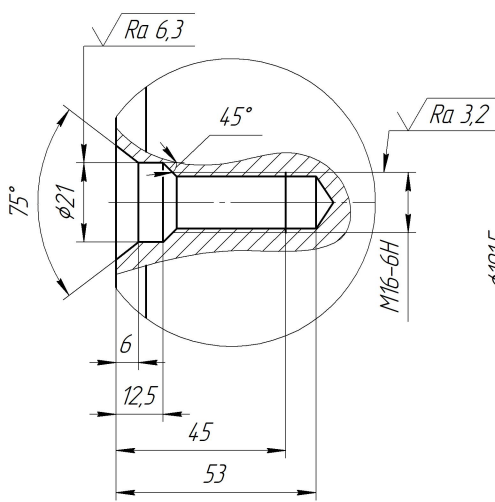
Розріз В-В
(1:1)



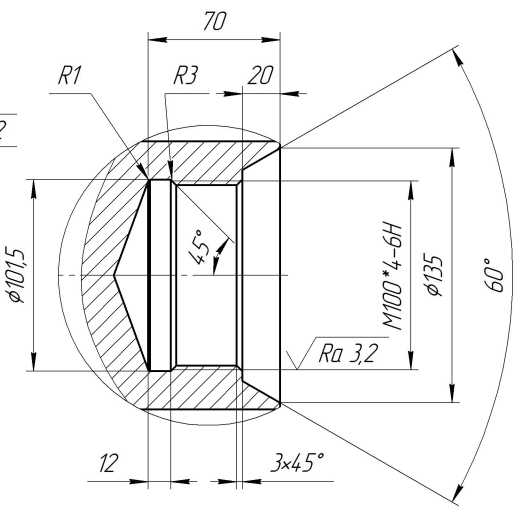
- 1 Гр. III HB 223...262;
2 Робоча поверхня зуба h 0,8...1,0; 40...45 HRC; впадина зуба 35 HRC;
3 Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, ± 2^{IT14};
4 Розмір для довідок.

КНУ.КМР.131.25.1-07.ВШ				Вал-шестерня		
Зм. Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лещенко			Н	358	1:2,5
Перев.	Кравцова			Архив	Архив	1
І.контр.				кафедра ТМ		
І.контр.	Нечасів			гр. ПМ-24м		
Затв.	Рязанцев			Формат А2		
Копія				ДСТУ EN 10250-3:2008		

Вид А
(1:1)



Вид Б
(1:2)



Лист 1 з 1
Стор. 1 з 1

Лист 1 з 1
Вар. 1 з 1
Лист 1 з 1
Лист 1 з 1

Перев. застос.

Спроб. №

Підп. і дата

Інв. № доц.

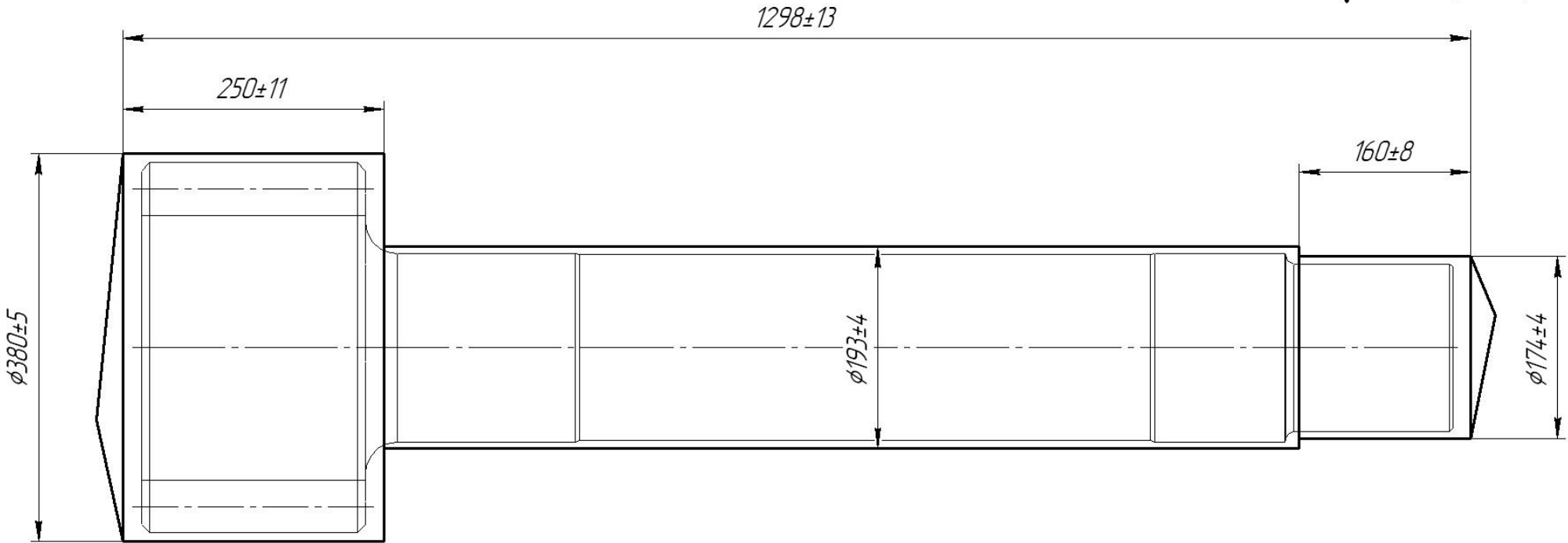
Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № орг.

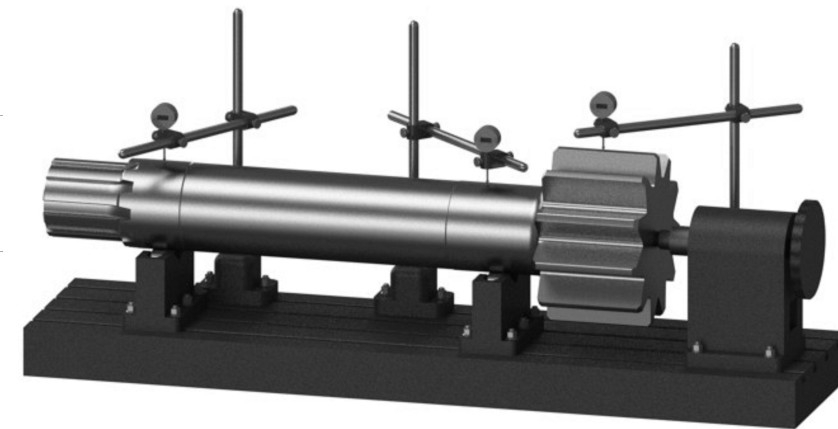
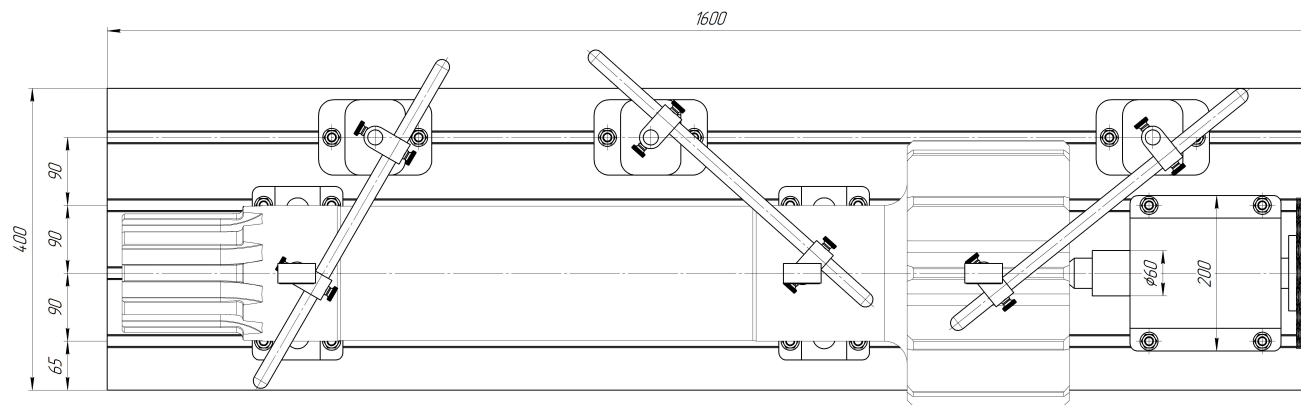
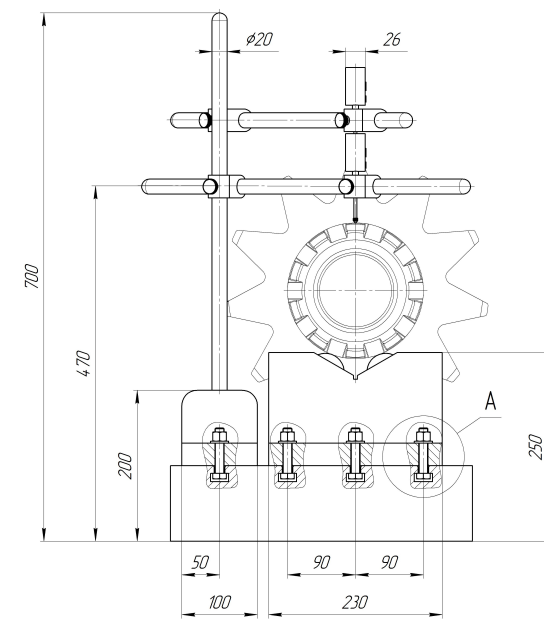
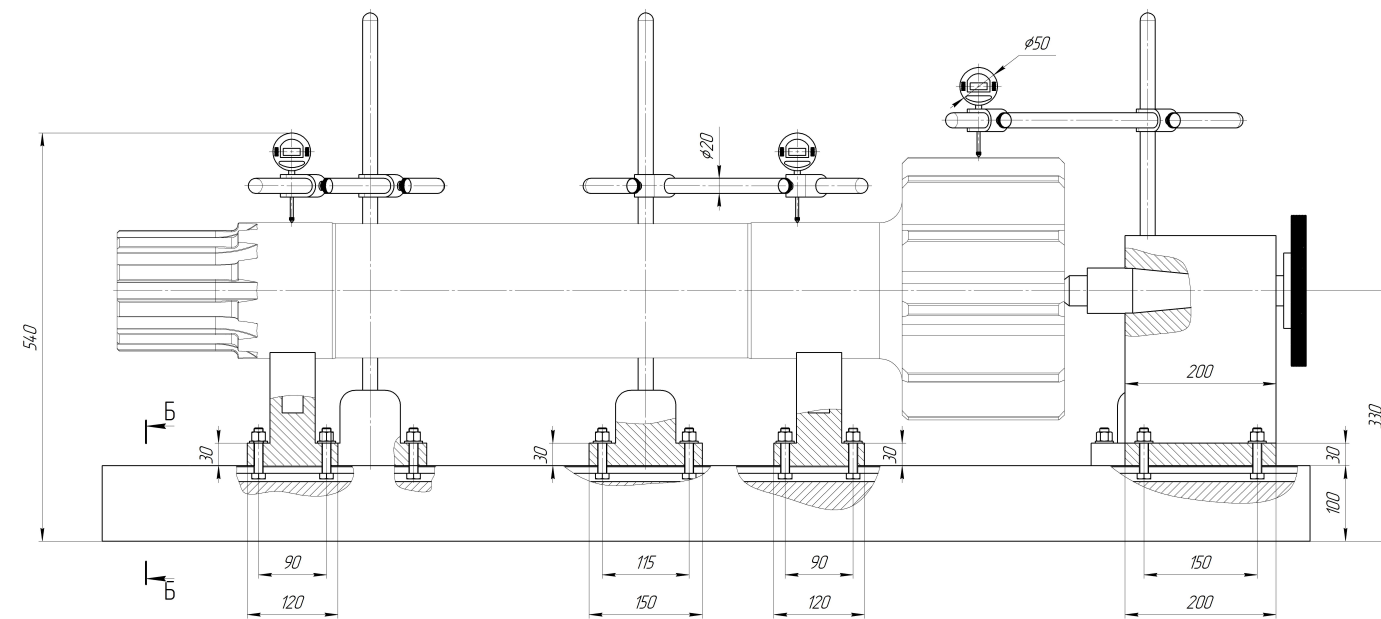
КНУ.КМР.131.25.1-07.3ДВШП

✓ Ra 12,5 (✓)

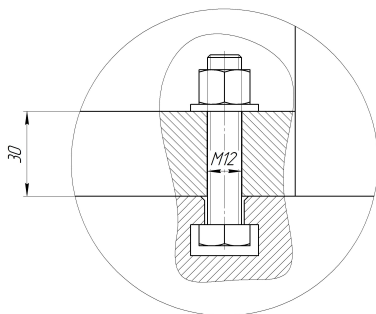


- 1. Кувальне обладнання: Гідравлічний кувальний молот С86УА-200;
- 2. Невказані штампувальні радіуси R16.
- 3. Допустимий заусенець – до 7,5 мм.
- 4. Допустимий заусенець після обрізки до 1 мм на сторону.
- 5. Допустиме зміщення по площині роз'єму штампа не більш 1,2 мм.
- 6. Клас точності виготовлення – Т4, група сталі – М2, ступінь складності – С3.

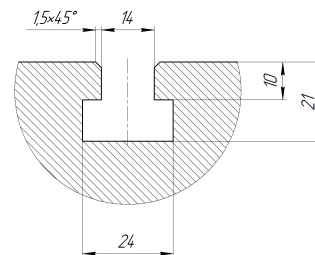
					КНУ.КМР.131.25.1-07.3ДВШП				
					Заготовка деталі "Вал-шестерня" (поковка)	Лит.	Маса	Масштаб	
Зм.	Арк.	№ док.	Підп.	Дата			397,5	1:4	
Розроб.	Лещенко								
Перев.	Кравцова								
Т.контр.						Аркцш	Аркцшів 1		
Н.контр.	Нечаєв				Сталь 34CrNiMo6	кафедра ТМ			
Затв.	Рязанцев				ДСТУ EN 10250-3:2008	гр. ПМ-24м			
					Коплював	Формат А3			



Buđ A
(2:1)



Профіль прорізів плити (2:1)



Технічні характеристики призм

1. Виробник: INSIZE;
2. Комплектація: 2 шт;
3. Габаритні розміри: 230x120x150 мм;
4. Вага: 2,7 кг;
5. Точність диття: 0,005 мм;
6. Паралельність підшпунників: 0,012 мм.

Технічні характеристики задньої бабки

1. Виробник: CNCPROM;
2. Комплектація: 1 шт;
3. Тип позиціювання: ручне;
4. Притискиний кінцевий датчик: конус;
5. Хід пінолі: 60 мм;
6. Висота до центру пінолі: 230 мм;
7. Матеріал корпусу: чугун;
8. Габаритні розміри: 200x200x300 мм;
9. Вага: 5.1 кг.

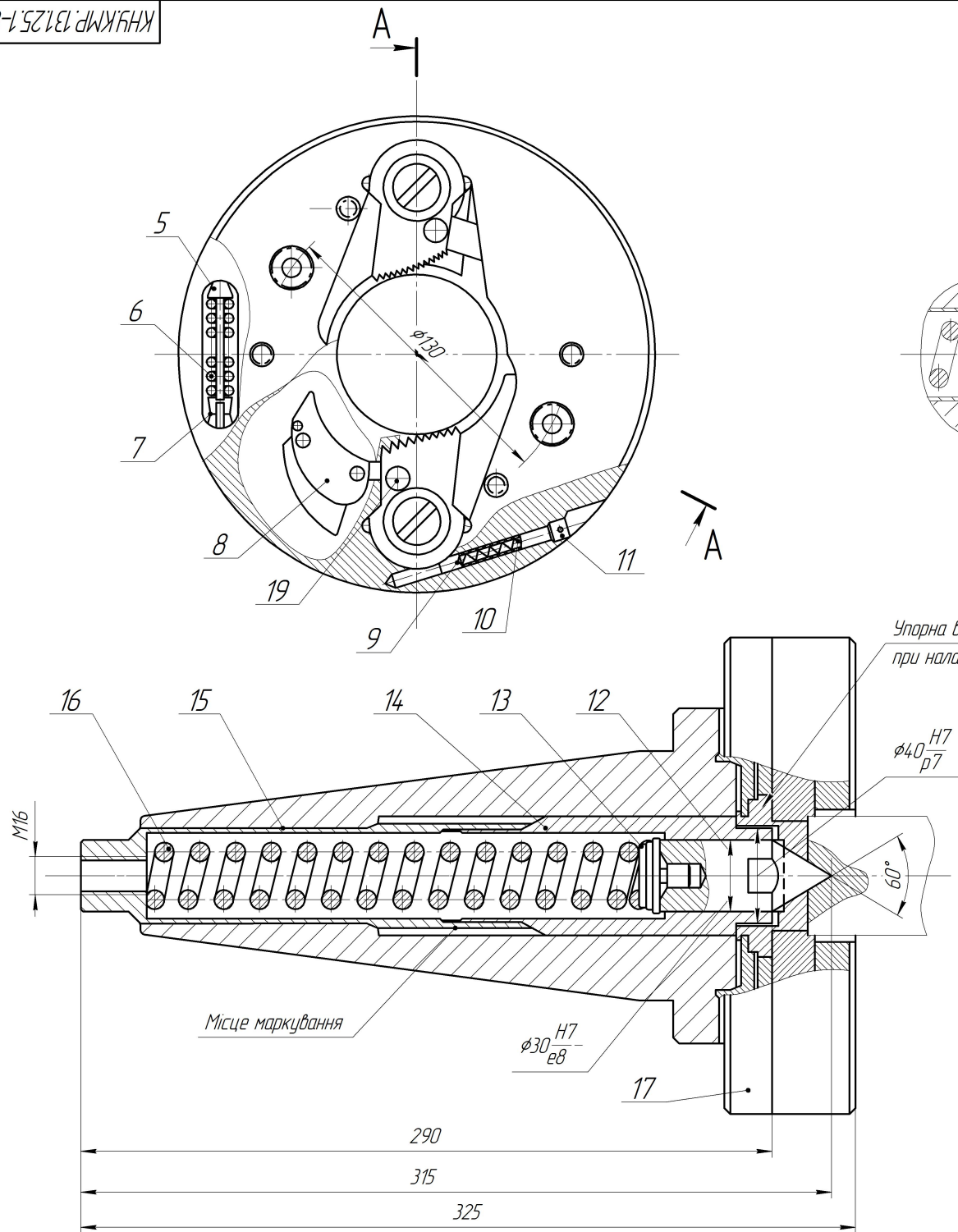
Технічні характеристики

1. Точність виміру 0,001 мм;
2. Габарити 1600×400×700 мм.

Технічні вимоги

1. Невказані граничні відхилення розмірів:
отворів – по Н14,
валів – по h14,
інших – $\pm IT14/2$.
2. Положення стійки поз. визначати по місцю контролюємої деталі.

						КНУ КМР.131.25.1-07.СК			
№1	Апр	№ довідки	Дата	Місто	Контрольне пристосування		Дім	Вік	Розмір
Розвід		№ довідки							12,5
Відвід		№ довідки							
Гарантія							Адреса	Гарантія	Г
Настрої		№ довідки					кафедра ТМ		
Зовні		№ довідки					до 14-24м		
					Копія		Формат А0		



Упорна втулка конструюється при налагодженні

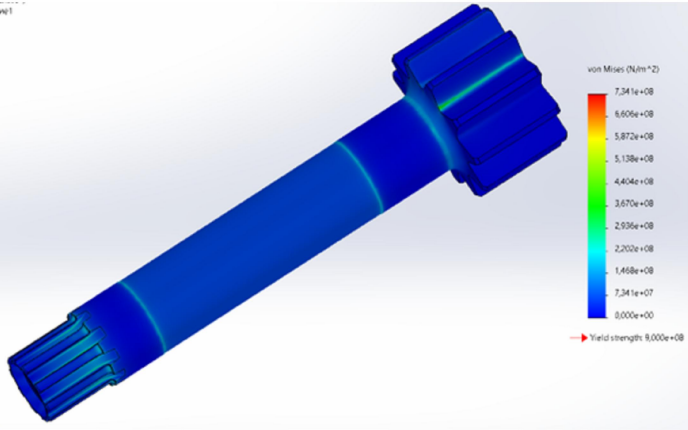
Технічна характеристика

- 1. Призначений для затискання валу;
- 2. Забезпечує затискне зусилля 637 Н;
- 3. Приводом є пневмоциліндр з робочим тиском 0,6 МПа;
- 4. Габаритні розміри – 325×200 мм;
- 4. Вага – 10 кг.

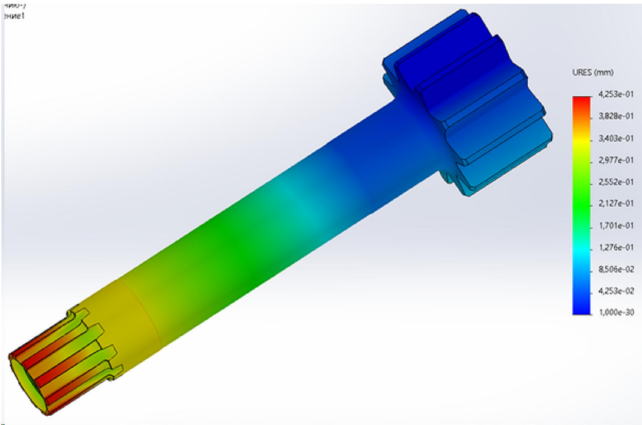
Технічні вимоги

- 1. Допуск діаметра конуса позиції 12±0,005;
- 2. Забезпечити допуск діаметра конуса позиції 12 при радіальному навантаженні ±0,005.

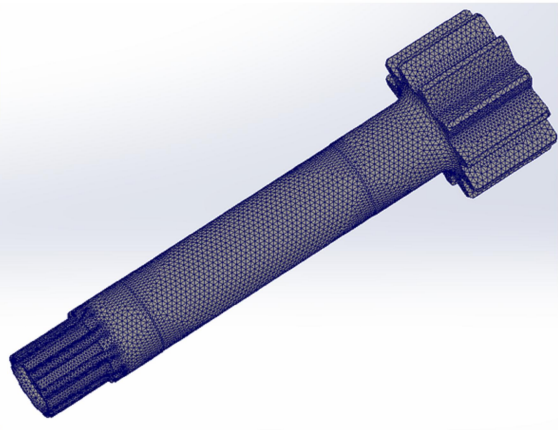
КНУ.КМР.131.25.1-07.ПП				Лит.	Маса	Масштаб
Зм. Арк.	№ док.	Підп.	Дата		10	1:2
Розроб.	Лещенко			Архив		Архив
Перев.	Кравцова					1
І.контр.						
Н.контр.	Нечасів			кафедра ТМ		
Затв.	Рязанцев			гр. ПМ-24м		
Копія				Формат А2		



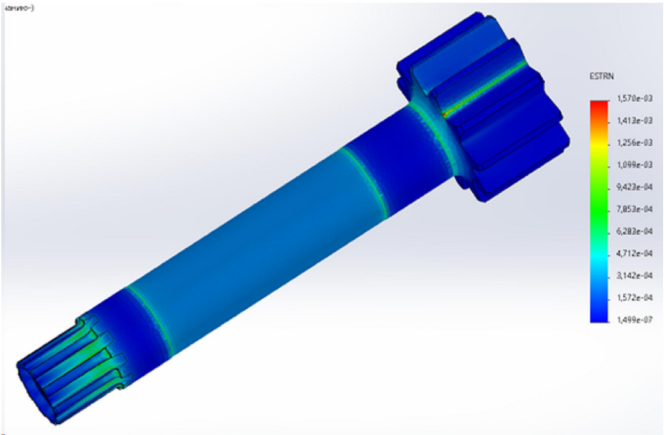
Епюра розподілу еквівалентних напружень на поверхні вала-шестерні під дією навантаження



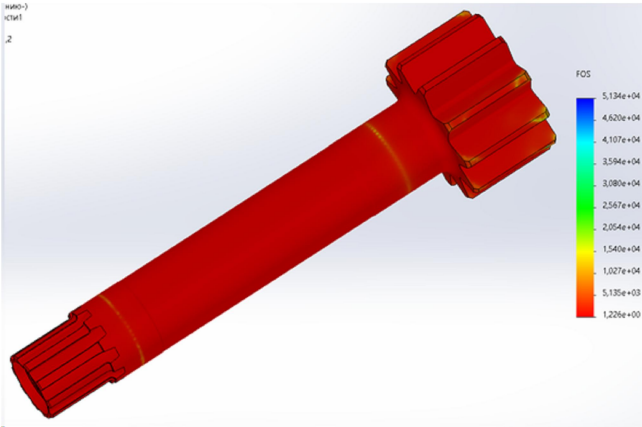
Епюра переміщень матеріалу на поверхні вала-шестерні під дією навантаження



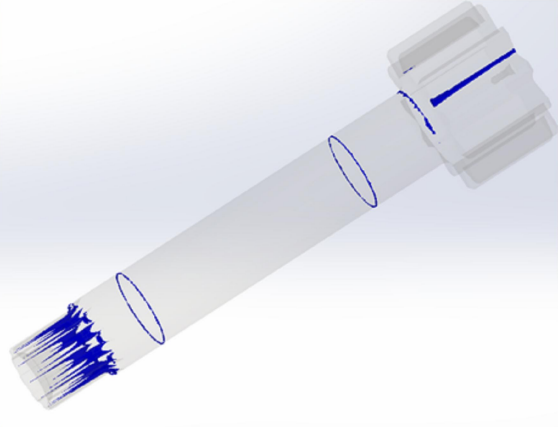
Відображення сітки кінцевих елементів на поверхні вала-шестерні



Епюра деформації матеріалу на поверхні вала-шестерні під дією навантаження



Епюра розподілу мінімального запасу міцності на поверхні вала-шестерні під дією навантаження



Епюра розподілу найвищих еквівалентних напружень всередині тіла вала-шестерні під дією навантаження

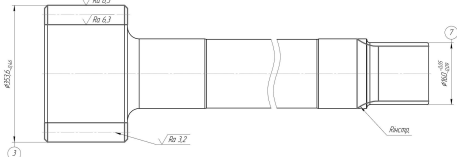
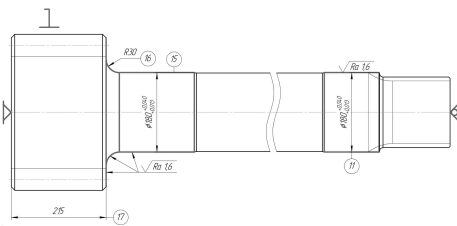
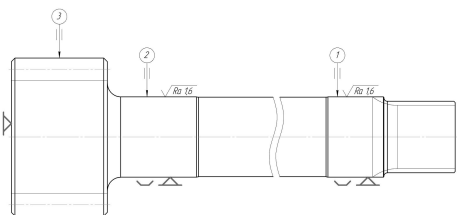
КНУ.КМР.131.25.1-07.ВДВШЗ				Вирободування деталі "Вал-шестерня" із застосуванням САЕ-системи		
Зм. Арк.	№ док.	Підп.	Дата	Лит.	Маса	Масштаб
Розроб.	Лещенко			Н		1:2,5
Перев.	Кравцова			Архив	Архив	1
І.контр.				кафедра ТМ гр. ПМ-24м		
І.контр.	Нечасів			Формат А2		
Затв.	Рязанцев			Копія		

№№, № довід.	Підп. і дата	Взам. інв. №	Інд. № довід.	Підп. і дата	Сторон. №	Перед. застос.

KHY.KMP.131.25.1-07.C3T00

Структура та зміст технологічних операцій при обробці деталі "Вал-шестерня"
Розроблений технологічний процес

Продовження таблиці

1	2	3	4	5	6
035 Зубообробна	HAAS VF-12/50		Встановити, закріпити та зняти деталь. Нарізувати шліці в розмір (7); Нарізувати зубці шестерні в розмір (3)	Черв'ячна фреза 2022 Черв'ячна фреза 2402	Перевірочний шаблон Кракомір Нормалемір
040 Додаткова термічна обробка	-	-	Індукційне гартування (Струм 600 МА протягом 7 с) та відпуск (Температура 330°C протягом 2 год)	-	-
045 Шліфувальна	JUNKER KARGO 20XL (повідковий патрон; одертальний центр)		Встановити, закріпити та зняти деталь. Шліфувати поверхні (11, 15, 16, 17) до необхідної точності	Шліфувальний круг 1-108416445 -25-40-P-6 -V-50-A-1	Скоди відповідних діаметрів
050 Миюча	MAGIDO L240E	-	Промити деталь	-	Пересувний грузовий візок
055 Контрольна	Стіл ОТК (контрольне пристосування)		Технічний контроль	-	Індикатор часового типу Призми Задня дабка