

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: Розробка інноваційних процесів конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі "Вал-шестерня" редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У з використанням CAD/CAM систем

Виконав: магістрант
групи ПМ-24м
Бутовський Д.В.

Керівник КМР:
к.т.н., доцент
Нечаєв В.П.

ПОЯСНОВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Розробка інноваційних процесів конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі "Вал-шестерня" редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У з використанням CAD/CAM систем

Виконав магістрант гр. ПМ-24м

(підпис)

Бутовський Д.В.

Керівник КМР

(підпис)

Нечасів В.П.

Нормоконтроль

(підпис)

Нечасів В.П.

Завідувач кафедри

(підпис)

Рязанцев А.О.

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.

(підпис)

(дата)

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну магістерську роботу**

Магістранта гр. ПМ-24м Бутовського Дмитра Вікторовича

1. Тема: Розробка інноваційних процесів конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі "Вал-шестерня" редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У з використанням CAD/CAM систем

Керівник КМР: доц., к.т.н. Нечаєв В.П.

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

2. Термін подання магістрантом закінченої роботи 08.12.2025 р.

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1 Розробка та узгодження технічного завдання. 2 Проектування технологічного процесу складання. 3 Технологічна підготовка виробництва виробу. 4 Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 5 Конструкторська підготовка виробництва. 6 Організаційно-економічна підготовка виробництва. 7 Інтеграція сучасних металургійних технологій у машинобудівну галузь

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Складальне креслення. 2. Вал-шестерня. 3. Вал-шестерня (поковка). 4. Верстатно-інструментальне налагодження. 5. Верстатне пристосування. 7. Контрольне пристосування. 8. Наукова частина.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Організаційно- економічна підготовка виробництва	Нечаєв В.П. к.т.н., доцент		

7. Календарний план:

Розділи пояснювальної записки	Термін виконання
1 Розробка та узгодження технічного завдання	12.09.2025
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	17.09.2025
1.2 Службове призначення виробу	22.09.2025
2 Проектування технологічного процесу складання	28.09.2025
3 Технологічна підготовка виробництва виробу	01.10.2025
3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	05.10.2025
3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі	15.10.2025
4 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	18.10.2025
5 Конструкторська підготовка виробництва	23.10.2025
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	24.10.2025
6.1 Техніко-економічне обґрунтування варіантів маршруту технологічного процесу	06.11.2025
6.2 Реконструкція механоскладального цеху	10.11.2025
6.3 Вибір та обґрунтування засобів та регламентів забезпечення охорони праці, безпечності життєдіяльності, екологічних вимог виробничих процесів	13.11.2025
7 Комплексна оцінка ефективності проектних рішень з використанням інноваційно-наукових ресурсів	16.11.2025
Висновки	17.11.2025
Додатки	18.11.2025
Попередній захист	08.12.2025

Дата видачі завдання: «28» липня 2025 р.

Завдання видав керівник

кваліфікаційної магістерської роботи

/ Нечаєв В.П./

Завдання отримав

магістрант

/ Бутовський Д.В./

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота містить: 105 сторінок, 73 рисунки, 25 таблиць, 17 джерел.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси виготовлення деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У.

Мета роботи – розробка удосконаленого технологічного процесу механічної обробки вал-шестерні з використанням сучасного обладнання з ЧПК, проектування технологічного оснащення, створення керуючих програм у середовищі САМ та оцінка економічної ефективності впровадження новітніх металургійних технологій.

Методи дослідження – аналіз конструкторської документації, моделювання у середовищах SolidWorks та FeatureCAM, розрахунок розмірних ланцюгів, аналіз режимів різання, техніко-економічне моделювання собівартості.

В роботі проведено аналіз службового призначення деталі та вузла, спроектовано техпроцес складання тихохідного валу редуктора. Розроблено маршрутний технологічний процес виготовлення деталі з використанням верстатів з ЧПК (НААС ST-55, НААС VF 9/50). Виконано 3D-моделювання та перевірку керуючих програм на колізії. Спроектовано спеціальне верстатне пристосування для базування заготовки. Проведено розрахунок собівартості виробництва та проаналізовано вплив використання сталі, виготовленої за технологією DRI (HBI), на економічні та екологічні показники підприємства.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ЕКГ-5А, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЧПК, FEATURECAM, СОБІВАРТІСТЬ, DRI/HBI, ЕКОЛОГІЯ.

ABSTRACT

The qualification master's thesis contains: 105 pages, 73 figures, 25 tables, 17 sources.

The object of research is the manufacturing processes of the "Gear shaft" part of the swing gearbox of the EKG-5A-U excavator.

The purpose of the work is the development of an improved technological process for machining the gear shaft using modern CNC equipment, the design of technological tooling, the creation of control programs in a CAM environment, and the assessment of the economic efficiency of implementing the latest metallurgical technologies.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-03.Р</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Бутовський</i>			<i>Реферат</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>			<i>зр. ПМ-24м</i>		

Research methods include the analysis of design documentation, modeling in SolidWorks and FeatureCAM environments, calculation of dimensional chains, analysis of cutting parameters, and techno-economic modeling of production cost.

In the work, an analysis of the service function of the part and the assembly was conducted, and the assembly process for the low-speed shaft of the gearbox was designed. A routing technological process for manufacturing the part using CNC machines (HAAS ST-55, HAAS VF 9/50) was developed. 3D modeling and verification of control programs for collisions were performed. A special machine fixture for positioning the workpiece was designed. The calculation of production cost was carried out, and the impact of using steel manufactured using DRI (HBI) technology on the economic and ecological indicators of the enterprise was analyzed.

GEAR SHAFT, EKG-5A, TECHNOLOGICAL PROCESS, CNC, FEATURECAM, PRODUCTION COST, DRI/HBI, ECOLOGY.

					<i>KHY.KMP.131.25.1-03.P</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 РОЗРОБКА ТА УЗГОДЖЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних.....	10
1.2 Службове призначення об'єкту проектної задачі.....	10
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ.....	15
2.1 Проектування послідовності складання вузла.....	15
2.1 Розрахунок лінійних та кутових розмірних ланцюгів.....	18
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ВИРОБУ	21
3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	21
3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі.....	33
4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	50
4.1 Розробка верстатно-інструментального налагодження та розрахунково- технологічної карти для операції на верстатах з ЧПК	50
4.2 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора та отримання керуючих програм	59
5 КОНСТРУКТОРСЬКА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	74
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	79
6.1 Проектування механоскладальної дільниці	79
6.2 Охорона праці та екологія виробництва.....	87
6.3 Оцінка ключових техніко-економічних показників	89
7 ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИНОБУДІВНУ ГАЛУЗЬ	96
7.1 Проблема екологічної складової металургії та технологічна трансформація	96
7.2 Економічні та екологічні переваги інтеграції DRI (HBI).....	99

					КНУ.КМР.131.25.1-03.3		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Бутовський					
Перевір.		Нечаєв					
Н. Контр.		Нечаєв					
Затверд.		Рязанцев			Зр. ПМ-24м		
					Лит.	Арк.	Аркушів
						7	105

7.3 Розрахунок економічного впливу на собівартість виготовлення «Вал- шестерні».....	101
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	105

					КНУ.КМР.131.25.1-03.3	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Сучасне важке машинобудування, зокрема виробництво кар'єрної техніки, вимагає постійного підвищення надійності та довговічності вузлів при одночасному зниженні виробничих витрат. Екскаватори типу ЕКГ-5А залишаються однією з найпоширеніших машин у гірничодобувній промисловості, тому забезпечення якісними запасними частинами, такими як вал-шестерня редуктора повороту, є актуальним завданням.

Деталь «Вал-шестерня» працює в умовах значних динамічних навантажень, що висуває високі вимоги до точності розмірів, якості поверхонь та механічних властивостей матеріалу. Традиційні методи виготовлення часто не забезпечують необхідної продуктивності та гнучкості виробництва. Тому перехід на використання високоточного обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК) та сучасних САМ-систем для підготовки виробництва є критично необхідним кроком.

Метою даної роботи є комплексна розробка технологічного процесу виготовлення вал-шестерні з використанням сучасних інструментальних та програмних засобів, а також пошук шляхів зниження собівартості продукції за рахунок інтеграції новітніх металургійних технологій.

Для досягнення мети вирішено наступні завдання: проаналізовано службове призначення та технологічність деталі, розроблено технологічний процес складання вузла та механічної обробки деталі, здійснено моделювання обробки та створено керуючі програми у середовищі Autodesk FeatureCAM, спроектовано необхідне верстатне оснащення, розраховано параметри виробничої ділянки та собівартість продукції, досліджено ефективність використання сталі, отриманої методом прямого відновлення заліза (DRI), як альтернативи традиційному металу.

Практична цінність роботи полягає у створенні готового до впровадження технологічного рішення, яке дозволяє зменшити час на підготовку виробництва, підвищити точність обробки та знизити виробничі витрати.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-03.В</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Бутовський</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>			<i>зр. ПМ-24м</i>		
					<i>/літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
						9	105

					КНУ.КМР.131.25.1-03.01.РУТЗ						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.		Бутацький			Розробка та узгодження технічного завдання						
Перевір.		Нечаєв								10	105
Н. Контр.		Нечаєв						гр. ПМ-24м			
Затверд.		Рязанцев									

скельних, попередньо розпушених вибухом. [1] Дана модель випускається з 1980 року. До 2022 року було випущено 12 774 екскаватори типу ЕКГ-5А, тому дана модель і сьогодні є найбільш розповсюдженим кар'єрним екскаватором у пострадянських країнах.



Рисунок 1.2 – Загальний вид екскаватора ЕКГ-5А

Комплект креслень редуктора повороту, що є вихідними даними даного дослідження, був розроблений у 2006 році проектно конструкторським управлінням ВАТ «Міттал Стіл Кривий Ріг» (на даний момент ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг») для виконання капітального ремонту екскаваторів ЕКГ-5А-У №1,2 конвертерного цеху.

Виконання «У» відповідає кліматичним умовам для яких призначена робота екскаватора – помірний, граничні межі коливання температури $\pm 40^{\circ}\text{C}$. Виробником також передбачені виконання «ХЛ» – холодостійкий, коливання від $+40$ до -60°C ; «С» (північний) – від $+40$ до -50°C ; «Т» (тропічний) – від $+55$ до -20°C .

У конверторному цеху ПАТ «Арселор Міттал Кривий Ріг» даний тип екскаваторів використовується для розробки, відвантаження шлаку з шлакових відділень, а також підготовки шлакових ям до подальшого

					КНУ.КМР.131.25.1-03.01.РЧТЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

кантування й очищення шлакових чаш. Шлак відвантажується екскаваторами у автосамоскиди типу БелАЗ з вантажопідйомністю 40 тон. [2, с. 1].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики ЕКГ-5А

Місткість ковша, м³	4,6 - 6,3
Радіус черпання найбільший, м	14,5
Радіус черпання на рівні стояння, м	9,04
Висота черпання найбільша, м	10,3
Радіус вивантаження найбільший, м	12,65
Радіус хвостової частини, м	5,25
Висота вивантаження найбільша, м	6,7
Просвіт під поворотною платформою, м	1,85
Середній питомий тиск на ґрунт під час пересування, кгс/см²	2,1/1,72/1,3
Середній питомий тиск на ґрунт під час пересування, кПа	205/162/127
Розрахункова тривалість циклу (за кута повороту 90°), с	23
Напруга живильної мережі, кВ	3; 3,3; 6; 6,6
Тип електроприводу	Г-Д с МУ
Потужність мережевого двигуна, кВт	250
Маса робоча, т	196

ЕКГ-5А обладнаний двома приводами повороту. Привод повороту складається з електродвигуна ДПВ-52У1 (60 кВт) та редуктора двоступінчастого циліндричного. Складальне креслення редуктору наведене на рисунку 1.3.

Таблиця 1.2 – Характеристика зубастих передач редуктора повороту

Передача	Міжосьова відстань, мм	Модуль, мм	Число зубців		Коефіцієнт зміщення		Боковий зазор, мм	Ступінь точності	Передавальне число
			Шестерня	Колесо	Шестерня	Колесо			
I	390	6	20	110	0	0	0,26...0,66	8-B	5,5
II	390	10	11	67	+0,3	-0,3	0,26...0,66	8-B	6,09
III	1820	26	11	123	+0,5	-0,5	min 0,53	9-B	11,62

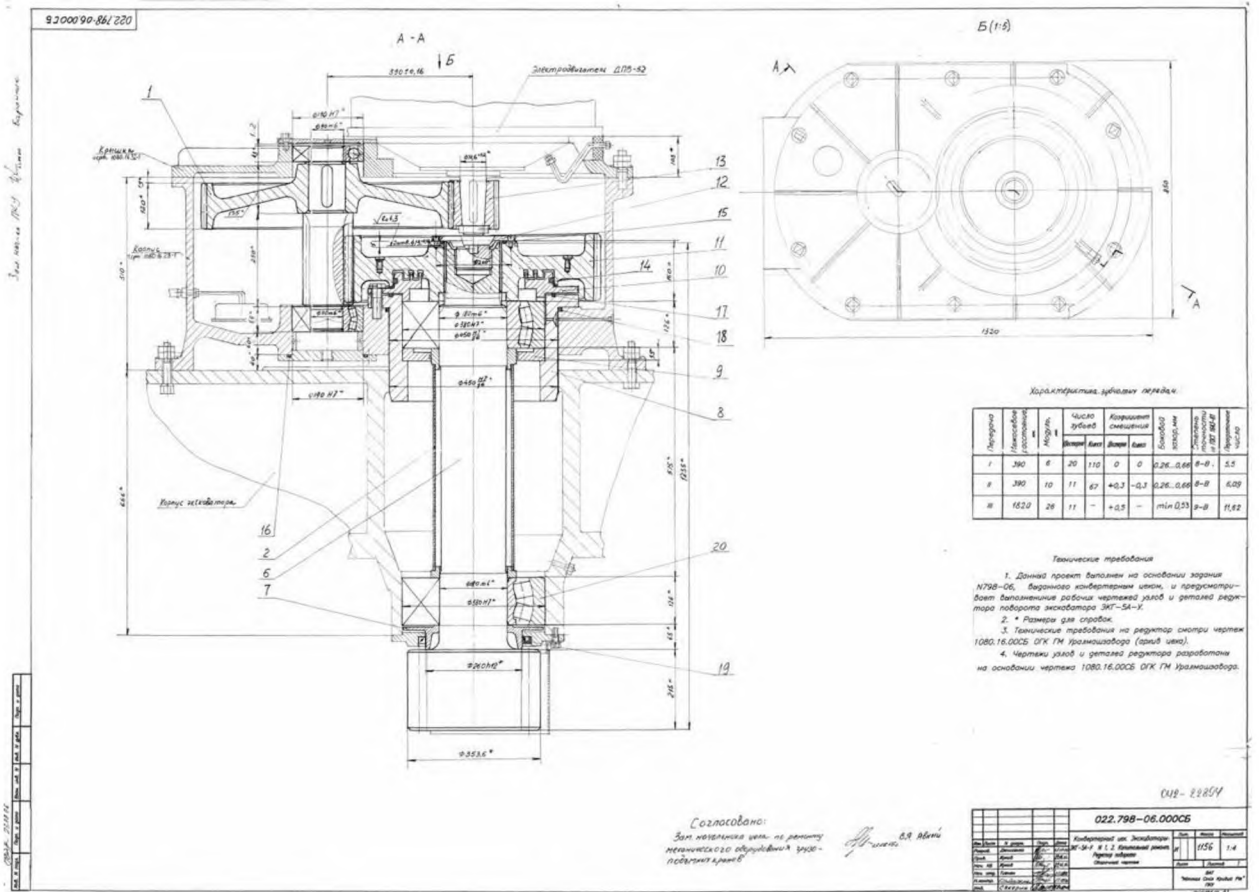


Рисунок 1.3 – Складальне креслення редуктора повороту

Об'єктом даного дослідження виступає тихохідний вал-шестерня редуктору повороту ЕКГ-5А. Вага деталі 300 кг, довжина валу 1 255 мм, модуль шестерні 26, кількість зубців 11.

Вал-шестерня складається з трьох основних ступенів:

- 1) Зовнішні прямі шліці – призначенні для з'єднання та передачі обертання зубчастого колеса;
- 2) Циліндрична проміжна частина
 - опорна функція – посадкові місця для двох радіальних роликових підшипників 3636;
 - винос виходу редуктора на 500 мм нижче основного корпусу;
- 3) Шестерня – передача крутного моменту на вінець зубчастого колеса ходового візка екскаватора.

Деталь виготовлена із конструкційної легованої сталі 34ХН1МА. Метод виготовлення заготовки – поковка гр. ІІІ НВ 223-262 за ДСТУ 9182:2022 [3].
Схема розташування вал-шестерні редуктора повороту ЕКГ-5А зображена на рисунку 1.4.

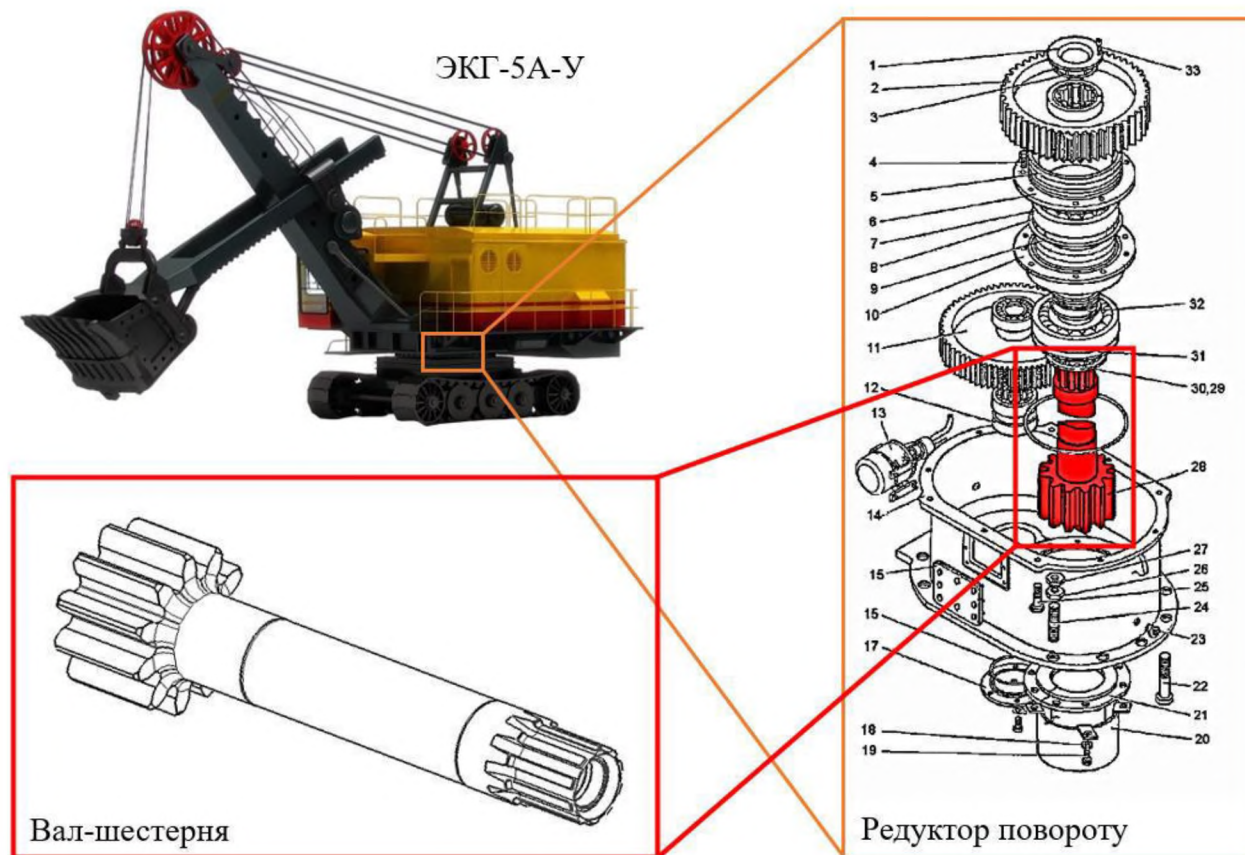


Рисунок 1.4 – Схема розташування вал-шестерні

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-03.01.РУТЗ

Арк.

14

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ

2.1 Проектування послідовності складання вузла

Розглянемо складальний процес тихохідного вузла редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А. На основі складального креслення редуктора повороту (Рисунок 1.3) було розроблено схему складання тихохідного вузла (Рисунок 2.1), з переліком його складових (Таблиця 2.1) та послідовністю складання (Таблиця 2.2).

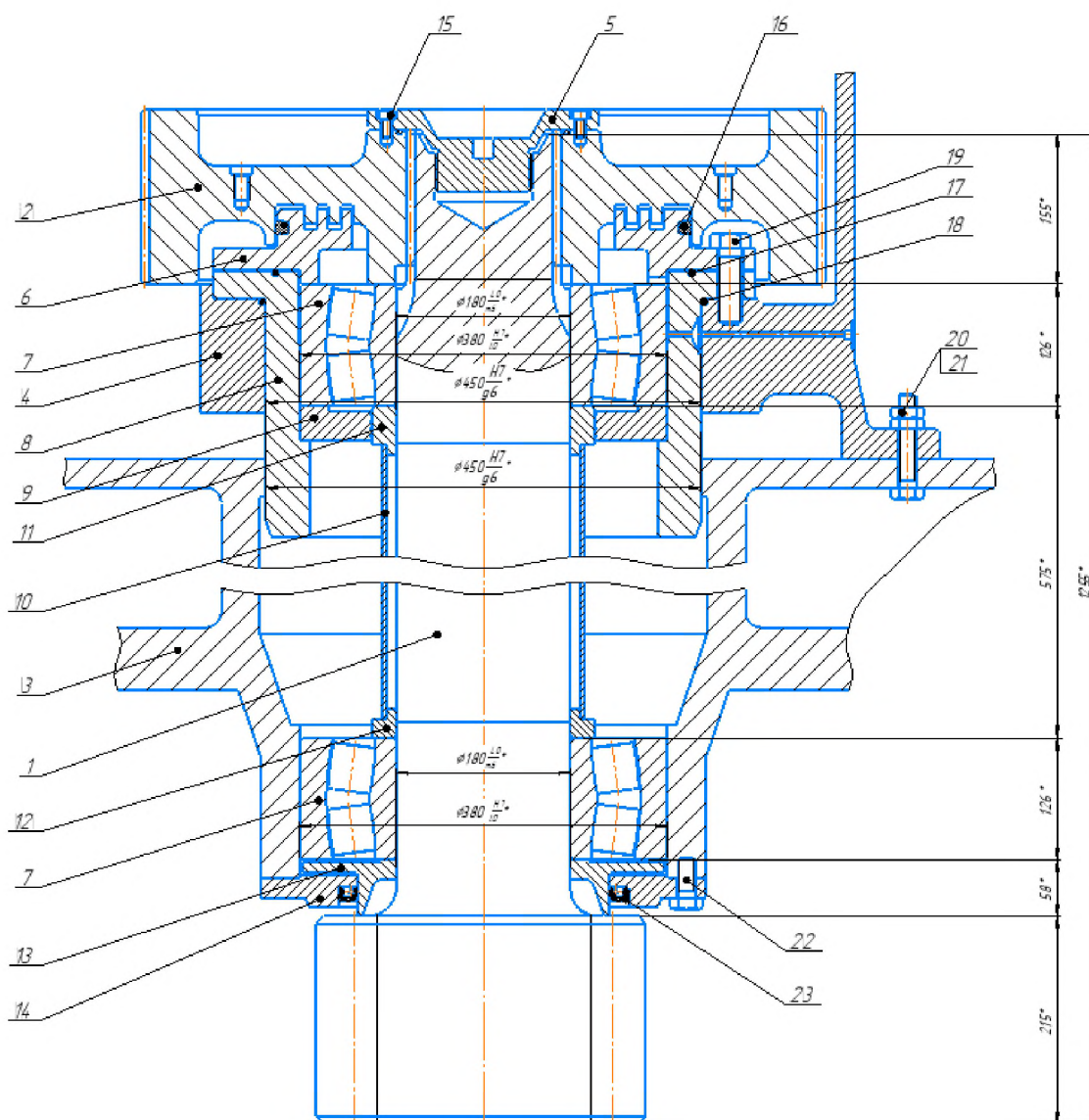


Рисунок 2.1 – Схема складання тихохідного вузла редуктора

					КНУ.КМР.131.25.1-03.02.ПТПС							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Бутовський			Проектування технологічного процесу складання				Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Нечаєв									15	105
Н. Контр.		Нечаєв							гр. ПМ-24м			
Затверд.		Рязанцев										

Таблиця 2.1 – Складові тихохідного вузла редуктора

№ позиції деталі	Найменування деталі	Кількість деталей, шт
1	2	3
1	Вал-шестерня	1
2	Колесо	1
3	Корпус екскаватора	1
4	Корпус редуктора	1
5	Кришка колеса	1
6	Кришка лабіринтна	1
7	Підшипник	2
8	Стакан	1
9	Упорне кільце	1
10	Труба	1
11	Втулка труби верхня	1
12	Втулка труби нижня	1
13	Кришка підшипника	1
14	Кришка корпусу екскаватора	1
15	Гвинт М13	2
16	Кільце ущільнювальне клинове	1
17	Кільце ущільнювальне $\varnothing 424$	1
18	Кільце ущільнювальне $\varnothing 450$	1
19	Гвинт М24	8
20	Болт М18	4
21	Гайка М18	8
22	Болт М18	3
23	Манжета ущільнювальна	1

Таблиця 2.2 – Послідовність складання тихохідного вузла

№ з/п	Зміст переходу	№ деталі за специфікацією	Пристосування	T _{шт} , хв
1	2	3	4	5
1	Встановити вал-шестерню на стіл для комплектування	1	Таль ланцюговий	10
2	Вставити манжету у кришку корпусу екскаватора	23, 14		1
3	Заложити в манжети змащення	23		5
4	Встановити кришку корпусу екскаватора на вал-шестерню до упору	14		1
5	Встановити кришку підшипника до опору	13		1
6	Встановити перший підшипники до упору	7	Низько-температурна піч	15
7	Приварити верхню та нижню втулки до труби	10, 11, 12	Електродугове зварювання	15
8	Встановити трубу до упору	10, 11, 12		1
9	Встановити другий підшипник до упору	7	Низько-температурна піч	15
10	Встановити ущільвальні кільця на стакан	17, 18, 8		2
11	Встановити упорне кільце в стакан до упору	9, 8		1

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
12	Встановити стакан на вал-шестерню до упору	8, 1		3
13	Встановити кільце ущільнювальне клинове на кришку лабіринтну	16, 6		2
14	Встановити кришку лабіринтну на вал-шестерню до упору, сумістивши отвори під гвинти на стакані	6, 1, 8		2
15	Встановити вал-шестерню у корпус редуктора, сумістивши отвори під гвинти	1, 4	Таль ланцюговий	10
16	Встановити гвинти М24	19		5
17	Змастити шліці вал-шестерні	1		2
18	Встановити колесо на вал-шестерню	2, 1	Таль ланцюговий	10
19	Встановити кришку колеса	5		1
20	Встановити гвинти М13	15		2
21	Встановити редуктор у корпус екскаватора	4, 3	Таль ланцюговий	10
22	Встановити гвинти, болти, гайки М18	20, 21, 22		15
Загальний час складання вузла, хв				129

2.1 Розрахунок лінійних та кутових розмірних ланцюгів.

Проведемо розрахунок технологічного осьового зазору лабіринтного ущільнення між колесом та лабіринтною кришкою. Згідно нормативу, осьовий зазор лабіринтного ущільнення має складати $A \pm 1$ мм.

Схема розмірного ланцюга наведена на рисунку 2.2.

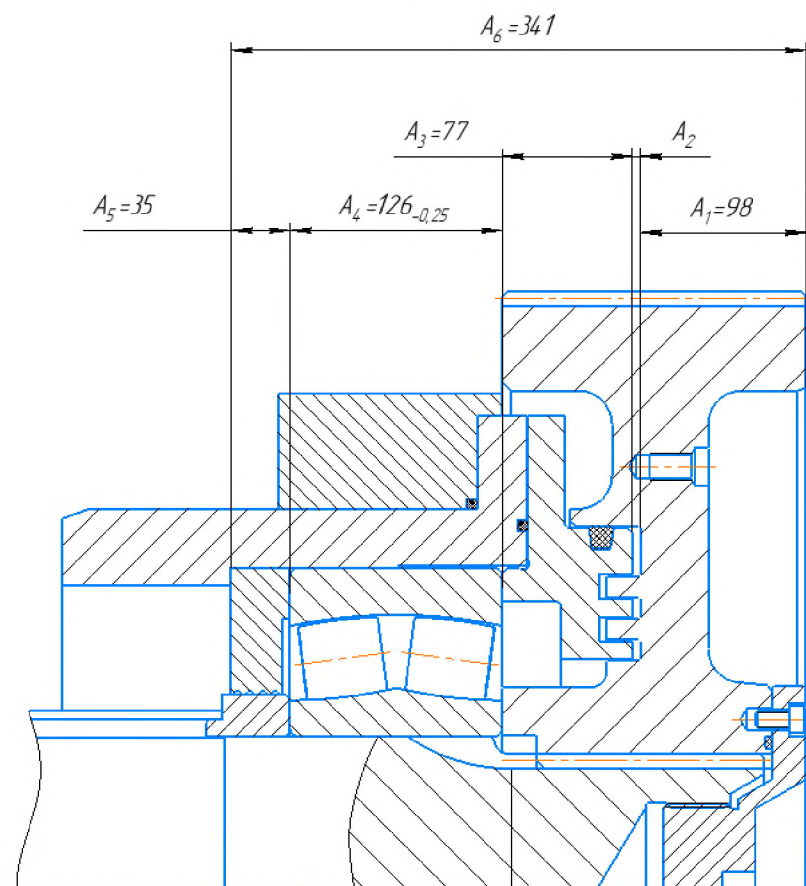


Рисунок 2.2 – Розмірний ланцюг

Розмірний ланцюг складається з:

- A_1 – глибина пазу колеса
- A_2 – замикаюча ланка – зазор у лабіринтному ущільненні
- A_3 – глибина лабіринтного пазу колеса
- A_4 – товщина підшипника 3636
- A_5 – товщина упорного кільця
- A_6 – загальний розмір, згідно складального креслення

Проведемо розрахунок за методом максимуму-мінімуму [4].

Розрахуємо номінальним розмір замикаючої ланки:

$$A_2 = A_6 - A_1 - A_3 - A_4 - A_5 \quad (2.1)$$

$$A_2 = 341 - 98 - 77 - 126 - 35 = 5 \text{ мм} \quad (2.2)$$

Приймаємо, що усі розміри розмірного ланцюга рівноточні, розраховуємо середню кількість одиниць допуску:

$$k = \frac{2000 - 250}{2.17 + 1.86 + 1.56 + 3.54} = 191.68 \quad (2.3)$$

Одиниці допуску (і) для розмірів з невизначеним полем допуску були взяті із таблиці значень $i = 0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D$ для інтервалів розмірів згідно єдиної системи допусків та посадок ДСТУ ISO 286-1-2002 [5].

Згідно довідника «Допуски і посадки» обираємо квалітет відповідно до розрахованої кількості одиниць допуску. [6, с.7]. Приймаємо квалітет IT12-13. Отримані дані занесемо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані розрахунку розмірного ланцюга

Позначення розміру	Номинальний розмір, мм	i	IT	IT, мкм
1	2	3	4	5
A1	98	2.17	12	350
A2	5	-	-	2 040
A3	77	1.86	12	300
A4	126	-	11	250
A5	35	1.56	12	250
A6	341	3.54	13	890
Σ		9.13		2 040

Згідно розрахованої суми допусків $2040 > 2000$, збільшуємо допуск замикаючої ланки на 40 мкм.

Розраховуємо граничні відхилення замикаючої ланки за формулами 2.4 та 2.6.

$$ES_{A2} = \sum ES_{A36} - \sum EI_{A3M} \quad (2.4)$$

$$ES_{A2} = 0 - (-350 - 300 - 250 - 250) = 1150 \text{ мкм} \quad (2.5)$$

$$EI_{A2} = \sum EI_{A36} - \sum ES_{A3M} \quad (2.6)$$

$$EI_{A2} = -890 - 0 = -890 \text{ мкм} \quad (2.7)$$

Отже, розрахований розмір замикаючої ланки: $5^{+1.15}_{-0.89}$.

Можна зробити висновок, що розрахунок проведено правильно.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.02.ПТПС	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ВИРОБУ

3.1 Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі

3.1.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Деталь типу вал-шестерня поєднує функції валу і зубчастого колеса, являє собою обертовий елемент, який одночасно передає крутний момент та здійснює зачеплення з іншими зубчастими колесами. Валова частина виконує функцію опори для підшипників і забезпечує підтримку обертових деталей, що монтуються на ньому. Зубчаста частина здійснює передачу обертового руху та крутного моменту в механізмі.

Вал-шестерня сприймає комбіновані навантаження:

- крутні моменти вздовж осі валу;
- згинальні навантаження від реакцій підшипників та сил зачеплення;
- осьові сили від зубчастого зачеплення.

Конструкція передбачає наявність шліцьових з'єднань та уступів для точного позиціонування підшипників та інших елементів, що потребує підвищеної точності геометрії опорних і базових поверхонь. Для забезпечення довговічності деталі важливими є правильність центрування зубчастої частини відносно осі валу та жорсткість, що гарантує відсутність перекосів під час роботи під навантаженням.

Вал-шестерня використовується для передачі обертового руху та крутного моменту між вузлами механізму з одночасною підтримкою обертових частин. У розмірних зв'язках вузла деталь виконує роль ведучого елемента, який визначає точність взаємного розташування зубчастого зачеплення і підшипників, впливає на плавність роботи та ресурс усієї передачі.

Високі вимоги ставляться до:

- концентричності зубчастої вінцевої частини відносно осі валу;
- точності посадкових діаметрів під підшипники;
- якості термооброблених поверхонь, що працюють на зношування;
- вібро- та ударостійкості в умовах змінних навантажень.

Обрана для виготовлення деталі сталь 34ХН1МА (легована конструкційна) широко застосовується для валів, шестерень, осей, шпинделів та інших відповідальних деталей, які працюють при великих динамічних навантаженнях і потребують поєднання високої поверхневої твердості та

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бутацький			<i>Технологічна підготовка виробництва виробу</i>	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Нечасів					21	105
						<i>гр. ПМ-24м</i>		
Н. Контр.		Нечасів						
Затверд.		Рязанцев						

в'язкої серцевини. Хімічний склад та механічні властивості сталі 34ХН1МА та її світових аналогів приведено у таблицях 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад сталі 34ХН1МА та її аналогів

Хімічний Елемент	34ХН1МА (ДСТУ)	AISI 4340 (США)	36CrNiMo4 (EN 10083-3)	SNCM439 (JIS, Японія)
1	2	3	4	5
C	0,30–0,38	0,38–0,43	0,32–0,39	0,36–0,43
Si	0,17–0,37	0,15–0,35	0,10–0,40	0,15–0,35
Mn	0,40–0,70	0,60–0,80	0,50–0,80	0,60–0,90
Cr	1,30–1,70	0,70–0,90	0,90–1,20	0,70–1,00
Ni	1,30–1,70	1,65–2,00	1,30–1,70	1,60–2,00
Mo	0,25–0,35	0,20–0,30	0,15–0,30	0,20–0,30
Інші елементи	S ≤ 0,025; P ≤ 0,025	S ≤ 0,025; P ≤ 0,025	S ≤ 0,025; P ≤ 0,025	S ≤ 0,030; P ≤ 0,030

Технологічні переваги сталі 34ХН1МА:

1) Високі механічні властивості

- Підвищена міцність і твердість після термообробки (загартування з відпуском).
- Стійкість до втомних навантажень, що важливо для деталей, які працюють під крутними моментами та згином.

2) Оптимальна зносостійкість

- Хром ($\approx 1,3\text{--}1,7\%$) підвищує твердість поверхні та зносостійкість зубців.
- Молібден ($\approx 0,25\text{--}0,35\%$) підвищує прогартовуваність та зменшує ризик відпускнуї крихкості.
- Нікель ($\approx 1,3\text{--}1,7\%$) забезпечує в'язкість і ударну міцність навіть при низьких температурах.

3) Хороша оброблюваність і технологічність

- Сталь добре піддається куванню та обробці тиском, що дозволяє отримати заготовку з поковки методом осадки з прутка.

- Сумісність із цементацією, загартуванням та високотемпературним відпуском для досягнення потрібної твердості зубів та м'якої в'язкої серцевини.

Таблиця 3.2 – Механічні властивості сталі 34ХН1МА та її аналогів

Марка сталі	Стан матеріалу	σ_B , МПа	$\sigma_{0.2}$, МПа	δ , %	ψ , %	KCU, Дж/см ²	HRC
1	2	3	4	5	6	7	8
34ХН1МА (ДСТУ)	Після нормалізації ($\approx 850^\circ\text{C}$)	830-930	600-700	12-14	45-50	70-90	22-28
	Загартування + високий відпуск	980-1180	780-950	10-12	40-45	60-80	32-38
	Загартування + низький відпуск	1200-1350	950-1100	8-10	35-40	50-70	40-45
AISI 4340 (США)	Після нормалізації	830-900	650-720	12-15	45-50	70-90	22-28
	Загартування + високий відпуск	930-1080	730-880	11-13	40-45	60-80	32-36
	Загартування + низький відпуск	1180-1320	900-1080	8-10	35-40	50-70	40-45
36CrNiMo4 (EN 10083-3)	Після нормалізації	800-880	600-680	12-14	45-50	70-90	22-26
	Загартування + високий відпуск	900-1100	700-880	10-12	40-45	60-80	30-36
	Загартування + низький відпуск	1180-1300	900-1050	8-10	35-40	50-70	38-44
SNCM439 (JIS, Японія)	Після нормалізації	800-900	600-700	12-14	45-50	70-85	22-28
	Загартування + високий відпуск	950-1100	750-900	10-12	40-45	60-80	32-36
	Загартування + низький відпуск	1200-1300	950-1100	8-10	35-40	50-70	40-45

Для коректного підбору різального інструменту та режимів різання виготовлення деталі «Вал-шестерні» визначимо тип матеріалу заготовки, згідно каталогу Seco [10, с.616].

Таблиця 3.3 – Групи матеріалів Seco

Група	Опис	R _m (Н/мм ²)	k _{c1.1} (Н/мм ²)	m _c
1	2	3	4	5
P1	Дуже м'які низьковуглецеві сталі. Чисті феритні сталі.	<450	1350	0.21
P2	Автоматні сталі.	400 <700	1500	0.22
P3	Конструкційні сталі. Звичайні вуглецеві сталі з вмістом вуглецю від низького до середнього (<0,5 %C).	450 <550	1500	0.25
P4	Вуглецеві сталі з високим вмістом вуглецю (>0,5 %C). Середньотверді зміцнені сталі. Звичайні низьколеговані сталі. Феритні та мартенситні нержавіючі сталі.	550 <700	1700	0.24
P5	Звичайні інструментальні сталі. Більш тверді зміцнені сталі. Мартенситні нержавіючі сталі.	700 <900	1900	0.24
P6	Важкооброблювані інструментальні сталі. Високолеговані сталі з високою твердістю. Мартенситні нержавіючі сталі.	900 <1200	2000	0.24

Згідно таблиці 3.3 класифікації груп матеріалів Seco, сталь 34XH1MA відноситься до групи P4, оскільки:

- Вона низьколегована і піддається зміцненню,
- Має межу міцності вище 700 МПа,
- Перевершує за міцністю і властивостями звичайні конструкційні сталі з групи 3.
- Не відноситься до інструментальних

3.1.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Нумерація поверхонь деталі наведена на рисунку 3.1.

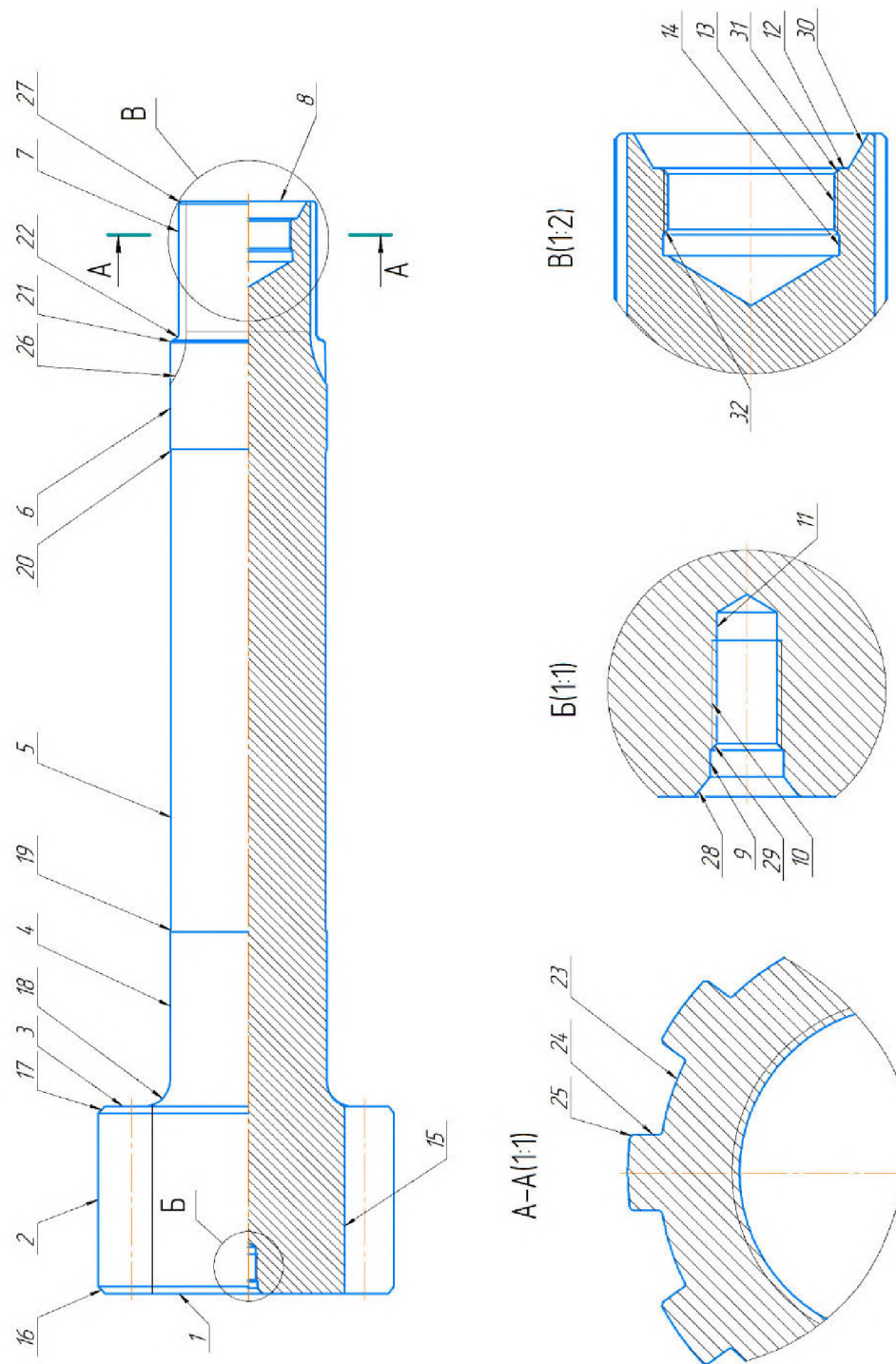


Рисунок 3.1 – Нумерація поверхонь деталі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ

Арк.

25

Таблиця 3.4 – Аналіз якості поверхонь деталі

№ з/п поверхні	Номинальний розмір, мм	Квалітет	Допуск, IT	Шорсткість, Ra
1	2	3	4	5
1	L215	h14	1.15	Ra 6.3
2	ø340.123	h11	0.36	Ra 6.3
3	L215	h14	1.15	Ra 1.6
4, 6	ø180	m6	0.025	Ra 1.6
5	ø178	h14	1.00	Ra 3.2
7	ø160	f6	0.025	Ra 3.2
8	L160	js14	1.00	Ra 12.5
9	ø21	H14	0.52	Ra 6.3
10	M20-6H	H6	0.013	Ra 3.2
11	ø17.5	H14	0.43	Ra 12.5
12	L20	H14	0.52	Ra 12.5
13	M100x4-6H	H6	0.22	Ra 3.2
14	ø101.5	H14	0.87	Ra 12.5
15	Поверхня зуба	h11	-	Ra 3.2
16, 17	Фаска 8x45°	h14	0.36	Ra 3.2
18	R30	h14	0.52	Ra 1.6
19, 20	R10	h17	1,5	Ra 12.5
21, 27	Фаска 3x45°	h14	0.3	Ra 12.5
22	R8	h14	0.36	Ra 12.5
23	ø142	h13	0.63	Ra 3.2
24	L22	c11	0.13	Ra 3.2
25	Фаска 0.8x45°	k13	0.14	Ra 3.2
26	Рінстр.	-	-	Ra 3.2
28	Конус L6x75°	H14	0.3	Ra 12.5
29	Фаска 1.85x45°	H14	0.25	Ra 12.5
30	Конус L20x60°	H14	0.52	Ra 12.5
31, 32	Фаска 3x45°	H14	0.36	Ra 12.5

Аналізуючи поверхні деталі «Вал-шестерня», можна виконати наступну класифікацію:

- 1) Виконавчі поверхні: циліндричні поверхні №№4, 6, що слугують посадковими поверхнями підшипників кочення.

- 2) Допоміжні поверхні, що визначають положення деталей, що приєднуються до валу – поверхня №3, що визначає осьове положення валу у корпусі екскаватора.
- 3) Спряжені поверхні: №15 – евольвента поверхня шестерні та №№23,24,25 – поверхні шліцьового з'єднання.
- 4) Вільними поверхнями є всі ті, що не повинні стикатися з іншими деталями – №№1, 5, 8, 12, 18, 22, 30.

Проаналізовані всі вимоги до точності та шорсткості поверхонь наведені у таблиці 3.4.

3.1.3 Технічний контроль робочого креслення

На вихідному кресленні формату А4х3 зображено головний вид вал-шестерні у масштабі 1:4, розріз А-А (1:1), що відображає профіль шліців, виносний вид Б (1:1) – різьбовий отвір з торця вал-шестерні. Також на головному виді деталі нанесений місцевий розріз для відображення внутрішнього ступінчастого різьбового отвору в торці валу.

Вісь валу відмічена базою В, що слугує для визначення допусків концентричності посадкових поверхонь під підшипники $\varnothing 180^{+0.040}_{+0.013}$, торцевого (0,03/ $\varnothing 240$) та радіального (0.04) биття шестерні. Також на кресленні зазначені допуски циліндричності посадкових поверхонь (0,015 мм).

Всі поверхні валу оброблювані. На більшості зазначена шорсткість від чорнових поверхонь (Ra12.5) до поверхонь що підлягають шліфуванню (Ra1.6) – посадкові поверхні під підшипники. Невказана шорсткість на кресленні – Ra12.5.

Більшість розмірів мають зазначений квалітет допуску від IT6 (виконавчі та спряжені поверхні) до IT14 (вільні поверхні). Невказані граничні відхилення розмірів, згідно технічних умов креслення: для отворів H14, для валів h14, для лінійних розмірів $\pm \frac{IT14}{2}$.

Технічні умови креслення:

1. Гр. III НВ 223-262 ДСТУ 9182:2022.
2. Робоча поверхня зуба h 0,8...1,0 ; 40...45HRC ; впадина зуба 35HRC.
3. *Розміри для довідок.

На кресленні розташована таблиця основних параметрів шестерні (дані наведено в таблиці 3.5).

Отже, можна зробити висновок, що креслення задовольняє всім вимогам ЄСКД, на кресленні наведена вся необхідна інформація в належному форматі.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Таблиця 3.5 – Параметри шестерні

Модуль	m	26
Число зубців	z	11
Нормальний вихідний контур	-	ДСТУ 13755:2015
Коефіцієнт зміщення	x	+0.5
Ступінь точності за ДСТУ 1643-81	-	9-B
Довжина спільної нормалі	W	$128.024_{-0.442}^{-0.232}$
Дільний діаметр	d	286

3.1.4 Аналіз технологічності деталі

Проведемо перевірку конструкції деталі на технологічність згідно з вимогами ЄСТПВ. Загальні принципи забезпечення технологічності виробів визначені стандартом ДСТУ 14.201:2014, а порядок вибору відповідних показників – стандартом ДСТУ 14.202:2014.

Стандарт передбачає два підходи до оцінки технологічності: якісний та кількісний. Якісна оцінка дає узагальнену характеристику конструкції виробу на основі виробничого досвіду спеціаліста. Кількісна ж оцінка базується на визначенні конкретних показників і їх числових значень, що характеризують ступінь відповідності конструкції вимогам технологічності.

Згідно вихідного креслення, матеріалу, маси деталі та типу виробництва попередньо приймаємо метод отримання заготовки – поковка, з подальшою багатоопераційною обробкою.

3.1.4.1 Якісна оцінка технологічності

Деталь має достатньо розвинуті базові поверхні, що забезпечують надійне встановлення та закріплення під час обробки. Базовими служать торцеві та циліндричні поверхні валу. Відношення довжини валу до діаметра ($L/D \approx 3,7$) вказує на необхідність додаткової опори, якою при обробці буде задній центр токарного верстата. Це дозволяє уникнути прогину і забезпечити точність обробки.

Матеріалом деталі обрано сталь 34XH1MA – леговану конструкційну сталь із підвищеною міцністю, прогартованістю та хорошими механічними властивостями. Такі характеристики дають змогу вести обробку на підвищених режимах різання із застосуванням сучасного інструменту, а після термообробки забезпечити необхідну зносостійкість зубчастої частини та міцну в'язку серцевину валу.

Конструкція деталі та вимоги до точності дозволяють виконати обробку без застосування спеціальних методів (ЕХО, ЕФО, лазерна обробка). У серійному виробництві всі операції можуть бути реалізовані на токарних, фрезерних, свердлильних або багатоопераційних верстатах нормальної точності. Це дає змогу дотриматись вимог до розмірної точності та шорсткості поверхонь.

Для кріплення деталі використовуються стандартні центри та патрони; окремі ступені та шліцьові елементи можуть потребувати допоміжних технологічних пристроїв для забезпечення правильного базування та жорсткого закріплення.

Отже, вал-шестерня має конструкцію, що відповідає вимогам технологічності, забезпечує можливість ефективного виготовлення у серійному виробництві та реалізацію заданих експлуатаційних характеристик.

3.1.4.2 Кількісний аналіз технологічності

Розрахуємо коефіцієнт використання металу за формулою 3.1:

$$K_{\text{вм}} = \frac{Q_d}{Q_z} \cdot 100\% \quad (3.1)$$

де Q_d – маса деталі, кг;

Q_z – маса заготовки, кг.

Отже, коефіцієнт використання металу:

$$K_{\text{вм}} = \frac{300}{498} \cdot 100\% = 60.24\%$$

Середня шорсткість деталі:

$$Ra_{\text{cp}} = \frac{\sum Ra \cdot n}{N} \quad (3.2)$$

де Ra – шорсткість обробленої поверхні;

n – кількість поверхонь;

N – загальна кількість поверхонь.

$$Ra_{\text{cp}} = \frac{12.5 \cdot 14 + 6.3 \cdot 3 + 3.2 \cdot 11 + 1.6 \cdot 4}{32} = 7.36$$

Середня точність деталі:

$$Ra_{\text{cp}} = \frac{\sum IT \cdot n}{N} \quad (3.3)$$

де ІТ – квалітет допуску на розмір;
 n – кількість поверхонь;
 N – загальна кількість поверхонь.

$$IT_{cp} = \frac{14 \cdot 20 + 6 \cdot 5 + 11 \cdot 2 + 13 \cdot 2 + 17 \cdot 2}{31} = 12.65$$

Отже, вимоги до деталі високі за шорсткістю оброблених поверхонь та середні за точністю розмірів.

За проведеним кількісним аналізом можна зробити висновок, що деталь є технологічною.

3.1.5 Вибір типу виробництва. Задачі проектування. Пропозиції щодо удосконалення

3.1.5.1 Вибір типу виробництва та методу роботи

Згідно таблиці 3.6, маси деталі $m = 295$ кг та річного обсягу випуску деталі «Вал-шестерня» $N = 1\ 000$ шт., визначаємо тип виробництва – середньосерійне.

Таблиця 3.6 – Типи виробництва

Тип виробництва	Річний обсяг випуску шт.			К _{з.о.} за ДСТУ 14.004:2014
	Дрібні деталі до 20 кг	Середні деталі від 20 до 300 кг	Великі деталі понад 300 кг	
Одиничне	до 100	до 10	від 1 до 5	> 40 (не нормується)
Дрібносерійне	від 100 до 400	від 10 до 300	від 6 до 200	від 20 до 40
Середньосерійне	від 400 до 4 000	від 300 до 3 000	від 200 до 500	від 10 до 20
Багатосерійне	від 4 000 до 40 000	від 3 000 до 4 000	від 500 до 1 000	від 1 до 10
Масове	понад 40 000	понад 4 000	понад 1 000	1

За ДСТУ 14.004:2014 тип виробництва характеризується коефіцієнтом закріплення операцій. Для середньосерійного виробництва оптимальним коефіцієнтом закріплення операцій приймається в межах від 10 до 20 закріплень.

Для визначеного типу виробництва доцільно застосувати потокову організацію виробництва, коли обладнання розташовують у послідовності виконання технологічних операцій. Виробнича ділянка формується за принципом групування конструктивно подібних деталей – у даному випадку це ділянка для обробки деталей типу валів та зубчастих елементів.

На ділянці використовують як універсальні верстати, так і спеціалізоване обладнання, включно з ЧПК-верстатами та багатоопераційними центрами, що дозволяє підвищити продуктивність і забезпечити необхідну точність обробки.

Переміщення вал-шестерень між робочими місцями здійснюється партіями після завершення кожної операції, використовуючи тару та кранове обладнання для транспортування.

Оптимальний розмір партії визначають за формулою:

$$n = \frac{N \cdot t}{F} \quad (3.4)$$

де N – річна програма випуску;

t – кількість днів запасу, приймаємо 10;

F – кількість робочих днів у році.

$$n = \frac{1000 \cdot 10}{245} = 40$$

Таким чином, раціональний розмір виробничої партії для вал-шестерень становить 40 деталей, що забезпечує стабільну роботу потокової лінії та відповідність програмі випуску.

3.1.5.2 Вибір діючого заводського чи типового технологічного процесу

Сформуємо маршрут поетапної обробки поверхонь деталі та занесемо у таблицю 3.7.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Таблиця 3.7 – Маршрут поетапної обробки поверхонь деталі

Шорсткість поверхні	✓	Ra 12.5	Ra 6.3	Ra 3.2	Ra 1.6
№ поверхні	Виготов- лення заготовки	1-й етап Чорнова обробка	2-й етап Напів- чистова обробка	3-й етап Чистова обробка	4-й етап Оздоб- лювальна обробка
1					
2					
3					
4, 6					
5					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16, 17					
18					
19, 20					
21, 27					
22					
23					
24					
25					
26					
28					
29					
30					
31, 32					

Для виготовлення вал-шестерні застосовується високопродуктивне універсальне та спеціалізоване обладнання, яке підбирається з урахуванням габаритів заготовки, можливості досягнення необхідної точності та

скорочення номенклатури використовуваних верстатів. Основні операції виконуються на токарних, фрезерних і багатоопераційних верстатах із ЧПК, що відповідає умовам серійного виробництва.

Для забезпечення стабільної якості та підвищення продуктивності використовуються спеціальні пристосування зі швидкодіючими затискачами для надійного базування та фіксації поковки вал-шестерні, що особливо важливо при обробці зубчастої частини та опорних поверхонь.

Обробка виконується стандартним ріжучим інструментом. Для точіння циліндричних поверхонь і підрізання торців застосовуються твердосплавні різці з марок ВК6 та ВК8, рекомендовані для легованих сталей. Операції свердління, зенкерування та розгортання отворів виконуються інструментом зі швидкорізальної сталі Р6М5, що забезпечує необхідну точність і чистоту поверхонь.

3.2 Проектування технологічного процесу обробки деталі

3.2.1 Вибір, техніко-економічне обґрунтування та проектування заготовок

Методи отримання заготовок поділяються на лиття, обробку металів тиском, зварювання та комбіновані способи. Лиття передбачає заповнення форми розплавленим металом і використовується для деталей складної конфігурації. При литті у піщані форми можна отримати великі заготовки з мінімальними витратами, але з низькою точністю і грубою поверхнею. Лиття у металеві форми, так звані кокілі, забезпечує кращу точність і використовується у серійному виробництві. Лиття під тиском дозволяє одержати заготовки з високою точністю та чистотою поверхні, особливо для невеликих сталевих і кольорових деталей.

Обробка металів тиском охоплює прокатку, пресування, волочіння, кування і штампування. Прокатка та пресування підходять для заготовок із простим поперечним профілем і каліброваних стрижнів. Вільне кування застосовується для великих і відповідальних деталей, де важливі міцність та волокниста структура металу. Штампування дає можливість отримати заготовки, максимально наближені за формою до готових деталей, з високою точністю та мінімальними припусками на механічну обробку, що особливо ефективно у серійному та масовому виробництві.

Зварні заготовки виготовляються із окремих елементів і використовуються там, де лиття або ковка є економічно недоцільними чи неможливими. Комбіновані методи поєднують лиття, ковку та механічну обробку, що дозволяє оптимізувати собівартість і забезпечити необхідні властивості матеріалу.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Вибір конкретного способу залежить від кількох чинників. Конструктивні особливості деталі визначають, наскільки форма заготовки може бути наближена до готового виробу і який метод дозволить її реалізувати. Розміри та маса деталі впливають на можливість використання кування або лиття. Вимоги до точності та шорсткості поверхонь визначають, чи варто застосовувати високоточне штампування або обмежитися грубішим литтям у піщані форми. Крім того, враховують властивості матеріалу, річну програму випуску, економічні показники та можливості обладнання підприємства.

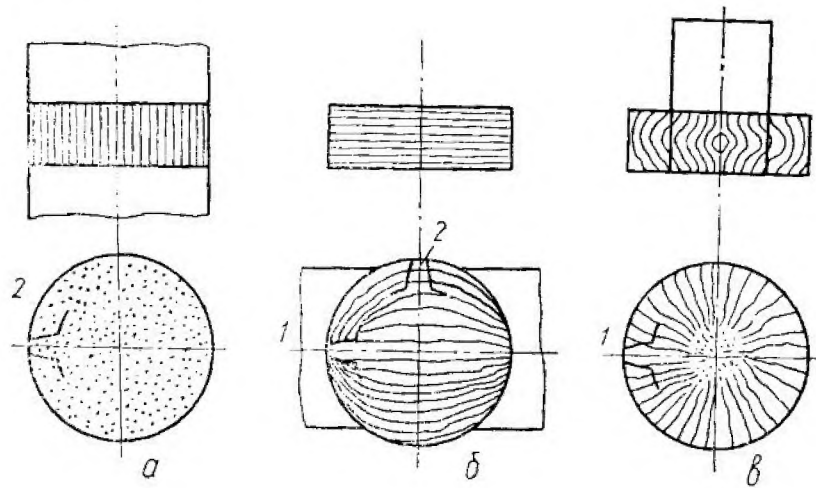


Рисунок 3.2 – Макроструктура зубчатих коліс, виготовлених:
а – з прокату; б – штамповкою з полоси; в – осадженням з прутка;
1 – сприятливе і 2 – несприятливе розташування волокон

Заготовки циліндричних деталей із виступами (зубів, уступів) найдоцільніше отримувати шляхом осадження із прутка, оскільки форма заготовки близька до остаточної, мінімізується обсяг видалення стружки та підвищуються механічні властивості за рахунок волокнистої структури.

Згідно наведеної вище інформації складемо матрицю оцінки основних методів одержання заготовок для виготовлення деталі вал-шестерня (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 – Матриця основних способів одержання заготовок

Спосіб одержання заготовки	Форма й розміри	Точність та якість поверхні	Технологічні властивості матеріалу	Річна програма	Можливості підприємства	Сума
1	2	3	4	5	6	7
Лиття у піщану форму	+	–	–	+	+	3
Лиття під тиском	+	+	–	+	–	3
Прокатка/пресування	+	+	+	+	+	4
Волочіння	–	+	+	–	+	3
Вільне кування	+	–	+	–	+	3
Поковка штампована	+	+	+	+	–	4
Об'ємне штампування	+	+	+	+	+	5
Комбінований (зварний)	+	–	–	+	+	3

За сумою «+» лідирують об'ємне штампування, прокатка/пресування та штампована поковка. Остаточню приймаємо метод вільного кування.

3.2.2 Проектування заготовок

Проведемо проектування заготовки з легованої сталі, виготовленої куванням на молотах згідно ДСТУ 9182:2022 [7].

Дані для проектування заготовки заносимо в таблицю 3.9. Основні припуски і граничні відхилення на діаметри уступів і виступів деталей призначаємо згідно ДСТУ 9182:2022 [7, табл.2] в залежності від загальної довжини деталі L і діаметра D.

Таблиця 3.9 – Дані для проектування заготовки

№	Розмір деталі, мм	Основний припуск, мм	Граничні відхилення, мм	Додатковий припуск, мм	Розмір заготовки, мм
1	ø346	17	±5	-	ø363
2	ø180	14	±4	9	ø203
3	L=1255	43	±13		L=1298
4	L=215	26	±8		L=250

За наведеною формулою (3.5) розраховуємо припуск на загальну довжину деталі.

$$2,5\left(\delta \pm \frac{\Delta}{2}\right) \quad (3.5)$$

де $\left(\delta \pm \frac{\Delta}{2}\right)$ – основний припуск та граничні відхилення на найбільший розмір перерізу.

$$2,5(17 \pm 5) = 42.5 \pm 12.5 \text{ мм}$$

Основний припуск для інших розмірів розраховуємо аналогічно. Знаходимо припуск на довжину проміжних виступів:

$$1,5\left(\delta \pm \frac{\Delta}{2}\right) \quad (3.6)$$

$$1,5(17 \pm 5) = 25.5 \pm 7.5 \text{ мм}$$

Припуски на всі інші розміри розраховуємо згідно правила розмірних ланцюгів. Ескіз заготовки з основними припусками зображений на рисунку 3.3.

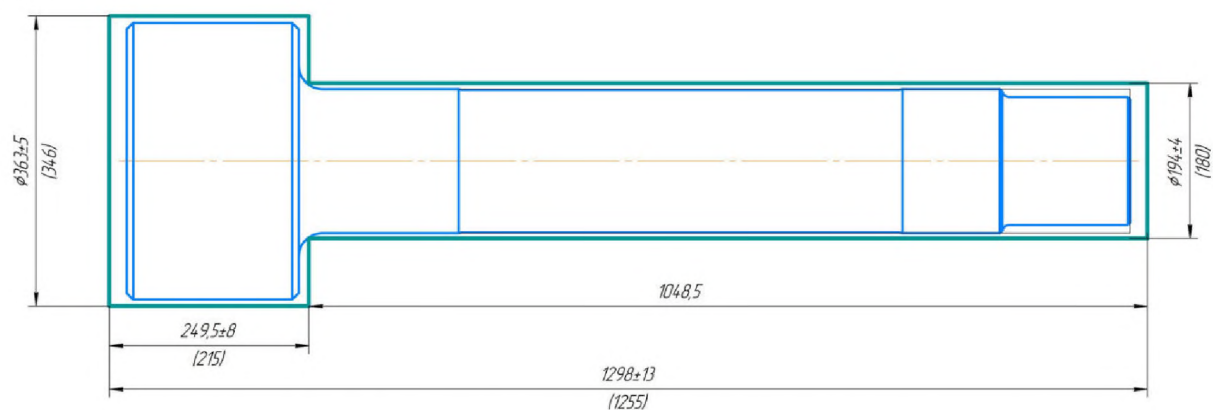


Рисунок 3.3 – Ескіз деталі з основними припусками

Додатковий припуск S призначаємо згідно стандарту [7, табл.3] на діаметри всіх перетинів, окрім основного, в залежності від різниці діаметрів найбільшого і перерізів деталі, що розглядаються.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Розрахуємо площу повздовжнього перерізу ступені з найбільшим діаметром за формулою 3.7:

$$F_{\max} = D_{\max} \cdot Li_{\max} \quad (3.7)$$

де $D_{\max}$ – найбільший діаметр валу,

$Li_{\max}$ – довжина ступені валу з найбільшим діаметром.

$$F_{\max} = 363 \cdot 250 = 90\,750 \text{ мм}^2$$

Повздовжні перерізи інших ступеней валу розраховуються за формулою 3.8:

$$F = D_i \cdot l_i \quad (3.8)$$

де l_i – довжина і-тої ступіні вала,

D_i – діаметр і-тої ступіні вала.

$$F = 225 \cdot 1\,049 = 2\,475 \text{ мм}^2$$

Переріз $F_2 = 2\,475 \text{ мм}^2$ менший за переріз ступіні з максимальним діаметром $F_{\max} = 90\,750 \text{ мм}^2$. Отже за основний переріз приймаємо переріз $\phi 363 \pm 5 \text{ мм}$. На рисунку 3.4 зображений ескіз з основними та додатковими припусками.

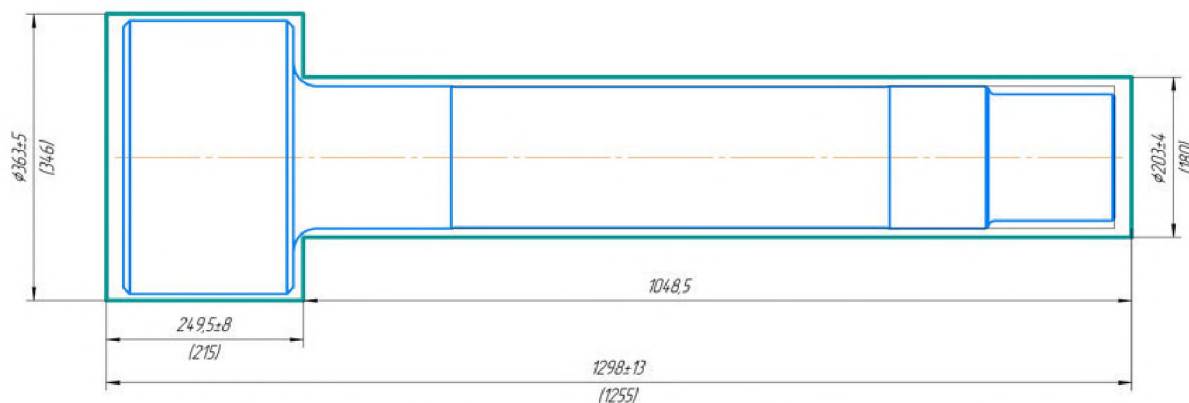


Рисунок 3.4 – Ескіз деталі з основними та додатковими припусками

Проведемо розрахунок перевірки виконання фланця.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Фланець виконується, якщо його довжина L більша довжини його виступу h взятої з коефіцієнтом 1,2, але не менше $0,2D$:

$$0.2D_{\text{фл}} \leq l_{\text{фл}} > 1.2h \quad (3.9)$$

$$h = \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{363 - 203}{2} = 80 \text{ мм}$$

$$0,2 \cdot 363 = 72.6 \leq 250 > 1.2 \cdot 80 = 96$$

Умова виконана.

Остаточні розміри поковки з назначеними основними та додатковими припусками після перевірки на виконуваність уступів, фланців і виїмок приведені на рисунку 3.5.

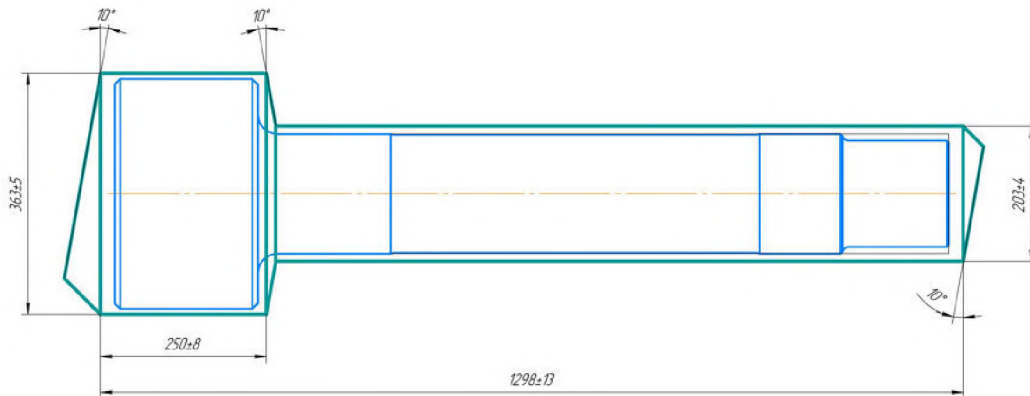


Рисунок 3.5 – Ескіз заготовки «Вал-шестерня»

3.2.3. Вибір і обґрунтування баз

Технологічними базами називають поверхні деталі, що використовуються для її встановлення на верстат під час механічної обробки. Для деталі «Вал-шестерня» такими базами служать зовнішні циліндричні поверхні та торцеві площини. Щоб досягти максимальної точності виготовлення, необхідно дотримуватися двох основних принципів. Перший — це принцип суміщення баз, який передбачає, що поверхні, визначені як конструкторські бази, мають використовуватися і як технологічні, і як вимірювальні. Другий — принцип єдності баз, згідно з яким у процесі обробки деталі слід застосовувати не більше двох комплектів базових поверхонь.

Механічна обробка деталі починається з підготовки технологічних баз — чорнове підрізання торців, центрування та «обдирне» точіння циліндричних поверхонь. Схеми базування деталі на всіх операціях механічної обробки наведені на рисунках 3.6 – 3.14.

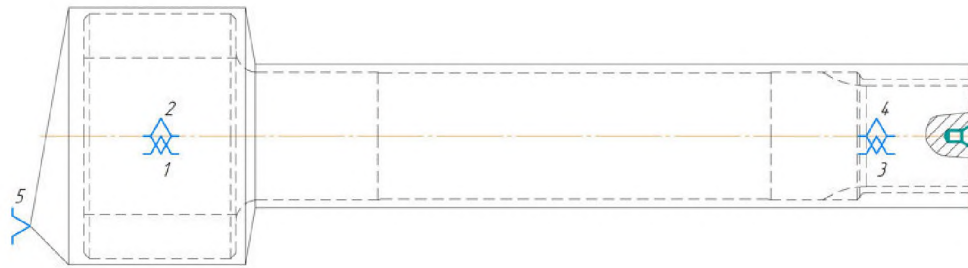


Рисунок 3.6 – Теоретичне базування операції 030

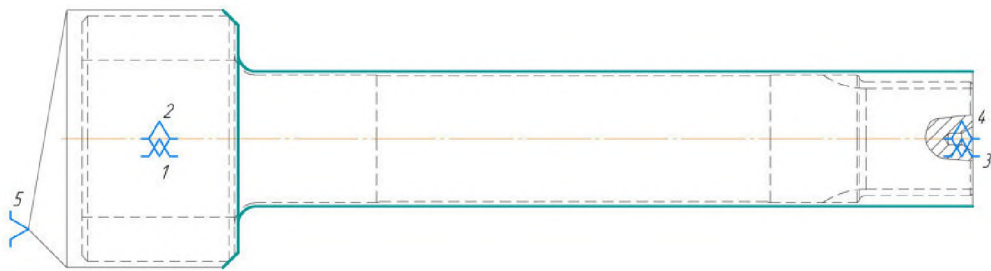


Рисунок 3.7 – Теоретичне базування операції 035



Рисунок 3.8 – Теоретичне базування операції 040



Рисунок 3.9 – Теоретичне базування операції 045



Рисунок 3.10 – Теоретичне базування операції 050



Рисунок 3.11 – Теоретичне базування операції 055

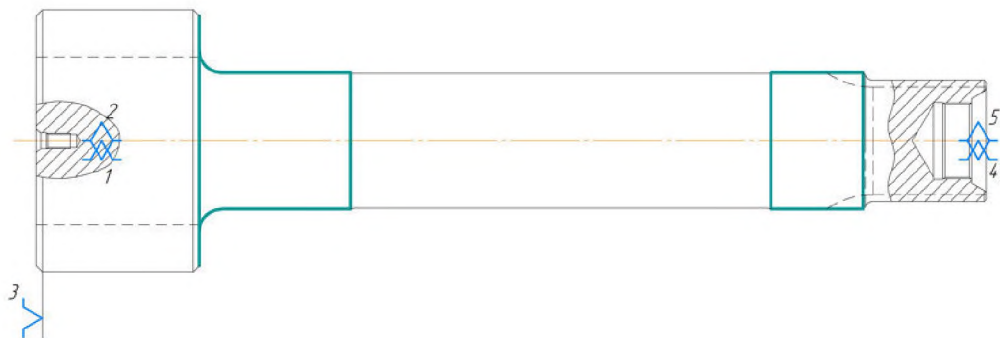


Рисунок 3.12 – Теоретичне базування операції 060

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

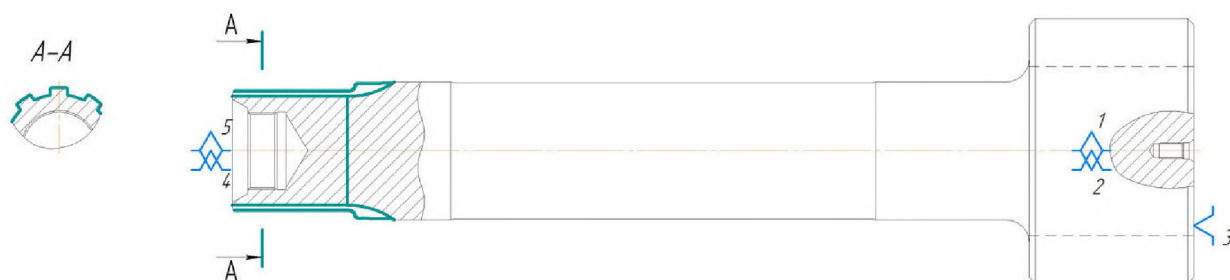


Рисунок 3.13 – Теоретичне базування операції 065

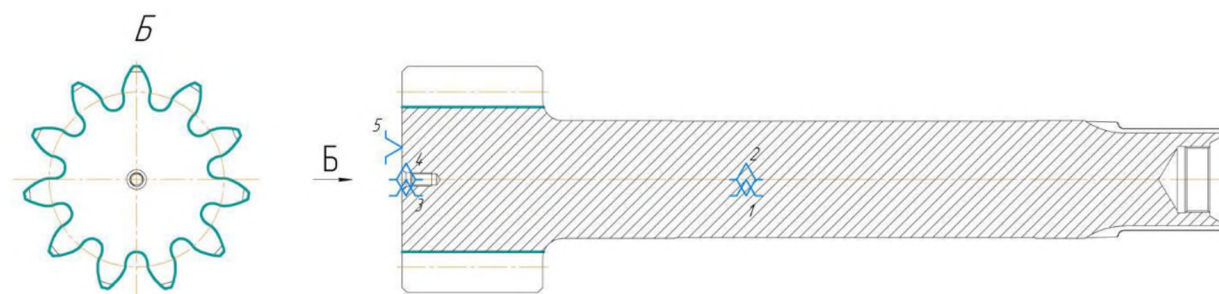


Рисунок 3.14 – Теоретичне базування операції 070

3.2.4 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

Розробимо послідовність обробки основних поверхонь деталі з визначенням кількості необхідних послідовних переходів для досягненої визначеної якості поверхні. Визначені дані занесемо у таблицю 3.10. Нумерація поверхонь згідно рисунка 3.1.

Таблиця 3.10 – Послідовність обробки поверхонь

№ з/п поверхні	Найменування переходу	Шорсткість Ra, мкм	Квалітет	Допуск IT, мкм	Міжопераційний розмір з допусками
1	2	3	4	5	6
1	Заготовка	-	-	-	L250
	Підрізання торця чорнове	Ra 12.5	js14	1.15	L222±0.575
	Підрізання торця напівчистове	Ra 6.3	js14	1.15	L216±0.575

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6
2	Заготовка	-	-	-	ø352.8
	Точіння чорнове	Ra 12.5	h14	1.4	ø349.8 _{-1.4}
	Точіння напівчистове	Ra 6.3	h11	0.36	ø340.123 _{-0.36}
3	Заготовка	-	-	-	L250
	Підрізання торця чорнове	Ra 12.5	js14	1.15	L222±0.575
	Підрізання торця напівчистове	Ra 6.3	js14	1.15	L218±0.575
	Підрізання торця чистове	Ra 3.2	js14	1.15	L216±0.575
	Попереднє шліфування	Ra 1.6	js14	1.15	L215±0.575
4, 6	Заготовка	-	-	-	ø203
	Точіння чорнове	Ra 12.5	h14	1.15	ø190 _{-1.15}
	Точіння напівчистове	Ra 6.3	m10	0.19	ø185 ^{+0.202} _{+0.017}
	Точіння чистове	Ra 3.2	m8	0.07	ø182 ^{+0.089} _{+0.017}
	Попереднє шліфування	Ra 1.6	m6	0.025	ø180 ^{+0.040} _{+0.015}
5	Заготовка	-	-	-	ø203
	Точіння чорнове	Ra 12.5	h14	1.15	ø190 _{-1.15}
	Точіння напівчистове	Ra 6.3	h14	1.00	ø182 ₋₁
	Точіння чистове	Ra 3.2	h14	1.00	ø178 ₋₁
7	Заготовка	-	-	-	ø203
	Точіння чорнове	Ra 12.5	h14	1.15	ø190 _{-1.15}
	Точіння напівчистове	Ra 6.3	f10	0.16	ø164 ^{-0.043} _{-0.203}
	Точіння чистове	Ra 3.2	f6	0.025	ø160 ^{-0.043} _{-0.068}
8	Підрізання торця чорнове	Ra 12.5	js14	1.00	L160±0.5

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6
9	Свердління отвору	Ra 12.5	H14	0.52	$\varnothing 20_{-0.52}$
	Зенкерування отвору	Ra 6.3	H14	0.52	$\varnothing 21_{-0.52}$
10	Нарізання різьби	Ra 3.2	H6	0.013	-
11	Свердління отвору	Ra 12.5	H14	0.43	$\varnothing 17.5_{-0.43}$
12	Розточування торця	Ra 12.5	js14	0.52	$L20 \pm 0.26$
13	Точіння різьби	Ra 3.2	H6	0.22	-
14	Розточування канавки	Ra 12.5	H14	0.87	$\varnothing 101.5^{+0.87}$

3.2.5 Розробка технологічної операції

Визначимо режим різання операцій згідно рекомендацій каталогів виробника ріжучого інструменту [9-12] та технічних характеристик верстатів. Тип матеріалу заготовки було визначено у розділі 3.1.1. Дані для кожної операції зведемо у таблиці 3.13. Ескізи операцій наведені у альбомі креслень.

Проведемо розрахунок режимів різання для однієї з операцій – №065 Фрезерування шліцьових пазів, згідно довідника технолога машинобудівника [13, с.406].

Обробка пазів ведеться дисковою фрезою (вибір моделі наведений у розділі 4.1.2) на вертикально фрезерному верстаті с ЧПК HAAS VF 9/50.

Для виконання операції дисковою фрезою необхідно визначити стратегію переходів. Попередньо розділимо паз на 5 проходів.

Визначаємо мінімальну допустиму ширину дискової фрези.

Поділимо дугу R71 довжиною $17^{\circ}4'54''$ на три рівні хорди (Рисунок 4.X). Визначимо довжину хорди $l = 7,053$ мм.

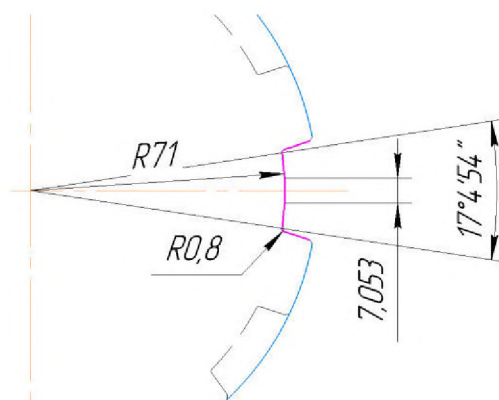


Рисунок 3.15 – Визначення мінімальної ширини фрези

Довжина ріжучої кромки дискової фрези повинна забезпечувати виконання визначеної хорди, отже мінімальна ширина дискової фрези:

$$a_p = l + 2R = 7.035 + 2 \cdot 0.8 = 8.635 \text{ мм} \quad (3.10)$$

де l – довжина хорди

R – радіус кромки, згідно креслення 0.8 мм

Попередньо приймаємо, згідно стандартного ряду, ширину дискової фрези 10 мм.

Прийmemo рекомендовану швидкість різання згідно каталогу виробника фрези $V = 170 \text{ м/хв}$ [9, с.293].

Для обробки сталі 34ХН1МА рекомендована подача на зуб становить $S_z = 0,2 - 0,32 \text{ мм/зуб}$.

Розрахуємо силу різання при першому проході фрези.

Головною складовою сили різання при фрезеруванні є окружна сила P_z :

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^u z}{D^q n^w} K_{mp}, H \quad (3.11)$$

де, C_p, x, y, u, q, w – коригуючі коефіцієнти.

Для обробки низьколегованої сталі твердосплавним ріжучим інструментом рекомендовано приймати наступні коефіцієнти [13, с.412]:

$C_p = 261, x = 0.9, y = 0.8, u = 1.1, q = 1.1, w = 0.1$

$t = 9 \text{ мм}$ – глибина різання, згідно креслення;

$B = 10 \text{ мм}$ – ширина різання (ширина фрези);

$z = 7$ – число ефективних зубів фрези;

$D = 200 \text{ мм}$ – діаметр фрези;

K_{mp} – коефіцієнт якості оброблюваного матеріалу, для сталі $\sigma_b > 600$ розраховується за формулою 3.12.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_b}{750} \right)^n \quad (3.12)$$

де, $\sigma_b = 900 \text{ МПа}$ – границя короткотривалої міцності оброблюваного матеріалу;

$n = 0.3$ – показник степені при фрезеруванні

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{mp} = \left(\frac{900}{750} \right)^{0.3} = 1.056$$

п – частота обертів шпинделя верстата розраховуються за формулою 3.13.

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (3.13)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 170}{\pi \cdot 200} = 270.7 \text{ об/хв}$$

Отже, розрахуємо окружну силу різання згідно формули 3.11:

$$P_z = \frac{10 \cdot 263 \cdot 9^{0.9} \cdot 0.2^{0.8} \cdot 10^{1.1} \cdot 7}{200^{1.1} \cdot 270.7^{0.1}} \cdot 1.056 = 820 \text{ Н}$$

Проведемо перевірку крутного моменту, необхідного для виконання операції за формулою 3.14.

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100} < M_{верст.}, \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.14)$$

де, $P_z = 820 \text{ Н}$ – окружна сила різання;

$D = 200 \text{ мм}$ – діаметр фрези;

$M_{верст.} = 480 \text{ Н} \cdot \text{м}$ при 271 об/хв – максимальний крутний момент шпинделя верстата.

$$M_{кр} = \frac{820 \cdot 200}{2 \cdot 100} = 820 > 480, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова не виконується. Отже, операцію необхідно розділити на два проходи.

Розрахуємо окружну силу різання при глибині фрезерування $t = 4.5 \text{ мм}$.

$$P_z = \frac{10 \cdot 263 \cdot 4.5^{0.9} \cdot 0.2^{0.8} \cdot 10^{1.1} \cdot 7}{200^{1.1} \cdot 270.7^{0.1}} \cdot 1.056 = 440 \text{ Н}$$

Проведемо повторну перевірку крутного моменту.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{кр} = \frac{440 \cdot 200}{2 \cdot 100} = 440 < 480, \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Умова виконується.

Потужність різання:

$$N_e = \frac{P_z V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (3.15)$$

$$N_e = \frac{480 \cdot 170}{1020 \cdot 60} = 1.33 \text{ кВт}$$

Потужність шпинделя при обертах 271 об/хв становить 13.3 кВт.
Отже, операція може бути виконана.

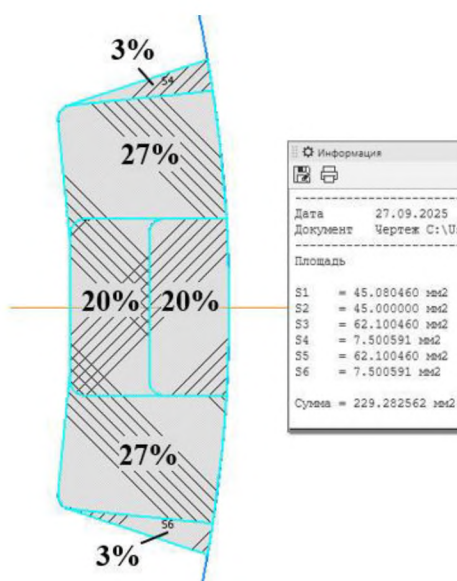


Рисунок 3.16 – Розподіл навантаження між проходами (B = 10 мм)

Перевіримо виконання наступних проходів операції, згідно розподілу навантаження фрезерування за площами поперечних перерізів проходів (рисунок 3.16).

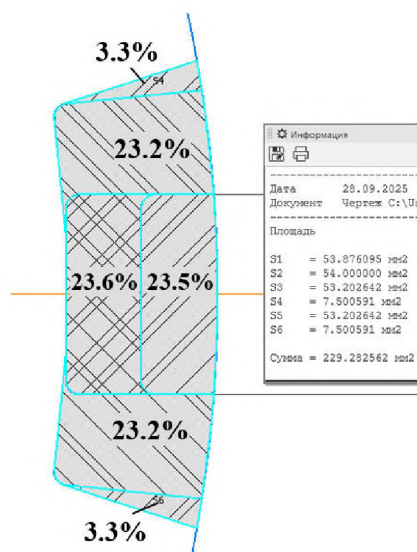
Необхідний крутний момент на шпинделі верстату, для виконання третього та п'ятого проходів, становить 607 Нм. Розподіл навантаження занесено в таблицю 3.11.

Таблиця 3.11 – Розподіл навантаження ($B = 10$ мм)

№ проходу	$S_{п.п.}, \text{мм}^2$	$S_{п.п.}, \%$	$M_{кр}, \text{Нм}$
1	2	3	4
S1	45.1	20%	440
S2	45.0	20%	440
S3	62.1	27%	607
S4	7.5	3%	73
S5	62.1	27%	607
S6	7.5	3%	73
Сума	229.3	100%	

Дана стратегія виконання шліцьового пазу не може бути виконана на верстаті HAAS VF 9/50 зі стандартним шпинделем.

Проведемо корегування операції – збільшимо ширину дискової фрези з 10 мм до 12 мм. Це призведе до рівномірного розподілу навантаження між проходами, що можна спостерігати на рисунку 3.16.

Рисунок 3.17 – Розподіл навантаження між проходами ($B = 12$ мм)

Перерахуємо крутні моменти для кожного проходу та занесемо у таблицю 3.12.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.12 – Розподіл навантаження ($B = 12 \text{ мм}$)

№ проходу	$S_{\text{п.п.}}, \text{мм}^2$	$S_{\text{п.п.}}, \%$	$M_{\text{кр}}, \text{Нм}$
1	2	3	4
S1	53.9	23.5%	536
S2	54.0	23.6%	537
S3	53.2	23.2%	529
S4	7.5	3.3%	75
S5	53.2	23.2%	529
S6	7.5	3.3%	75
Сума	229.3	100%	

Отже, операція виконується за умови встановлення на верстат шпинделя з підвищеною потужністю до 550 Нм.

Таблиця 3.13 – Режими різання

№ОП	Модель верстату	№ Ескізу	Інструмент	Режими			
				t	S	V	N
1	2	3	4	5	6	7	8
030	1A64	1	MCLNR4040P19	7	0.6	239	375
			Свердло центрове A16	8	0.1	27	536
035	1A64	2	MCLNR4040P19	6.5	0.6	217	190
040	1A64	3	MCLNR4040P19	6.5	0.6	209	190
			Свердло $\varnothing 17.5$	8.75	0.32	41	750
			Мітчик M20	1.35	2.5	47	750
			Свердло $\varnothing 20$	1.25	0.34	47	750
			Зенкер $\varnothing 21$	0.5	0.35	49	750
			Зенківка 75°	4.6	0.4	71	750
045	HAAS ST-55	4	SD103-25.99-75-25R7	13	0.34	82	1000
			A25S-PCLNR09	3	0.4	283	900
			A32S-PVLNL13	1.5	0.2	314	1000
			CNR 0032S22AHD	0.2	4	150	477

Продовження таблиці 3.13

1	2	3	4	5	6	7	8
050	HAAS ST-55	5	MCLNR3232P19	1	0.2	380	665
055	HAAS ST-55	6	MCLNR3232P19	1	0.2	380	356
060	ANTISHICNC M1332A	7	Шліфувальний круг	0.5	0.4	942	600
065	HAAS VF 9/50	8	335.18- 200.1012XL.50- 7N	4.5	1.40	170	271
070	HAAS VF 9/50	9	Модульна фреза m26	5	1.5	200	318

					КНУ.КМР.131.25.1-03.03.ТПВВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

4.1 Розробка верстатно-інструментального налагодження та розрахунково-технологічної карти для операції на верстатах з ЧПК

Для виконання фрезерних операцій виготовлення деталі «Вал-шестерня» було обрано вертикально фрезерний верстат HAAS VF 9/50 з високопродуктивним шпинделем. Верстат має збільшений конус шпинделя BT50, у порівнянні з молодшою моделлю VF 9/40, яка має конус BT40. Даний вибір обґрунтовано необхідністю встановлення великогабаритного ріжучого інструменту у процесі обробки деталі. Габаритні розміри робочої поверхні обрані оптимально для встановлення заготовки і необхідних пристосувань. Детальні технічні характеристики верстата наведені у таблиці 4.1.



Рисунок 4.1 – Загальний вид верстата HAAS VF 9/50

					КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПОМО								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Бутовський			Моделювання та програмування операції механічної обробки				Літ.	Арк.	Аркушів		
Перевір.		Нечасів									50	105	
Н. Контр.		Нечасів							гр. ПМ-24м				
Затверд.		Рязанцев											

Таблиця 4.1 – Характеристики верстата HAAS VF 9/50

Характеристика	Одиниці вимірювання	Значення
1	2	3
Робочий хід		
Вісь X	мм	2 134
Вісь Y	мм	1 016
Вісь Z	мм	762
Від торця шпинделя до столу (~мін. / ~ макс.)	мм	127 / 889
Високопродуктивний шпиндель*		
Максимальна потужність	кВт	44.7
Максимальна швидкість	об/хв	7 500
Макс. крутний момент	Нм	550
Система приводу	-	2-швидкісний редуктор
Конус	-	СТ або ВТ 50
Змащення підшипників	-	Повітряне / мастильне
Охолодження	-	Рідинне
Стіл		
Довжина	мм	2 134
Ширина	мм	914
Ширина Т-подібного паза	мм	15.90-16.00
Відстань від центру до Т-подібного паза	мм	125
Кількість стандартних Т-подібних пазів	шт	7
Максимальна вага на столі (рівномірно розподілена)	кг	1 814
Подачі		
Максимальна робоча	м/хв	12.7
Пришвиджена подача	м/хв	15.2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПОМО

Арк.

51

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Осьові приводи		
Максимальна тяга X	Н	15 124
Максимальна тяга Y	Н	18 238
Максимальна тяга Z	Н	24 910
Магазин інструментів		
Тип	-	SMTC
Місткість	шт	30+1
Максимальний діаметр інструмента (всі гнізда)	мм	102
Максимальний діаметр інструмента (суміжні порожні)	мм	254
Макс. довжина інструмента (від лінії вимірювання)	мм	406
Максимальна вага інструмента	кг	13.6
Час зміни інструментів (сер.)	с	4.2
Час зміни інструмента (серед.)	с	6.3
Загальні відомості		
Місткість охолоджувальної рідини	л	360
Вимоги до стисненого повітря		
Параметри	л/хв	113 при 6.9 бар
Вбудований повітряний шланг	"	3/8
З'єднувач (повітряний)	"	3/8
Мін. тиск повітря	бар	5.5
Електричні характеристики		
Вхідна напруга змінного струму (3 фази) – низька	В	220
Ампер повного завантаження (3 фази) — низький	А	70

Продовження таблиці 4.1

1	2	3
Габарити поставки		
Вага	кг	13 109
Піддон для внутрішнього ринку з опцією ЕС	см	544 x 305 x 356
Ящик для експорту з опцією ЕС	см	544 x 313 x 359

*Додаткова опція поставки, необхідна згідно розрахунку у розділі 3.2.5

Креслення переміщення робочої поверхні в плані (осі XY) наведено на рисунку 4.2, шпинделя (вісь Z) – на рисунку 4.3.

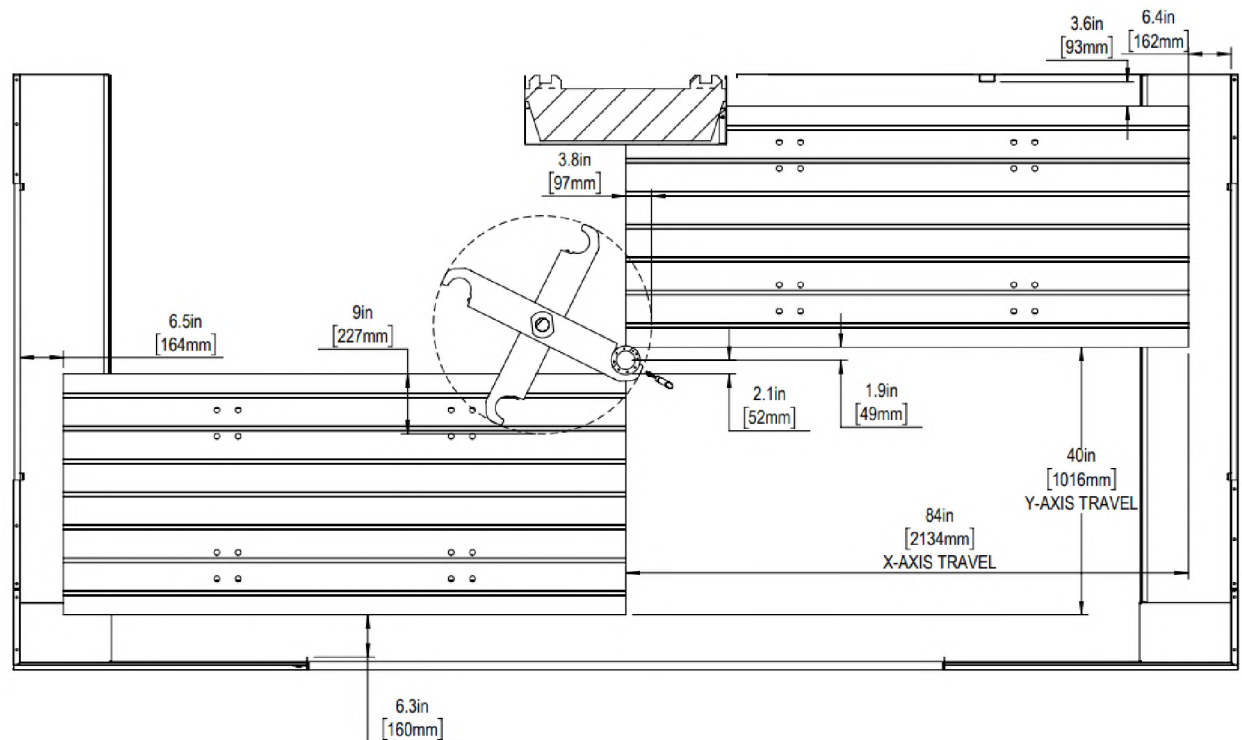


Рисунок 4.2 – Переміщення робочої поверхні в плані (осі XY)

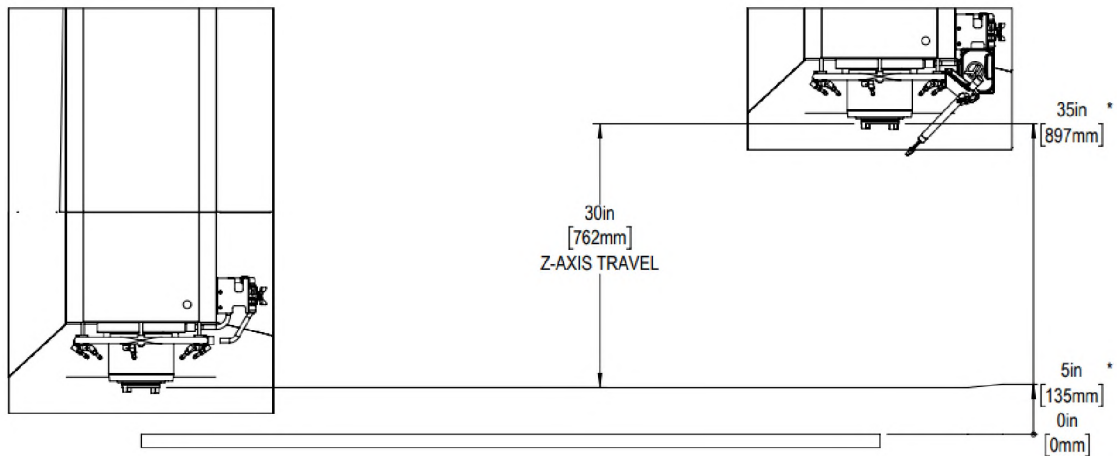


Рисунок 4.3 – Переміщення шпинделя (вісь Z)

Згідно з розрахунком, наведеним у розділі 3.2.5, на верстаті встановлено високопродуктивний шпиндель (загальний вид наведено на рисунку 4.5) з частотою обертів 7 500 об/хв та крутним моментом до 550 Нм. Шпиндель спроектований під оправки BT-50. Графік крутного моменту (Нм) та споживання шпинделя наведено на рисунку 4.4.

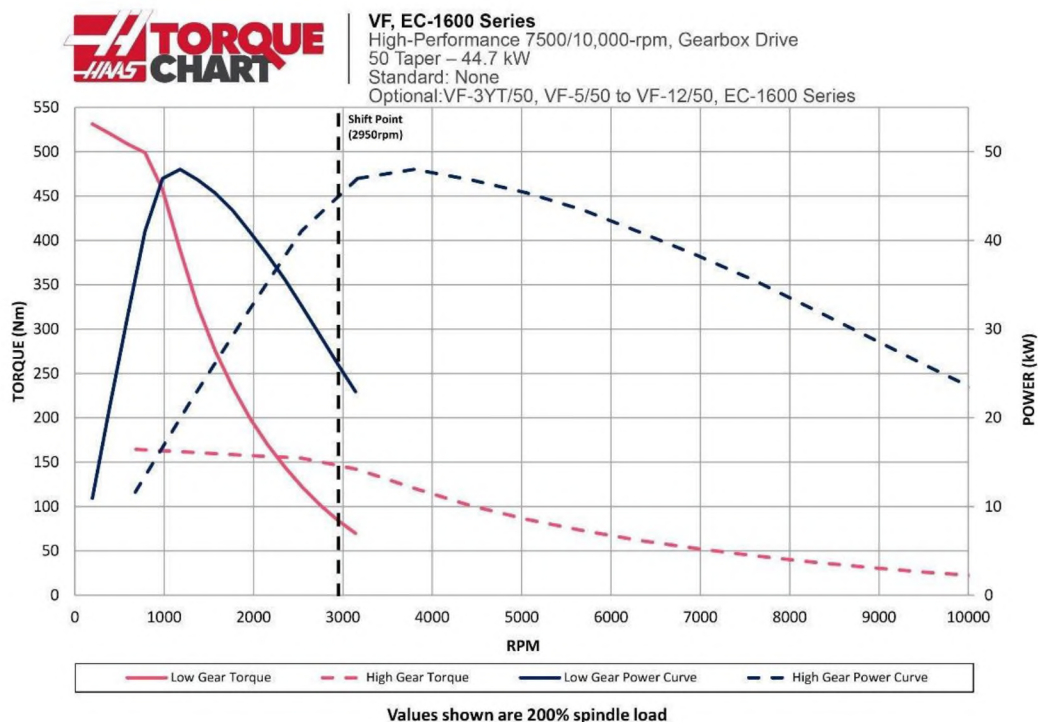


Рисунок 4.4 – Графік крутного моменту (Нм) та споживання потужності шпинделем (кВт)



Рисунок 4.5 – Загальний вигляд шпинделя

4.1.1 Ескіз заготовки та карта ескізу обробки

Виконання операції 065 (рисунок 4.7) – фрезерування шліцьових пазів вал-шестерні буде виконано на заготовці, отриманій після операції 050 (рисунок 4.6).

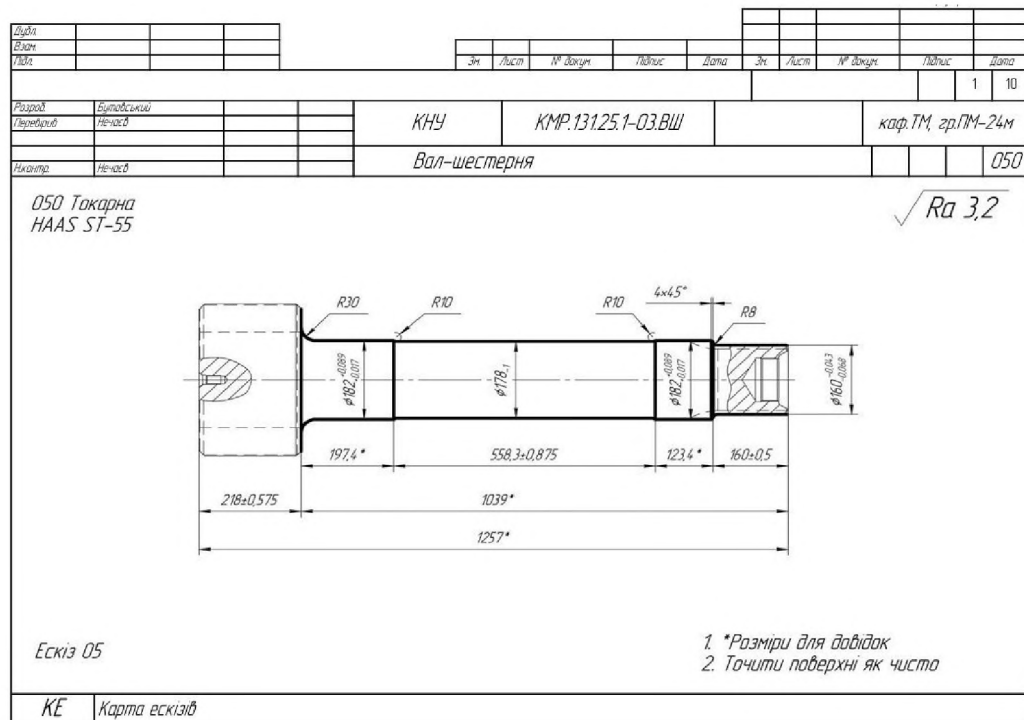


Рисунок 4.6 – Ескіз заготовки для операції 065

[illegible]

Рисунок 4.7 – Ескіз операції 065

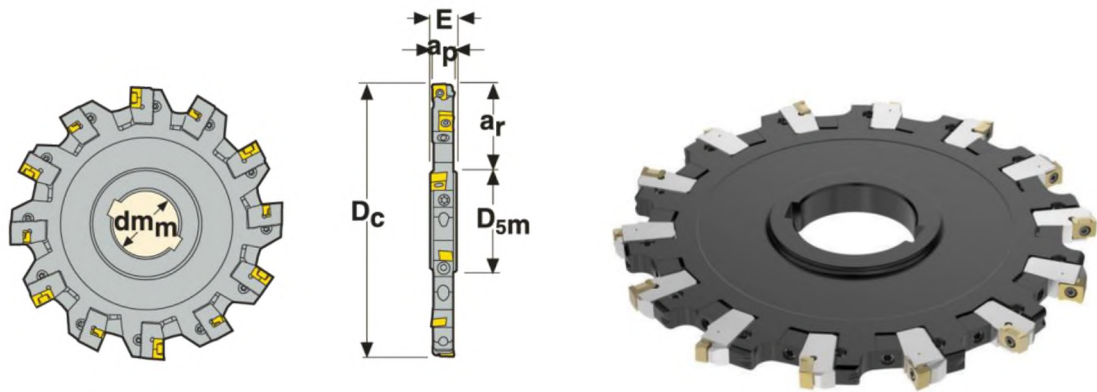
В процесі фрезерування буде задіяна система ЧПК верстата HAAS VF 9/50, що має власний постпроцесор. Після написання керуючої програми у програмному забезпеченні Autodesk FeatureCAM, у ПО буде інтегровано моделі верстату та необхідного для встановлення заготовки обладнання. В подальшому, буде проведено 3D симуляцію обробки на верстаті для виявлення та усунення можливих колізій.

4.1.2 Відомості про використаний інструмент

Повний процес фрезерування шліцьових пазів буде виконано за допомогою дискової фрези діаметром 200 мм та товщиною 12 мм (найоптимальніші параметри, згідно розрахунку у розділі 3.2.5) у шість проходів.

Оберемо модель фрези та ріжучих пластин, що задовольняють умови виконання операції згідно креслення (рисунок 4.7), за каталогом ріжучих інструментів Seco [9].

					КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПОВО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



Тип	a_p	a_r	a_{r1}	Обозначение	Размер в мм						z_c^*			Пластина
					D_c	M_{dm_m}	$I_1 E$	I_3	$I_c D_{5m}$					
B adj.	10-12	53,0	—	R335.18 -200.1012XL.40-7N	200	40	50	—	90	14	7	2,8	6700	LNK.06..
A adj.	10-12	61,0	—	335.18 -200.1012XL.50-7N	200	50	15	—	69	14	7	1,7	6700	LNK.06..
B adj.	10-12	78,0	—	R335.18 -250.1012XL.40-9N	250	40	50	—	90	18	9	4,3	6000	LNK.06..
A adj.	10-12	86,0	—	335.18 -250.1012XL.50-9N	250	50	15	—	69	18	9	2,9	6000	LNK.06..
A adj.	10-12	118,5	—	335.18 -315.1012XL.50-12N	315	50	15	—	69	24	12	4,3	5300	LNK.06..

Рисунок 4.8 – Параметри та загальний вид дискової фрези

Основні параметри для вибору фрези: діаметр фрези – 200 мм, ширина фрези – 12 мм, глибина фрезерування >9 мм. За наведеними параметрами обираємо регульовану дискову фрезу 335.18-200.1012XL.50-7N [9, с.265]. Рекомендований тип ріжучої пластин для обраної фрези – LNK.06...

Перейдемо до вибору ріжучої пластини. Основним критерієм є матеріал для обробки легированих сталей типу P4 та радіус ріжучої кромки 0.8 мм, згідно креслення деталі.

Згідно рекомендацій вибору матеріалу ріжучої пластини Seco, обираємо матеріал F40M (рисунок 4.9).

Обраний матеріал має PVD-покриття – це технологія фізичного осадження з парової фази (Physical Vapor Deposition), яка наносить тонкий, надміцний і стійкий до корозії та стирання шар металів (наприклад, титану, хрому) на поверхню пластини у вакуумній камері. Це покращує довговічність, захисні властивості та надає естетично привабливого вигляду виробу.

Згідно обраного матеріалу, типу та радіусу кромки, обираємо ріжучу пластини LNKT060508PPTN-M06 (рисунок 4.10) [9, с.520].

Дисковые фрезы

Выбор пластины – (R)335.18-08/-20

ГМС	f_z мм/зуб $a_e/D_c = 10\%$	Предпочт. выбор			
		LNK.05		LNK.06/08	
1	0,20-0,32	-M06	F40M	-M06	F40M
2	0,20-0,32	-M06	F40M	-M06	F40M
3	0,20-0,32	-M06	F40M	-M06	F40M
4	0,20-0,32	-M06	F40M	-M06	F40M
5	0,15-0,25	-M06	MP3000	-M06	MP3000
6	0,15-0,20	-M06	MP3000	-M06	MP3000

	F40M	Сплав с покрытием PVD для чистового — полу-чернового фрезерования. Основ. выбор для фрезер. с малыми подачами и/или низкими скор. резания. Отлично подходит для операций, когда имеется опасн. вибрации и использ. СОЖ. Рекоменд. для обработки суперсплавов.
---	------	--

Рисунок 4.9 – Вибір матеріалу ріжучої пластини

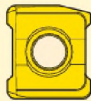
Пластины	Обозначение	r _c	Перед. угол	Сплавы																
				С покрытием												Без покрытия				
				MP1500	MP2500	MP3000	MH1000	MM4500	MK1500	MK2000	MK3000	MS2500	T25M	T350M	F15M	F25M	F40M	S60M	HX	H15
 	LNKT 060504PPN-E05	0,4	23°																	
	060508PPN-E05	0,8	23°																	
	060516PPN-E05	1,6	23°																	
	060531PPN-E05	3,1	23°																	
	060540PPR-E05*	4,0	23°																	
	060540PPL-E05*	4,0	23°																	
	LNKT 060504PPTN-M06	0,4	15°		■	■							■			■				
	060508PPTN-M06	0,8	15°		■	■			■				■			■				
	060516PPTN-M06	1,6	15°						■							■				
	060531PPTN-M06	3,1	15°													■				
	060540PPTR-M06	4,0	15°													■				
	060540PPTL-M06	4,0	15°													■				

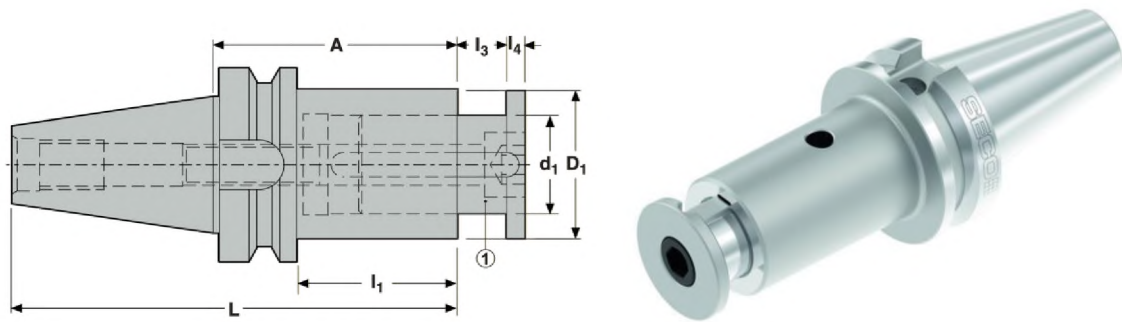
Рисунок 4.10 – Вибір ріжучої пластини

4.1.3 Допоміжний інструмент

Обираємо оправку для встановлення дискової фрези на верстат HAAS VF 9/50.

Основні критерії вибору оправки:

- Посадковий діаметр фрези – 50 мм
- Максимальна ширина маточини фрези >15 мм
- Конус оправки для встановлення у верстат – BT50



Конус	d ₁ мм	Обозначение	Размеры в мм						Балансир.	KG
			A	D ₁	L	l ₁	l ₃	l ₄		
BT40 A	22	E4041 5657 2270	70	35	135,4	43	0-12	4	2	1,30
	27	E4041 5657 2775	75	42	140,4	48	0-15	5	2	1,50
	32	E4041 5657 3290	90	48	155,4	63	0-24	6	2	2,00
BT50 A	27	E5766 5657 2785	85	42	186,8	47	0-15	5	2	4,10
	32	E5766 5657 32100	100	48	201,8	62	0-24	6	2	4,55
	40	E5766 5657 40120	120	58	221,8	82	0-30	7	2	5,50
	50	E5766 5657 50145	145	72	246,8	107	0-32	8	2	6,40
	60	E5766 5657 60180	180	90	281,8	142	0-40	8	2	11,00

Рисунок 4.11 – Параметри та загальний вид оправки

Отже, за визначеними критеріями обираємо оправку E5766 5657 50145 за каталогом Seco (рисунок 4.11) [14, с.125].

4.2 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора та отримання керуючих програм

Для розробки керуючої програми обробки шліцьових пазів вал-шестерні було виконані наступні етапи:

- розробка стратегії обробки пазу
- створення та імпорт моделі заготовки у FeatureCAM
- додавання в бібліотеку FeatureCAM ріжучого інструменту
- створення керуючої програми
- створення симуляційної моделі фрезерного верстата HAAS VF 9/50 у FeatureCAM
- імпорт моделей пристосувань та перевірка КП на колізії

4.2.1 Розробка стратегії обробки шліцьових пазів

Шліцьові пази деталі «Вал-шестерня» виконуються на вертикально фрезерному верстаті HAAS VF 9/50 дисковою фрезою 335.18-200.1012XL.50-7N. Для виконання фасонного пазу фрезерна операція 065 була розділена на 6 проходів для кожного пазу (рисунок 4.12):

- 065.01 – фрезерування прямого пазу 12x4.5мм – напівзаглиблення, згідно розрахунку навантаження режимів різання у розділі 3.2.5;
- 065.02 – фрезерування пазу 12x9 мм на повну глибину за кресленням;
- 065.03 – поворот заготовки на $5^{\circ}42'$ та проміжне фрезерування половини пазу;
- 065.04 – поворот заготовки на $12^{\circ}18'$ та фрезерування стінки пазу;
- 065.05 – поворот заготовки на $-23^{\circ}42'$ та проміжне фрезерування другої половини пазу;
- 065.06 – поворот заготовки на $-12^{\circ}18'$ та фрезерування стінки пазу;

Описані вище операції повторити 9 разів для кожного пазу.

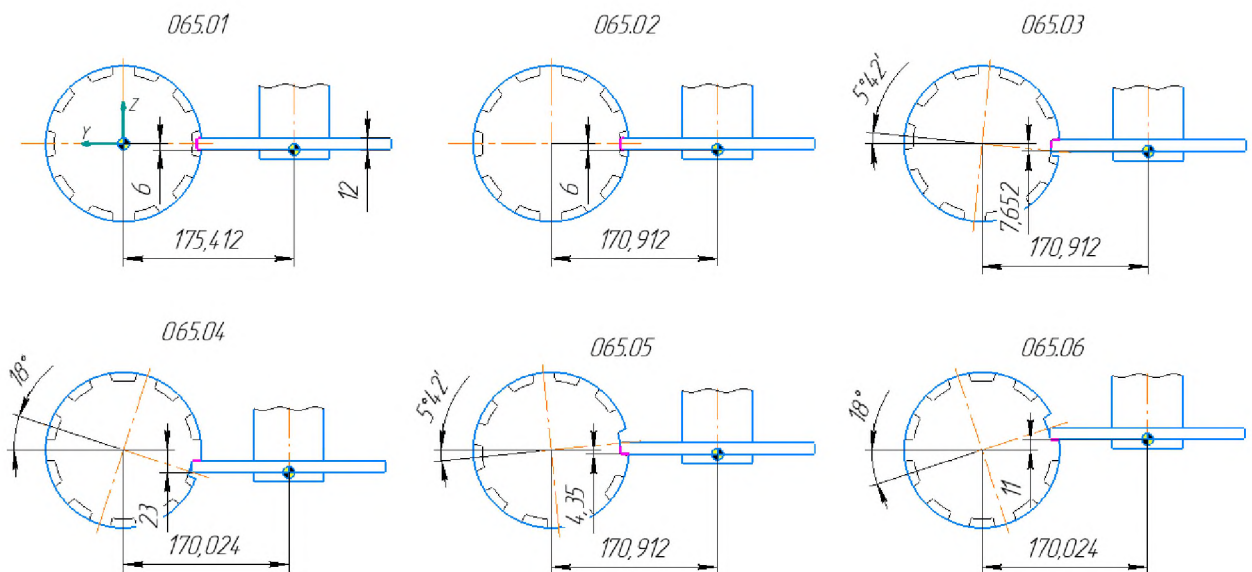


Рисунок 4.12 – Стратегія обробки шліцьового пазу

4.2.2 Створення та імпорт моделі заготовки у FeatureCAM

У програмному забезпеченні SolidWorks було змодельовано 3D модель заготовки (рисунок 4.13) для виконання операції 065 фрезерування шліцьових пазів, згідно ескізів попередніх операцій чистового точіння та шліфування вал-шестерні.

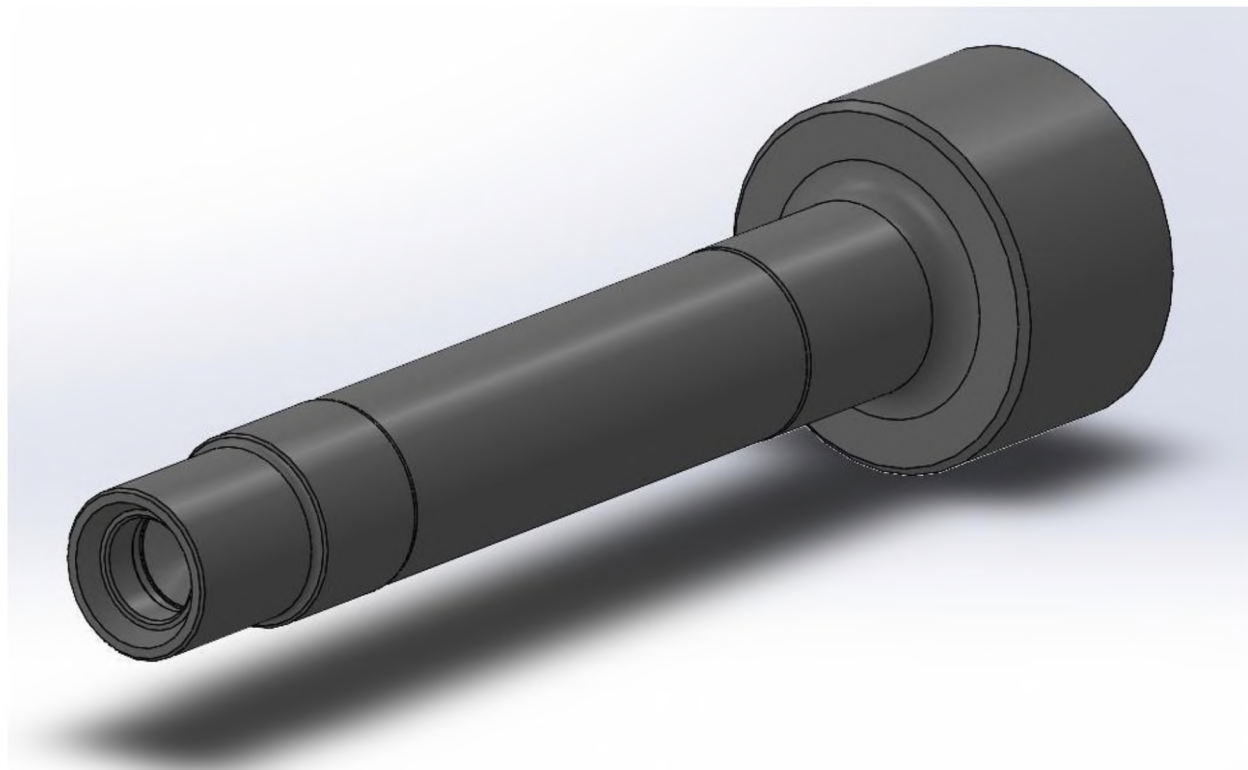


Рисунок 4.13 – Модель заготовки

Модель заготовки була збережена із розширенням Parasolid (.x_t) для подальшого імпорту у програмне забезпечення Autodesk FeatureCAM.

Autodesk FeatureCAM – це сучасне CAD/CAM-програмне забезпечення, створене для автоматизованої розробки керуючих програм для верстатів із ЧПК. Забезпечує оптимізацію виробничого процесу на всіх етапах – від проектування до формування ефективних програм для фрезерних, токарних, токарно-фрезерних та електроерозійних верстатів, що дозволяє підвищити продуктивність і якість виготовлення деталей.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

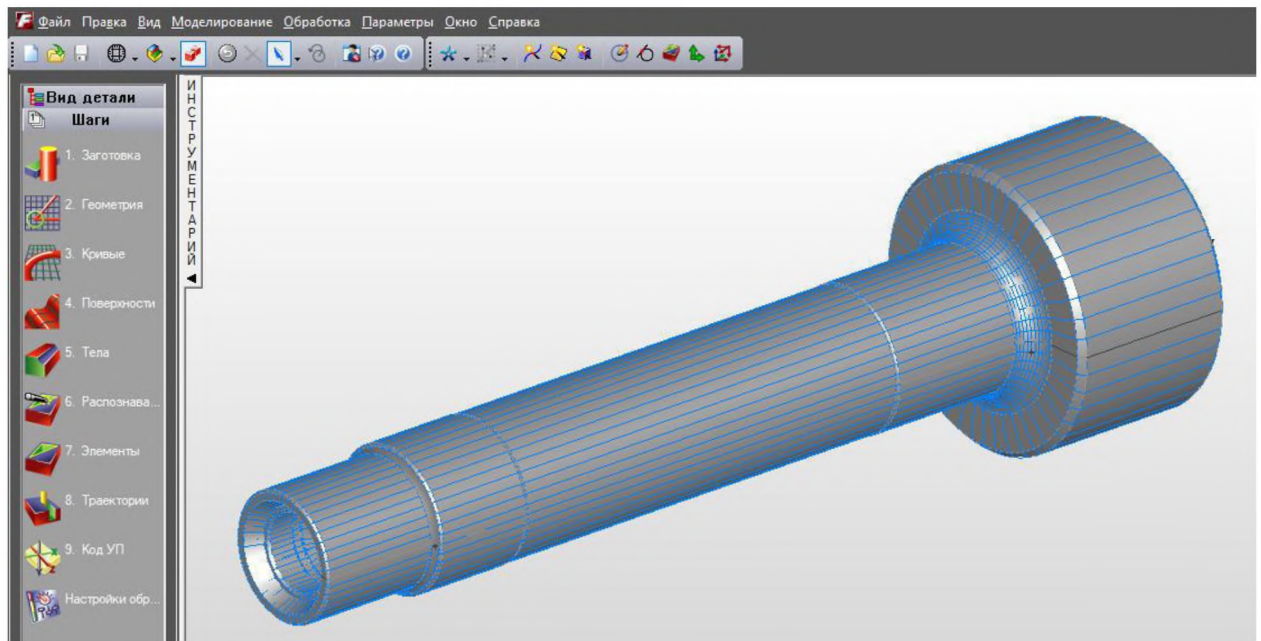


Рисунок 4.14 – Імпортована у FeatureCAM модель заготовки

4.2.3 Додавання в бібліотеку FeatureCAM ріжучого інструменту

У FeatureCAM за замовчуванням встановлена бібліотека стандартного ріжучого інструменту, проте виконання проектованої операції потребує створення власного. Функціонал програми обмежує задавання радіусу ріжучої кромки для дискових фрез, тому створення ріжучого інструменту потребує попередньої підготовки контуру фрези.

Накреслимо ескіз контуру фрези у ПЗ FeatureCAM за допомогою панелі інструментів «Геометрія» – рисунок 4.15. Основними вимогами до ескізу фрези є площина ескізу у системі координат ZX та початок контуру у точці початку координат, що і буде керуючою точкою майбутньої фрези.

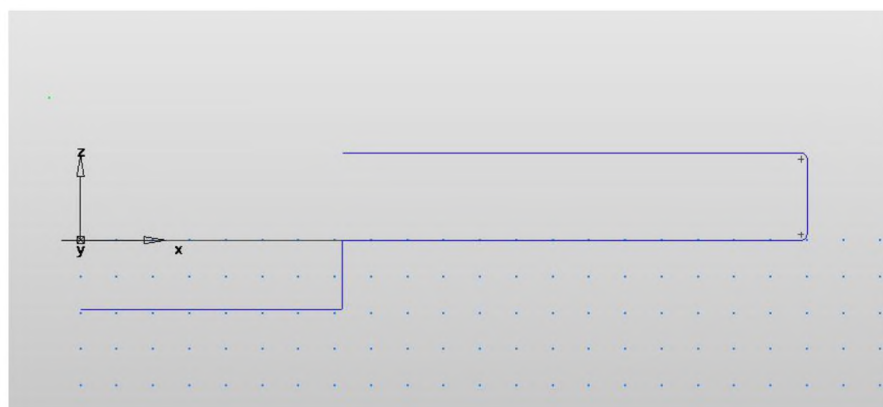


Рисунок 4.15 – Контур дискової фрези

Згідно параметрів дискової фрези та оправки, наведених на рисунку 4.17, створюємо та додаємо у бібліотеку ріжучого інструменту FeatureCAM дискову фрезу 200x12 R0.8 (рисунок 4.16). Контур ріжучої частини задаємо попередньо створеною кривою.

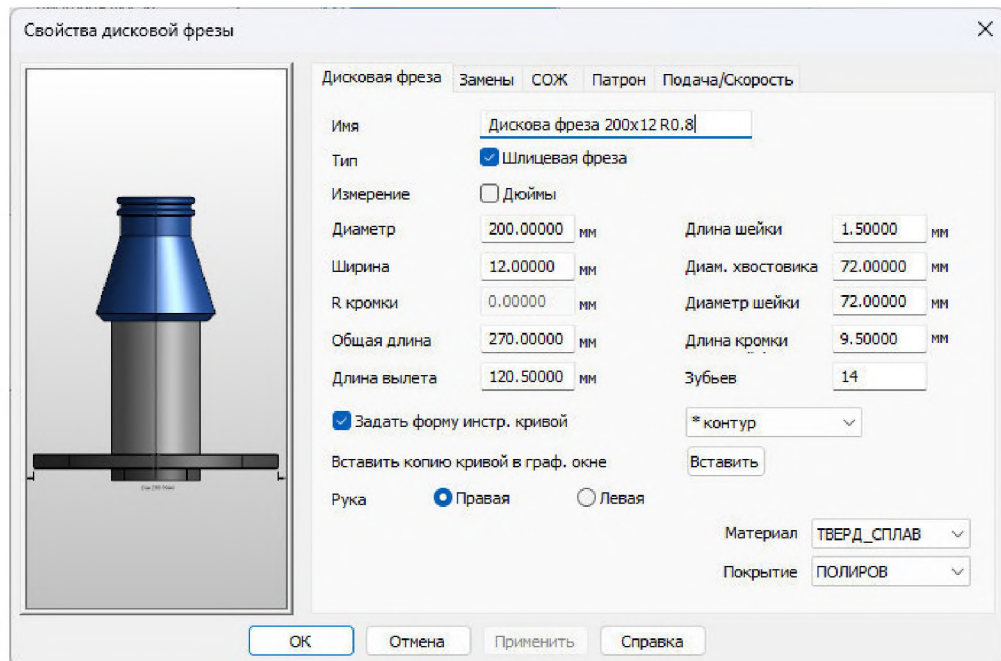


Рисунок 4.16 – Створення фрези у FeatureCAM

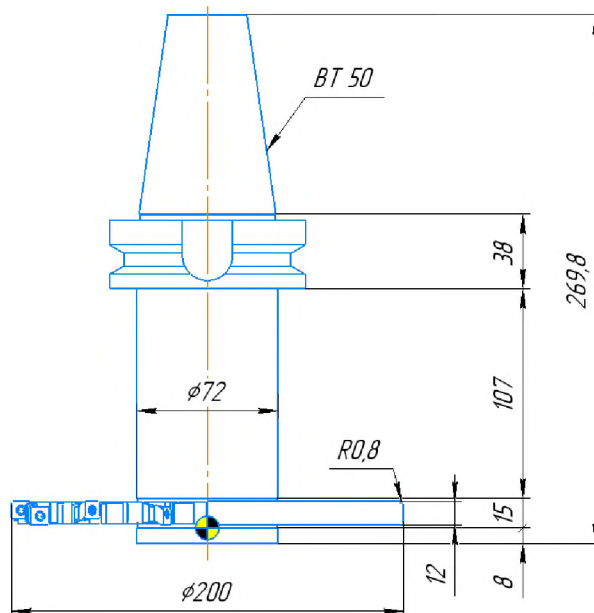


Рисунок 4.17 – Ескіз фрези та оправки

4.2.4 Створення керуючої програми

Створення керуючої програми обробки шліцьових пазів буде проводитись на постпроцесорі HAAS для 4-х осьового вертикального фрезерування. Основним елементом для створення КП виступає «Траєкторія», тому попередньо необхідно створити криві, що описують рух керуючої точки ріжучого інструменту. Керуюча точка дискової фрези зазначена на рисунку 4.17 символом .

Ескіз першого та другого проходу операції 065 наведений на рисунку 4.18. Переходи від точки «home» до точки 1 та 1-2 виконуються на пришвидженій подачі верстата. Поздовжнє фрезерування 2-3 та 4-5 виконується за розрахованими у розділі 3.2.5 режимами різання. Згідно графіку навантажень на ріжучий інструмент, під час заглиблення у заготовку між точками 3 та 4 інструмент сприймає значний стрибок навантажень до 25 кВт (рисунок 4.19).

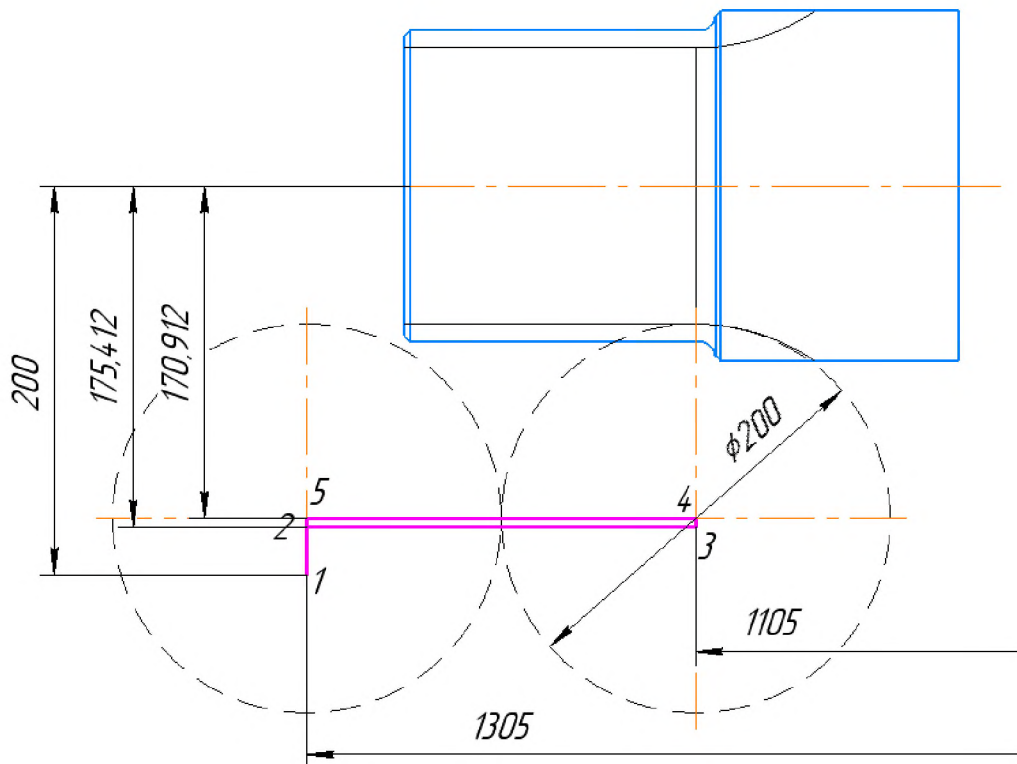


Рисунок 4.18 – Ескіз першого та другого проходів

					КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

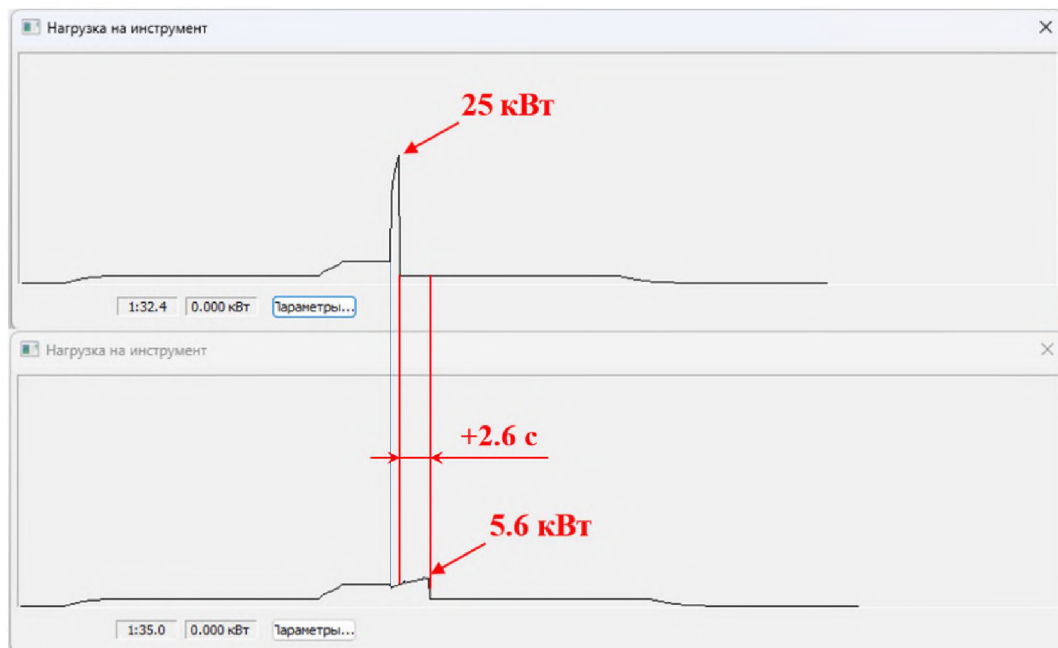


Рисунок 4.19 – Графіки навантаження на інструмент до та після коригування режимів різання

Для рівномірного навантаження на ріжучий інструмент скоригуємо режим різання під час заглиблення у заготовку – знизимо швидкість подачі фрези з 1.4 до 0.3 мм/об. В результаті коригувань, максимальне навантаження не перевищує 5.6 кВт, час проходів збільшився на 2.6 с. Вплив на загальний час обробки деталі – 26 с.

Траєкторія першого та другого проходів фрезерування шліцьових пазів наведена на рисунку 4.20.

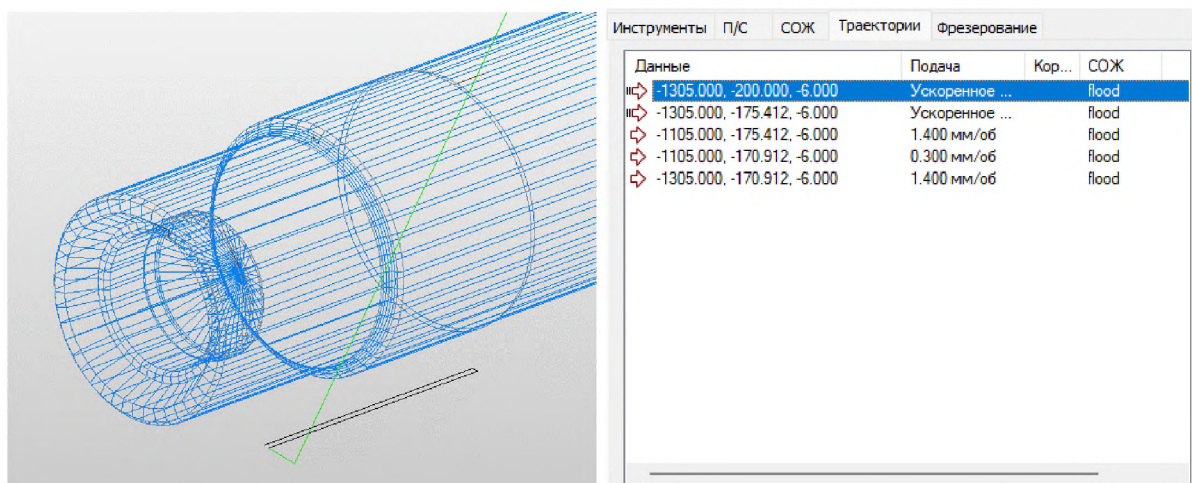


Рисунок 4.20 – Траєкторія першого та другого проходів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ескіз третього та п'ятого проходів (проміжні проходи) наведений на рисунку 4.21.

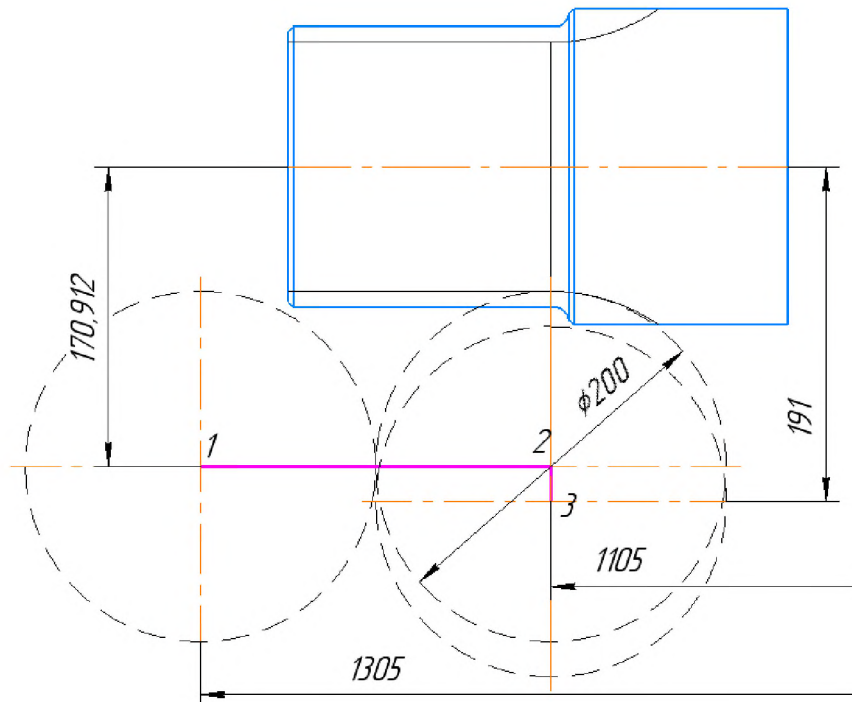


Рисунок 4.21 – Ескіз третього та п'ятого проходів

Для виконання наступних проходів (з третього по шостий) необхідне залучення 4-ї поворотної осі верстата навколо осі X (вісь заготовки). Для цього в налаштуваннях елементу «Траєкторія» у FeatureCAM необхідно задати кут положення ескізу відносно системи координат (рисунок 4.22). Важливо змінити радіус зміщення на 0.

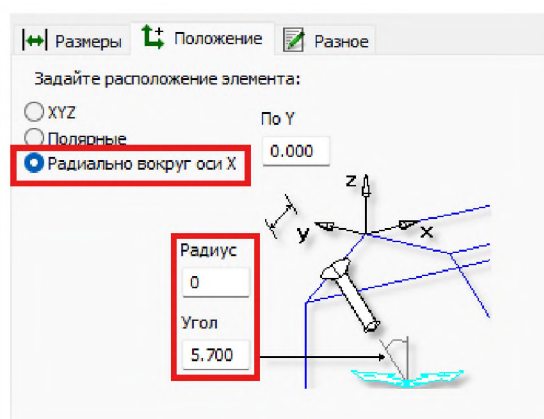


Рисунок 4.22 – Задавання повороту заготовки навколо осі X

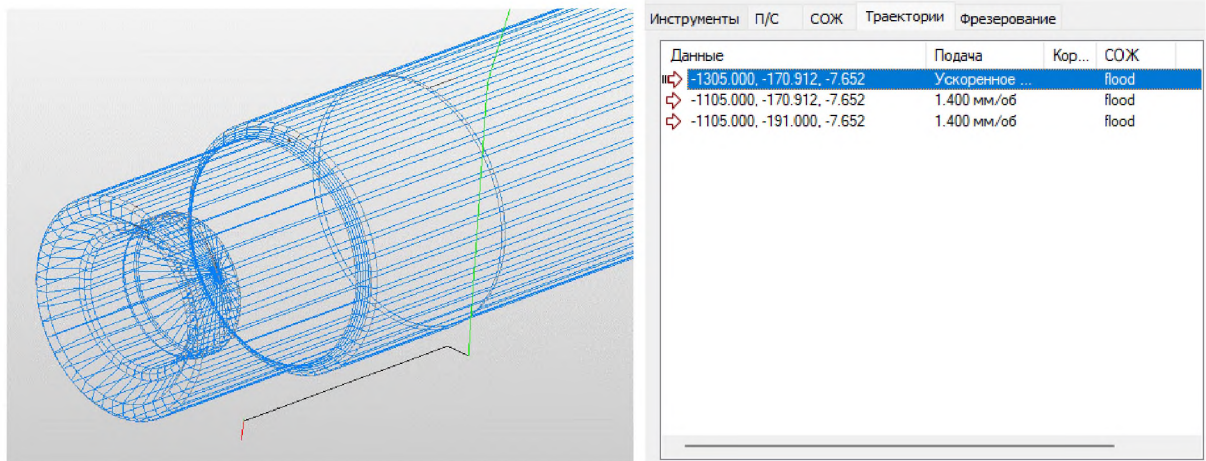


Рисунок 4.23 – Траектория третьего прохода

Траектория третьего прохода наведена на рисунку 4.23. За аналогією задаємо наступні проходи №4-6 відповідно до підготовлених раніше ескізів операцій. Після отримання керуючої програми для обробки одного пазу виконуємо круговий масив для 10 пазів. Результат обробки шліцевих пазів наведений на рисунку 4.24.

Загальний час обробки: 35 хв 16 с.

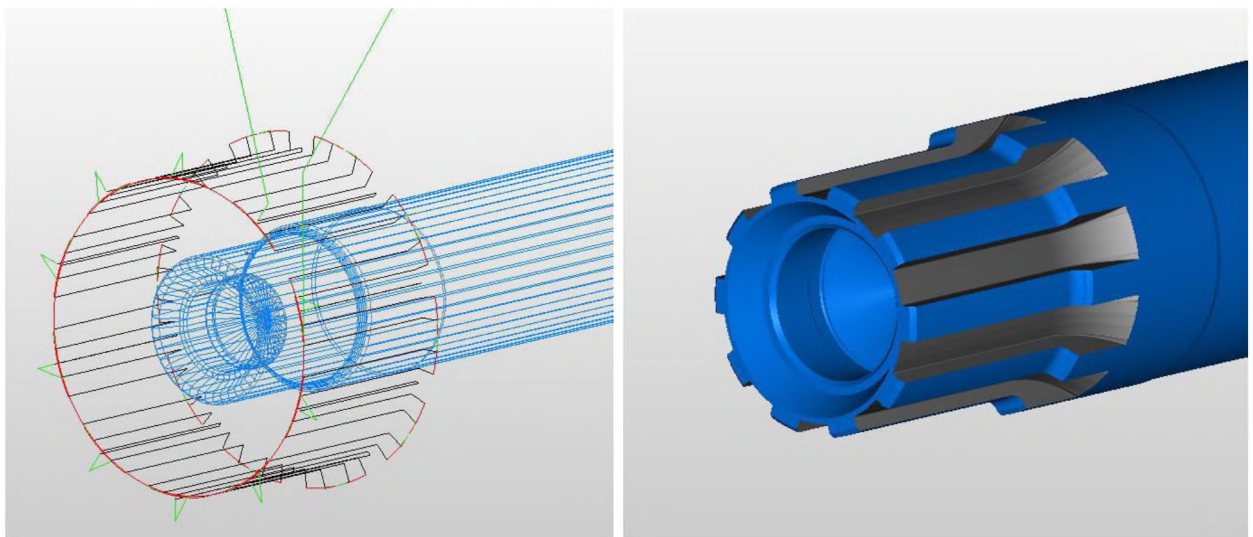


Рисунок 4.24 – Траектория та результат обробки

4.2.5 Створення симуляційної моделі фрезерного верстата HAAS VF 9/50 у FeatureCAM

У процесі підготовки керуючих програм для верстатів з ЧПК надзвичайно важливим етапом є моделювання та симуляція обробки. У програмному середовищі Autodesk FeatureCAM симуляційна модель верстата дає змогу візуально та кінематично перевірити правильність траєкторій інструмента, запобігти можливим зіткненням і оптимізувати послідовність операцій.

Для опису кінематики, конфігурації та геометрії верстата у FeatureCAM використовуються .md-файли (machine definition files). Вони містять інформацію про структуру верстата, систему координат, осі руху, типи операцій, а також взаємозв'язки між компонентами (столом, шпинделем, інструментом тощо). Завдяки цим файлам система може точно імітувати поведінку конкретного обладнання під час симуляції, що робить перевірку технологічного процесу максимально наближеною до реальних умов.

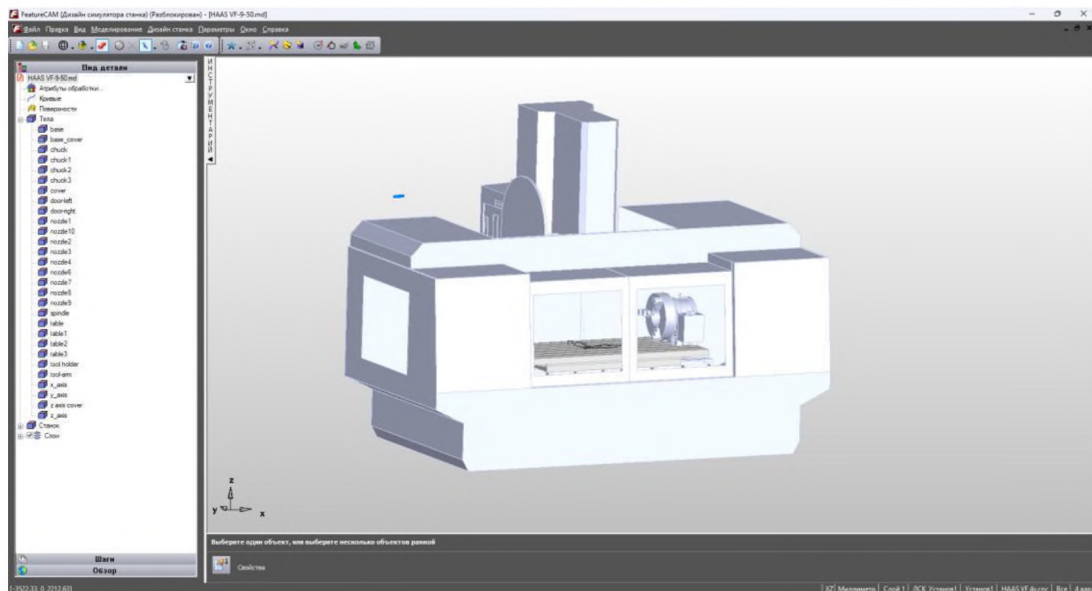


Рисунок 4.25 – Імпортована модель верстата HAAS VF 9/50

Хоча FeatureCAM має вбудовану бібліотеку моделей верстатів, у ній не завжди доступні всі конкретні моделі, що використовуються у виробництві. Зокрема, відсутня симуляційна модель фрезерного верстата HAAS VF 9/50, який застосовується для обробки деталей великого розміру та високої точності. Тому виникає потреба створити індивідуальну симуляційну модель цього верстата, яка враховуватиме його кінематичну схему, хід осей і конструктивні особливості.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.04.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Проведення симуляції обробки саме на моделі верстата, що відповідає реальному обладнанню, має вирішальне значення. Це забезпечує коректність перевірки траєкторій, достовірну оцінку можливих колізій, адекватне відпрацювання постпроцесора та мінімізацію ризиків при запуску програми на виробництві.

3D модель верстата HAAS VF 9/50 була завантажена із офіційного сайту виробника у форматі Parasolid (.x_t) та модифікована у ПЗ SolidWorks для коректного імпорту у ПЗ FeatureCAM (рисунок 4.25).

Наступним етапом визначаємо ієрархію переміщення складових верстату за методом успадкування «Parent - child» (рисунок 4.26). Нерухомі об'єкти разом із станиною верстату знаходяться на першому рівні, на другому – осі Z та Y. Спільно з віссю Z переміщуються шпиндель та форсунки подачі мастильно-охолоджуючої рідини (MOP), тоді як на вісі Y послідовно переміщуються вісь X – стіл верстата – поворотний стіл (вісь A) – трикулачковий патрон.

Після визначення взаємовідносин частин верстата, описуємо переміщення «батьківських» складових. У FeatureCAM передбачено окремо діалогове вікно для призначення вісі переміщення, лінійних обмежень та нульових положень об'єктів. У результаті, було досягнуто функціональне переміщення вузлів симуляційної моделі верстату (рисунок 4.27), у відповідності до реальних технічних характеристик, наведених у таблиці 4.1.

Останній етапом налаштування симуляційної моделі є додавання локальних систем координат (ЛСК) положень заготовки та ріжучого інструменту (рисунок 4.28). У даному випадку, положення заготовки визначається торцем та віссю трикулачкового патрона, а положення інструменту – торцем та віссю шпинделя верстата. Важливим є збереження напрямку осей ЛСК відповідно до напрямку осей верстата.

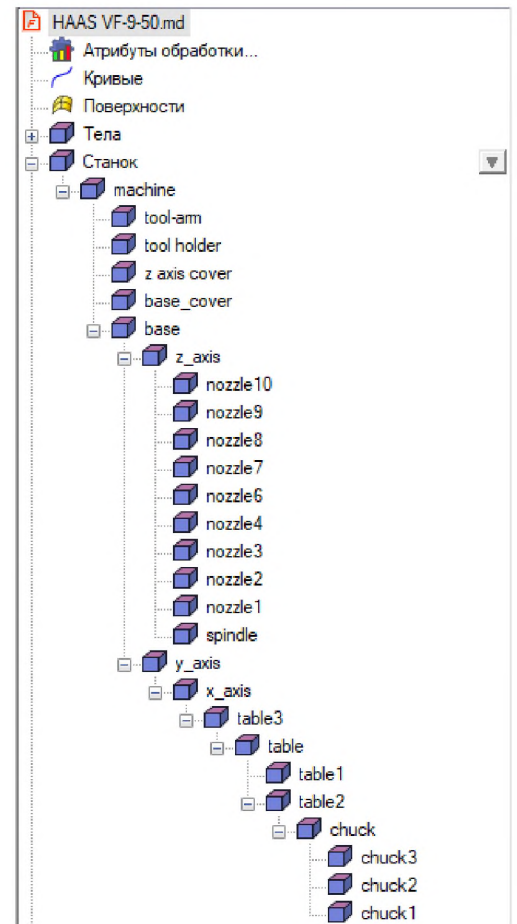


Рисунок 4.26 – Ієрархічна структура вузлів верстата

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

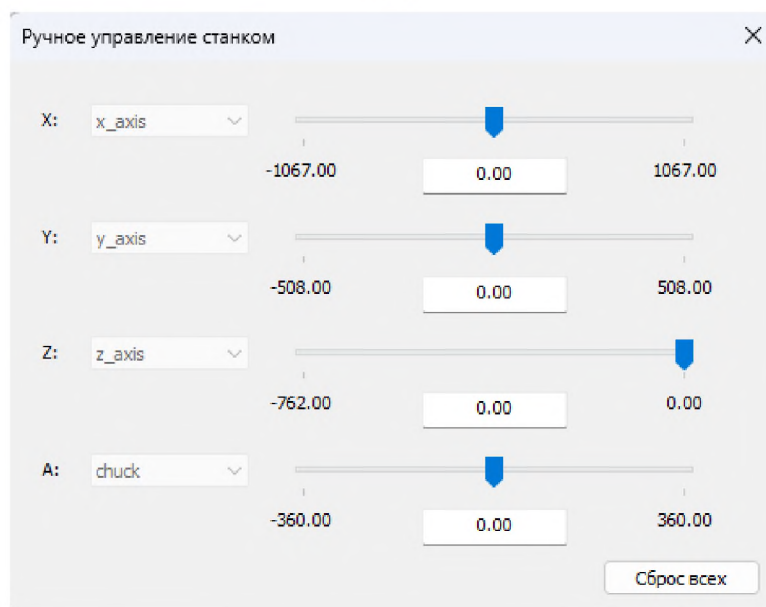


Рисунок 4.27 – Границі переміщення осей верстату

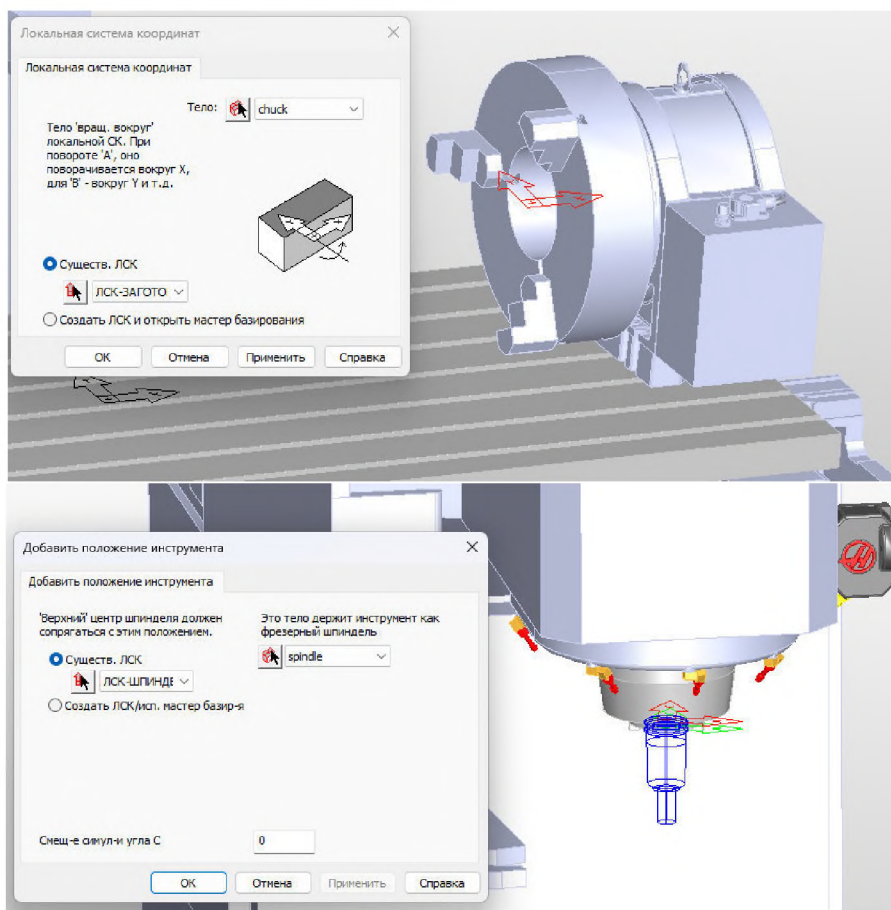


Рисунок 4.28 – Додавання ЛСК заготовки та інструменту

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

4.2.6 Імпорт моделей пристосувань та перевірка КП на колізії

Виконуємо імпорт 3D моделей пристосувань для встановлення заготовки на верстаті у форматі Parasolid (.x_t) у FeatureCAM (рисунок 4.29). Детальний опис вибору пристосувань розглянуто у розділі 5. Після чого обираємо у налаштуваннях установу створений раніше файл симуляційної моделі верстата HAAS VF 9/50 (.md) та проводимо симуляцію обробки шліцьових пазів на верстаті (рисунок 4.30) для можливого виявлення колізій.

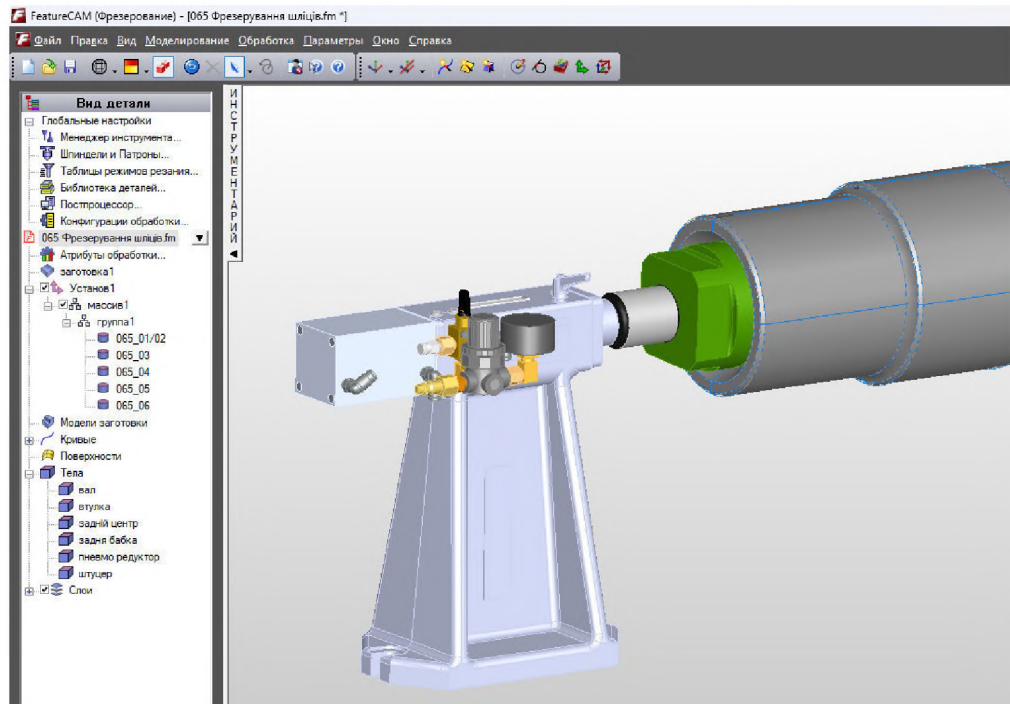


Рисунок 4.29 – Імпорт моделей пристосувань

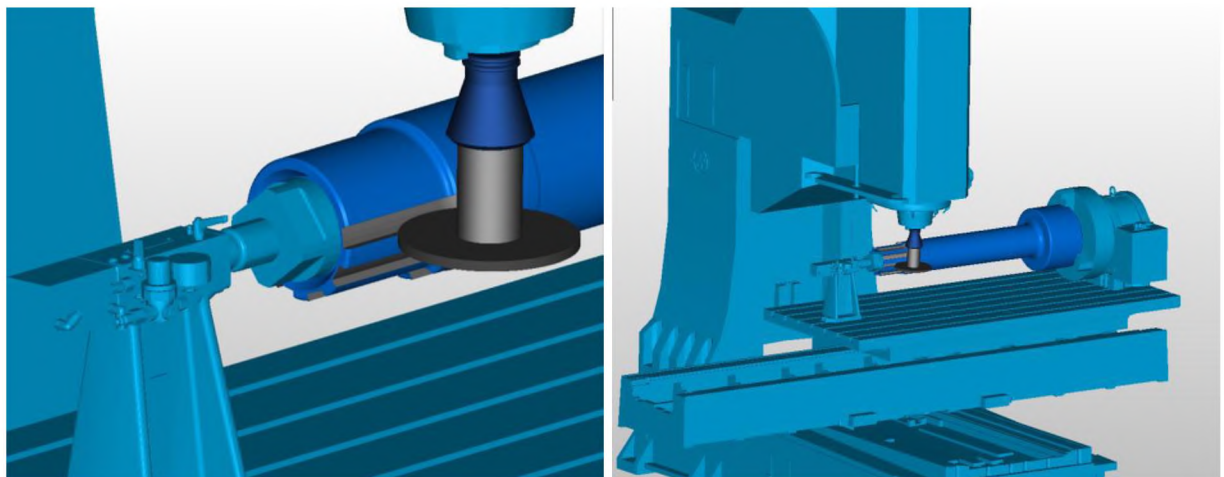


Рисунок 4.30 – Симуляція на верстаті

Після успішної перевірки керуючої програми у симуляції на верстаті можемо передавати код у виробництво. Аналіз КП наведений у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Аналіз керуючої програми

Фрагмент КП	Опис фрагменту
1	2
% O0001(065 ФРЕЗЕРУВАННЯ ШЛІЦІВ) (УСТАНОВ1 - 09.10.2025 - 12:34:21) (FEATURECAM - HAAS VF) (MACHINE TIME = 35:16.3)	Службова частина програми (заголовок), містить: номер програми, назву операції, дату, час, джерело створення (FeatureCAM), тип верстата та розрахований машинний час.
N35 (TOOLPATH 065_01/02) N40 G0 G17 G21 G40 G95	Підготовчі команди (ініціалізація режимів): • G0 – швидке позиціонування, • G17 – робоча площина XY, • G21 – міліметри, • G40 – скасування радіусної корекції, • G95 – подача в мм/об.
N45 T1 M6 (ДИСКОВА ФРЕЗА 200X12 R0.8 200.0 DIA.) N50 G54 G90 X-1305.0 Y-200.0 A0. S270 M3 N55 G43 H1 Z-6.0 M8	Вибір інструмента і активація шпинделя: • Виклик інструмента T1, зміна його (M6), • Встановлення системи координат G54, абсолютного програмування G90, швидкості обертання S270, запуск шпинделя M3, • Увімкнення компенсації довжини інструмента G43 і охолодження M8.

Продовження таблиці 4.2

1	2
N60 Y-175.412 N65 G1 X-1105.0 F1.4 N70 Y-170.912 F0.3 N75 X-1305.0 F1.4	Перший та другий проходи
N80 G0 A-5.7 N85 Z-7.652 N90 G1 X-1105.0 N95 Y-191.0	Поворот заготовки та третій прохід
N100 G0 A-18.0 N105 Z-23.0 N110 G1 Y-170.024 N115 X-1305.0 N120 G0 Z-4.348	Поворот заготовки та четвертий прохід
N125 A5.7 N130 Y-170.912 N135 G1 X-1105.0 N140 Y-191.0 N145 G0 Z11.0	Поворот заготовки та п'ятий прохід
N150 A18.0 N155 G1 Y-170.024 N160 X-1305.0	Поворот заготовки та шостий прохід
обробки наступних пазів	
N1250 G53 G49 Z0. M9 N1255 G53 Y0. N1260 M30 %	Завершення керуючої програми • G53 – переміщення у машинну систему координат (обхід нульової точки деталі). • G49 – скасування компенсації довжини інструмента. • Z0. – підйом інструмента у безпечну позицію по осі Z (у машинних координатах). • M9 – вимкнення охолодження.

5 КОНСТРУКТОРСЬКА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

Конструкторська підготовка виробництва є одним із ключових етапів у створенні будь-якого виробу машинобудування. Вона забезпечує перехід від конструкторської документації до реального процесу виготовлення деталей, вузлів і механізмів. На цьому етапі визначаються технологічні можливості обладнання, обираються методи обробки, а також розробляється необхідне технологічне оснащення – зокрема, верстатні пристосування.

Верстатні пристосування відіграють важливу роль у забезпеченні точності, стабільності та продуктивності обробки. Їхнє основне призначення полягає в закріпленні та орієнтації заготовки на верстаті згідно з вибраними технологічними базами. Використання спеціально розроблених пристосувань дає змогу скоротити допоміжний час на установку деталі, забезпечити повторюваність положення при багаторазовій обробці та виключити похибки, пов'язані з ручним центруванням або неточним закріпленням.

Окрім цього, правильно спроектоване оснащення сприяє раціональній організації виробничого процесу, дозволяє реалізувати обробку з однієї установки, підвищує безпеку праці оператора та знижує ризик браку. Особливо важливим є використання спеціальних або універсально-налаштовуваних пристосувань при обробці складних деталей, де необхідно забезпечити високу точність взаємного розташування поверхонь.

У даному розділі була розглянута конструкторська підготовка верстатного оснащення на фрезерну операцію №065. Обробка ведеться на вертикально фрезерному верстаті HAAS VF 9/50. Приєднувальною поверхнею верстата виступає стіл з шістьма Т-подібними пазами – ескіз на рисунку 5.1. Габарити переміщення робочої зони наведені на рисунку 4.2.

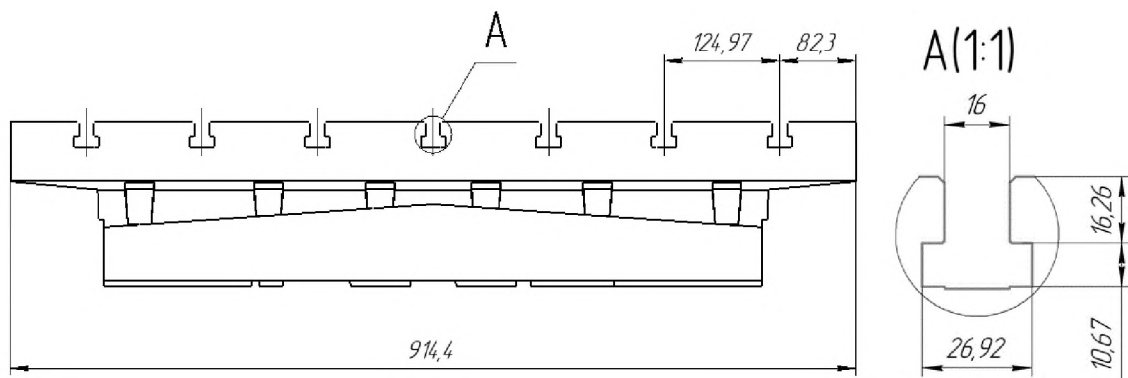


Рисунок 5.1 – Ескіз робочого столу

					КНУ.КМР.131.25.1-03.05.КПВ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Конструкторська підготовка виробництва зр. ПМ-24м		
Розроб.	Бутацький						
Перевір.	Нечасів						
Н. Контр.	Нечасів						
Затверд.	Рязанцев						
					Лит.	Арк.	Аркушів
						74	105

Для встановлення заготовки (ескіз – рисунок 4.6) на верстат, необхідне забезпечення установчих баз згідно схеми теоретичного базування операції 065, наведеної на рисунку 3.12. Кріплення заготовки виконується за допомогою самоцентруючого трикулачкового патрона поворотного столу верстата (вісь А) та задньої бабки з обертовим центром.

З метою уніфікації верстатного устаткування, необхідно для виготовлення деталі «Вал-шестерня», було обрано поворотний стіл, що забезпечує жорстке закріплення заготовки як для операції 065 «Фрезерування шліцевих пазів», так і операції 070 «Зубофрезерна».

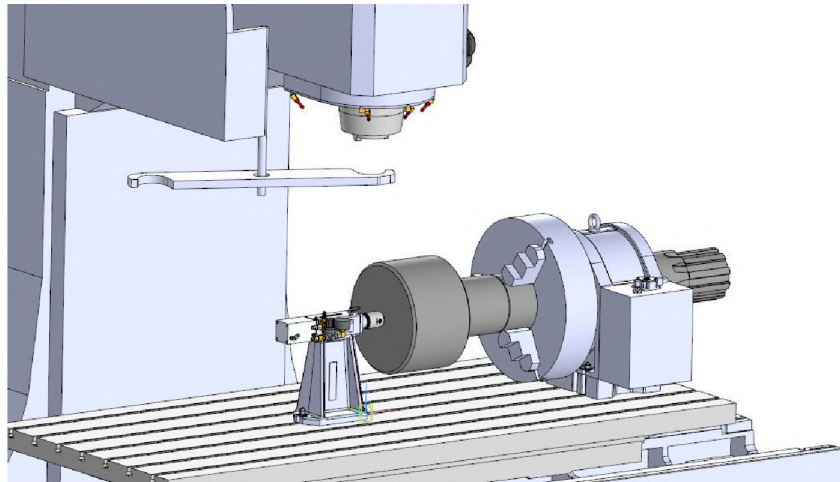


Рисунок 5.2 – Установ операції 070

Для зниження впливу прогину заготовки на зубофрезерній операції при закріпленні за кінець валу та приймаючи до уваги той факт, що це остання операція у маршруті виготовлення вал-шестерні, було вирішено, що найбільш раціональною поверхнею затиску заготовки буде поверхня №5 (згідно нумерації поверхонь, наведеної на рисунку 3.1). Модель установу зубофрезерної операції №070 наведена на рисунку 5.2.

Для забезпечення виконання установу операції №070 (ескіз установу – рисунок 3.14) необхідний поворотний стіл з діаметром наскрізного отвору більшим ніж діаметр валу $\varnothing 180$ мм. У каталозі верстатного обладнання виробника вертикально-фрезерного верстату VF-9/50 – HAAS [8], наведений широкий ряд поворотних столів. Для забезпечення наведених вище умов, вибір слід проводити із категорії поворотних столів з великим наскрізним отвором (рисунок 5.3)

ПОВОРОТНІ СТОЛИ З НАСКРІЗНИМ ОТВОРОМ

	TH240 Поворотний стіл 240 мм із наскрізним отвором 2.0"	Починаючи з 14.295 € Детальніше
	LT350 Поворотний стіл 350 мм із наскрізним отвором 200 мм	Починаючи з 24.095 € Детальніше
	LT260 Поворотний стіл 260 мм із наскрізним отвором 135 мм	Починаючи з 13.795 € Детальніше

Рисунок 5.3 – Поворотні столи HAAS

Обираємо модель LT350 з наскрізним отвором 200 мм. Для закріплення заготовки на поворотному столі необхідне встановлення 20" (508 мм) ручного 3-кулачкового патрону, A2-15 з великим наскрізним отвором у 8" (203 мм). Для усунення зачеплення за робочу поверхню столу верстата, при використанні великого патрону, необхідне використання 2,5-дюймової (64 мм) плити-проставки для поворотного столу LT350. Складальна модель поворотного столу наведена на рисунку 5.4. Таким чином, вісь заготовки, установленної на верстаті, знаходиться на висоті 11.5" (291,94 мм) над робочою поверхнею столу.

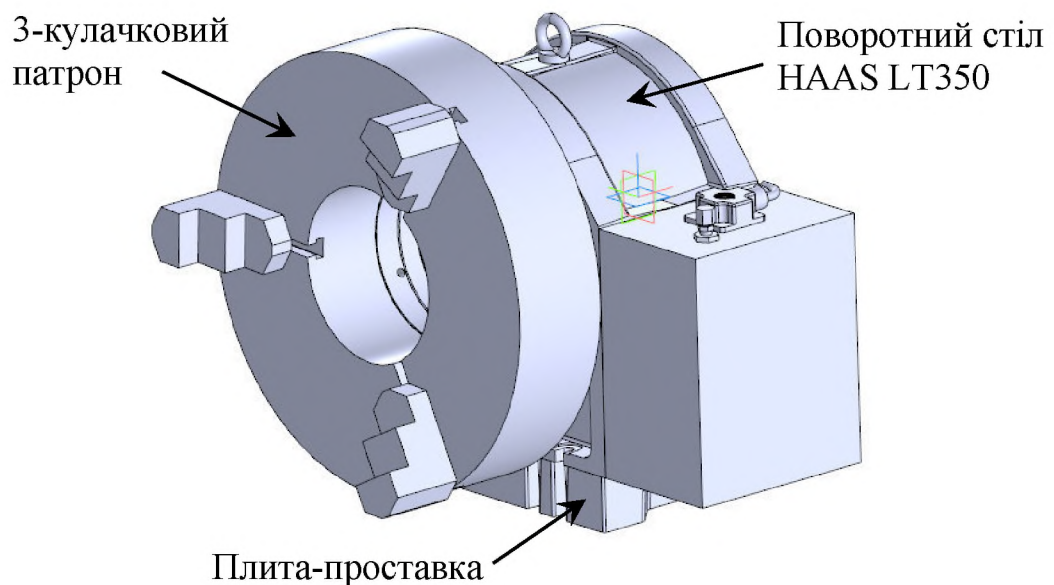


Рисунок 5.4 – Поворотний стіл

					КНУ.КМР.131.25.1-03.05.КПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

Для закріплення другого кінця вал-шестерні на верстаті необхідно підібрати задню бабку, відповідної висоті поворотного столу. Обираємо пневматичну задню бабку висотою 11.5" за каталогом HAAS [8]. Обрана задня бабка оснащена конусом Морзе 3, тому обираємо відповідний обертовий центр – HAAS #04-0177 (рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Задня бабка та обертовий центр

Згідно ескізу заготовки операції 065 (рисунок 4.6), на торці вал-шестерні виконаний великий осьовий отвір з різьбою (операція №045), що унеможлиблює пряму фіксацію заготовки за допомогою обертового центру. Для усунення проблеми спроектуємо просте пристосування – втулку (рисунок 5.6)

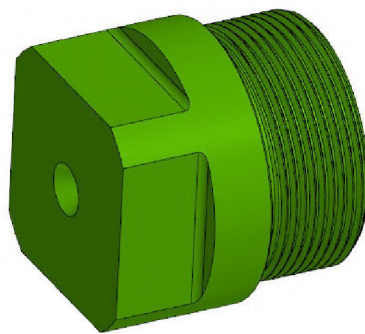


Рисунок 5.6 – Втулка

					КНУ.КМР.131.25.1-03.05.КПВ	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пристосування складається із двох частин: права циліндрична частина має зовнішню метричну різьбу M100x4, що слугує роз'ємним з'єднанням з заготовкою, ліва циліндрична частина $\varnothing 112$ мм та чотири прямими лисками для затягування різьби ріжковим ключем на 90 мм. Також, у лівій частині втулки просвердлений центровий отвір A10 за ДСТУ ISO 2540:2018 [15] для встановлення заготовки на обертний центр.

Для фіксації поворотного столу та задньої бабки на робочій поверхні верстату HAAS VF 9/50 передбачені болтові з'єднання M12.

Загальний ескіз установу операції 065 «Фрезерування шліцьових пазів» наведений на рисунку 5.7.

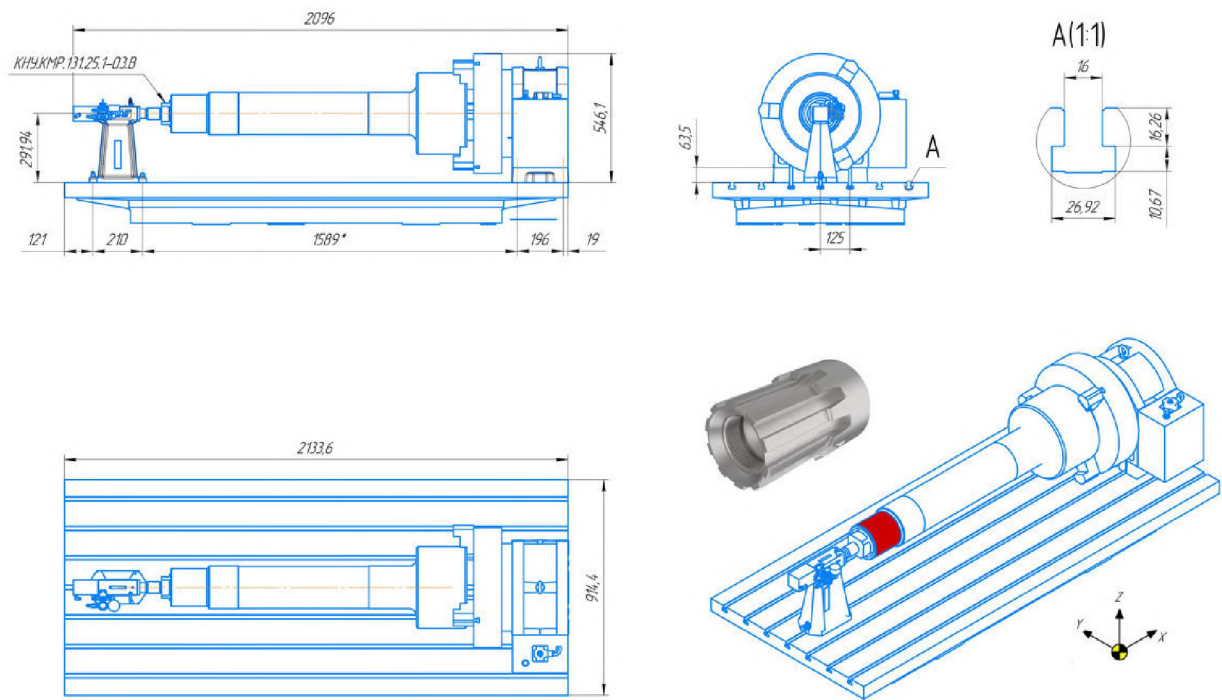


Рисунок 5.7 – Ескіз установу операції №065

					КНУ.КМР.131.25.1-03.05.КПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Проектування механоскладальної дільниці

Проектування механоскладальної дільниці цеху має ґрунтуватися на інтеграції останніх технологічних та науково-технічних досягнень у цій галузі. Процес проектування передбачає застосування інноваційних технологічних рішень, впровадження високопродуктивних машин, а також використання засобів комплексної автоматизації та механізації виробничих операцій. Невід'ємною частиною є використання прогресивних методів управління та організації виробництва, зокрема автоматизованих систем.

Проект включає ключові етапи: визначення номенклатури та оптимальної кількості основного та допоміжного устаткування, розрахунок потреби в персоналі, а також розробку планування та компонування виробничих площ. Також необхідно створити проекти для допоміжних підрозділів (наприклад, складських приміщень, відділу для мастильно-охолоджувальних рідин, контрольного відділу) та спроектувати ефективну внутрішньоцехову транспортну систему. Фундаментом для цих робіт слугує глибокий аналіз конструктивних особливостей деталі та розрахунки технологічних процесів, скориговані відповідно до річної програми випуску продукції.

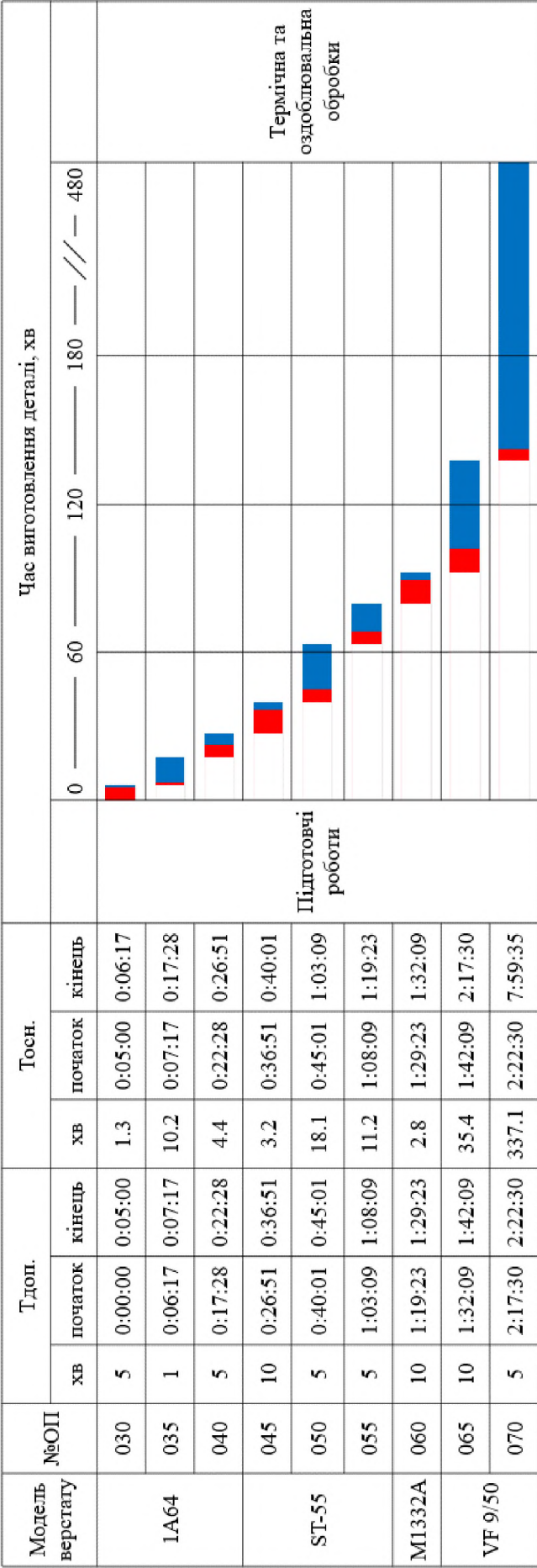
6.1.1 Обчислення потреби в ресурсах: обладнання та персонал

Для початку проведемо розрахунок штучно-калькуляційного часу обробки деталі, що є комплексною нормою часу, яка використовується для планування, калькулювання собівартості та розрахунку потреби в обладнанні та персоналі. Він являє собою суму часу, безпосередньо необхідного для виготовлення однієї деталі, а також усіх необхідних додаткових і підготовчо-завершальних витрат часу, розподілених на партію або річну програму випуску. У таблиці 6.1 приведений розрахунок основного технологічного часу виготовлення деталі «Вал-шестерня». На рисунку 6.1 зображено графік розподілення штучного часу, де основний технологічний час зазначено синім кольором, допоміжний час – червоним.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ</i>						
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Бутовський			<i>Організаційно-економічна підготовка виробництва</i>			Лит.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Нечасів								79	105
Н. Контр.		Нечасів						<i>гр. ПМ-24м</i>			
Затверд.		Рязанцев									

Таблиця 6.1 – Основний технологічний час

№ОП	Модель верстату	Інструмент	S	L	Тосн	
			мм/хв	мм	хв	%
1	2	4	5	6	7	8
030	1A64	MCLNR4040P19	225	102	0.5	0.1%
		Свердло центрове А16	54	40	0.7	0.2%
035	1A64	MCLNR4040P19	114	1151	10.1	2.4%
040	1A64	MCLNR4040P19	114	397	3.5	0.8%
		Свердло Ø17.5	240	60	0.3	0.1%
		Мітчик М20	1875	47	0.0	0.0%
		Свердло Ø20	255	14	0.1	0.0%
		Зенкер Ø21	263	14	0.1	0.0%
		Зенківка 75°	300	6	0.0	0.0%
045	HAAS ST-55	SD103-25.99-75-25R7	340	80	0.2	0.1%
		A25S-PCLNR09	360	863	2.4	0.6%
		A32S-PVLNL13	200	12	0.1	0.0%
		CNR 0032S22AHD	1910	280	0.1	0.0%
050	HAAS ST-55	MCLNR3232P19	133	2398	18.0	4.3%
055	HAAS ST-55	MCLNR3232P19	71	794	11.2	2.6%
060	ANTISHICNC M1332A	Шліфувальний круг	240	644	2.7	0.6%
065	HAAS VF 9/50	335.18-200.1012XL.50-7N	379	13 359	35.3	8.4%
070	HAAS VF 9/50	Модульна фреза m26	477	160 906	337.0	79.8%
Всього:				181 166	422.2	100%



■ Допоміжний час ■ Основний технологічний час

Рисунок 6.1 – Графік виготовлення деталі «Вал-шестерня»

Визначимо валову трудомісткість виготовлення проекрованої деталі за формулою 6.1:

$$T_p = T_{шт.кал.} \cdot N \quad (6.1)$$

де, $T_{шт.кал.}$ – штучно-калькуляційний час операції, хв;
 $N = 1000$ шт – річна програма випуску.

$$\begin{aligned} T_{p030} &= 6.3 \cdot 1000 = 6281 \text{ хв} \\ T_{p035} &= 11.2 \cdot 1000 = 11180 \text{ хв} \\ T_{p040} &= 9.4 \cdot 1000 = 9386 \text{ хв} \\ T_{p045} &= 13.2 \cdot 1000 = 13173 \text{ хв} \\ T_{p050} &= 23.1 \cdot 1000 = 23124 \text{ хв} \\ T_{p055} &= 16.2 \cdot 1000 = 16243 \text{ хв} \\ T_{p060} &= 12.8 \cdot 1000 = 12767 \text{ хв} \\ T_{p065} &= 45.4 \cdot 1000 = 45350 \text{ хв} \\ T_{p070} &= 342.1 \cdot 1000 = 342083 \text{ хв} \end{aligned}$$

Згрупуємо розраховану трудомісткість за моделями верстатів:

$$\begin{aligned} T_{p1A64} &= 6281 + 11180 + 9386 = 26846 \text{ хв} \\ T_{pST-55} &= 13173 + 23124 + 16243 = 52540 \text{ хв} \\ T_{pM1332A} &= 12767 \text{ хв} \\ T_{pVF9/50} &= 45350 + 342083 = 387433 \text{ хв} \end{aligned}$$

На основі розрахованої трудомісткості визначимо необхідну кількість основного устаткування для механічної обробки за формулою 6.2:

$$S_p = \frac{T_p}{60 \cdot F_d \cdot m \cdot \eta_z} \quad (6.2)$$

де, T_p – трудомісткість операцій;
 $F_d = 4015$ год – дійсний річний фонд роботи верстата;
 $m = 1$ – кількість змін;
 $\eta_z = 0.85$ – нормований коефіцієнт завантаження.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
						82
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

83

$$S_{p1A64} = \frac{26846}{60 \cdot 4015 \cdot 1 \cdot 0.85} = 0.13$$

Приймаємо 1 верстат 1A64.

$$S_{pST-55} = \frac{52540}{60 \cdot 4015 \cdot 1 \cdot 0.85} = 0.26$$

Приймаємо 1 верстат HAAS ST-55.

$$S_{pST-55} = \frac{12767}{60 \cdot 4015 \cdot 1 \cdot 0.85} = 0.06$$

Приймаємо 1 верстат ANTISHICNC M1332A.

$$S_{pVF9/50} = \frac{387433}{60 \cdot 4015 \cdot 1 \cdot 0.85} = 1.89$$

Приймаємо 2 верстати HASS VF 9/50.

Отже, загальна кількість основного механообробного обладнання – 5 од.

Визначимо коефіцієнти завантаження верстатів (η_z), що розраховується як відношення розрахункової кількості верстатів (S_p) до прийнятої (S_{np}):

$$\eta_z = \frac{S_p}{S_{np}} \cdot 100\% \quad (6.3)$$

$$\eta_{1A64} = \frac{0.13}{1} \cdot 100\% = 13\%$$

$$\eta_{ST-55} = \frac{0.26}{1} \cdot 100\% = 26\%$$

$$\eta_{M1332A} = \frac{0.06}{1} \cdot 100\% = 6\%$$

$$\eta_{VF9/50} = \frac{1.89}{2} \cdot 100\% = 95\%$$

Середнє завантаження верстатів складає 47%.

Низький рівень завантаження верстатів значно впливає на собівартість виготовленої продукції, тож верстати необхідно завантажити виробництвом інших деталей, або змінити стратегію виробництва.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
						83
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кількість основних робітників (R) розраховується за формулою 6.4:

$$R = \frac{T_p}{F_p \cdot K_M} \quad (6.4)$$

де T_p – трудомісткість виготовлення деталі;

F_p – дійсний річний фонд часу робітника;

K_M – коефіцієнт багатостатності.

$$R_{1A64} = \frac{26846}{60 \cdot 1860 \cdot 2} = 0.12$$

Приймаємо 1 оператор для верстата 1A64.

$$R_{ST-55} = \frac{52540}{60 \cdot 1860 \cdot 2} = 0.24$$

Приймаємо 1 оператор для верстата HAAS ST-55.

$$R_{M1332A} = \frac{12767}{60 \cdot 1860 \cdot 2} = 0.06$$

Приймаємо 1 оператор для верстата ANTISHICNC M1332A.

$$R_{VF9/50} = \frac{387433}{60 \cdot 1860 \cdot 2} = 1.74$$

Приймаємо 2 оператори для верстата HASS VF 9/50.

Загальна кількість верстатників складає 5 чоловік. Занесемо результат розрахунків у таблицю 6.2.

Кількість складальників $R_{СК}$ визначено за формулою:

$$R_{СК} = \frac{T_{СК}}{F_p} \quad (6.5)$$

де $T_{СК} = 2150$ – трудомісткість складальних робіт;

$F_p = 1820$ – річний фонд часу робітника.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

$$R_{ск} = \frac{2150}{1820} = 1.18$$

Приймаємо 2 складальника.

Таблиця 6.2 – Кількість обладнання та працівників

Модель верстату	Тр, год	Км	Кількість робітників			
			Розрах.	Прийнята	Професія	Розряд
1A64	447	1	0.12	1	Оператор	4
HAAS ST-55	876	1	0.24	1	Оператор	5
M1332A	213	1	0.06	1	Оператор	4
HAAS VF 9/50	3229	1	0.87	1	Оператор	5
HAAS VF 9/50	3229	1	0.87	1	Оператор	5
Всього				5		

Чисельність інших категорій персоналу:

- Допоміжні робітники: 50% від виробничих робітників, що становить 3 людини.
 - Ті, що обслуговують обладнання: $0,6 \cdot 3 = 1,8$, прийнято 2 людини (налагоджувальник – 1, кранівник – 1).
 - Ті, що не обслуговують обладнання: $0,4 \cdot 3 = 1,2$, прийнято 1 людина.
 - Контролер ВТК – 1 людина.
- Інженерно-технічні працівники (ІТП): 12% від загального числа робітників ($6 + 3 = 9$): $0,12 \cdot 9 = 1$ людина.
- Обслуговуючий персонал (МОП): 3% від загального числа робітників: $0,03 \cdot 9 = 0,27$, прийнято 1 чол.

Загальна чисельність працюючих у цеху: 12 осіб – розподілення наведено у таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – Відомість загальної кількості працюючих у цеху

Категорія службовців		Всього	ф % відношення від кількості основних працюючих	По змінам
Виробничі працівники		5		5
Складальники		2		2
Допоміжні	Налагоджувальник	1	43%	1
	Крановщик	1		1
	Контролер ВТК	1		1
МОП		1	14%	1
ІТП		1	14%	1
Всього		12		12

6.1.2 Визначення площі проекрованої ділянки

Загальна верстатна площа $S_{\text{заг}}$ визначається як сума площ, займаних усіма одиницями основного устаткування. Згідно розрахунку, наведеному у таблиці 6.4, загальна верстатна площа ділянки 75 м².

Визначимо допоміжні площі ділянки:

- складальна ділянка: $S_{\text{ск}} = 0.5 \cdot 75 = 37 \text{ м}^2$;
- ділянка для стружки: $S_{\text{стр}} = 9 \text{ м}^2$;
- ділянка контрольного пункту: $S_{\text{втік}} = 4 \text{ м}^2$;
- ділянка майстра: $S_{\text{м}} = 16 \text{ м}^2$;

Отже, загальна площа проекрованої механічно-складальної ділянки становить 141 м². Ділянка розташовується у механічному цеху з сіткою колон 18х6 м та висотою 8,4 м.

Таблиця 6.4 – Габарити верстатів

№ верстату	Модель верстату	Габарити, мм			Площа, м ²
		довжина	ширина	висота	
1	1A64	5 925	2 000	1 660	11.85
2	HAAS ST-55	6 460	2 420	2 670	15.63
3	M1332A	7 300	1 900	2 050	13.87
4	HAAS VF 9/50	5 440	3 050	3 340	16.59
5	HAAS VF 9/50	5 440	3 050	3 340	16.59
Загальна верстатна площа:					74.54

6.2 Охорона праці та екологія виробництва

6.2.1 Екологічний аспект ковальського виробництва

Екологічна складова виробництва поковок зосереджена на мінімізації негативного впливу технологічного процесу на навколишнє природне середовище. Цей вплив формується через використання сировини, генерацію відходів, значне споживання енергетичних ресурсів та потенційні викиди. Нижче наведені основні фактори впливу:

1) Використання металевих заготовок потребує видобутку та транспортування металів (сталь, титан, сплави), що супроводжується значними викидами та забрудненням ґрунту і води.

2) Нагрівання металу до пластичного стану перед куванням є енергоємним процесом. Використання палива або електроенергії для нагрівальних печей генерує теплові викиди та викиди CO₂. Підвищення енергоефективності печей та використання індукційного нагріву може знизити цей вплив.

3) Процеси нагрівання металу та робота пресів/молотів можуть супроводжуватися викидами диму, газів (якщо використовуються газові чи мазутні печі) та утворенням окалини, що є джерелом пилових викидів.

4) Основними відходами є окалина (утворюється при нагріванні), металеві обрізки та відпрацьовані мастильні матеріали з обладнання. Необхідним є вторинна переробка металевих залишків та належна утилізація окалини та мастил.

5) Вода використовується переважно для охолодження обладнання (пресів, молотів). Стічні води можуть містити нафтопродукти або важкі метали, що вимагає ефективного очищення перед скиданням.

Шляхи зменшення екологічного впливу:

- 1) Застосування енергоефективних печей та індукційного нагріву.
- 2) Максимальна переробка металевих відходів (обрізків).
- 3) Ефективна система фільтрації та відведення газів від печей.
- 4) Впровадження систем очищення та рециркуляції МОР.

6.2.2 Технологічна безпека при ковальському виробництві

Безпека праці у ковальському виробництві є критичною через високі температури нагрітого металу, використання важких молотів і пресів та значний рівень шуму і вібрації.

Основоположні вимоги до безпеки:

- 1) Організація робочого простору:

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Робоча зона має бути чистою та вільною від сторонніх предметів; передбачити чіткі шляхи переміщення нагрітих заготовок.
- Небезпечні зони роботи пресів та молотів мають бути чітко огорожені та позначені.

2) Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Спеціальний одяг: термостійкі, вогнезахисні костюми від іскор та теплового випромінювання.
- Захист для рук: спеціальні рукавиці для роботи з гарячим металом.
- Захист обличчя та очей: захисні щитки або окуляри від іскор, окалини та випромінювання.
- Захист слуху: протишумові навушники або вкладки через високий рівень шуму від ударів молотів.
- Спеціальне взуття: черевики з металевим носком і термостійкою підошвою.

3) Правила експлуатації устаткування:

- Ретельна перевірка стану пресів, молотів та нагрівальних печей перед початком роботи.
- Використання автоматизованих систем подачі та вилучення гарячих заготовок для мінімізації контакту робітників з теплом.
- Регулярне обслуговування обладнання для запобігання аварійним ситуаціям.

4) Поводження з нагрітими матеріалами:

- Дотримання безпечної дистанції від гарячих заготовок та печей.
- Використання спеціального інструменту (кліщів) для маніпуляцій з гарячим металом.
- Контроль температури нагріву для уникнення розбризкування металу.

5) Запобігання аваріям та пожежам:

- Оснащення робочих місць протипожежним інвентарем, особливо поблизу нагрівальних печей.
- Використання витяжної вентиляції для видалення теплого повітря та газів.

6) Навчання та інструктаж персоналу:

- Обов'язковий інструктаж з правил безпеки при роботі з високими температурами, вібрацією та потужним обладнанням.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

6.3 Оцінка ключових техніко-економічних показників

Під час визначення необхідних матеріальних та особових ресурсів для забезпечення механоскладальної дільниці, що виготовляє деталь «Вал-шестерня», було отримано низькі показники завантаження основного обладнання (47%) та відповідно їх операторів. Для розрахунку впливу зазначеного фактору на собівартість виробництва та формулювання рекомендацій, щодо оптимізації техніко-економічних показників, у даному пункті буде розроблено математичну модель розрахунку собівартості виробництва, проведено аналіз чутливості та сформовано рекомендації та економічні вигоди впровадження коригувань у організацію виробництва.

6.3.1 Розробка математичної моделі розрахунку собівартості виробництва

Кількість та завантаження ресурсів механоскладальної дільниці залежить від річного фонду та штучно-калькуляційного часу виготовлення деталей. У даному аналізі приймемо розроблений технологічний процес незмінним та проведемо оптимізації річного фонду виготовлення деталей. Для цього розробимо математичну модель, що розраховує повну собівартість виробництва вал-шестерні в залежності від кількості виготовлення деталей.

Першим розділом моделі виступає розрахунок необхідних ресурсів, проведений у підпункті 6.1.1, що був автоматизований у програмному забезпеченні Microsoft Office Excel – рисунок 6.2 (а).

У другому розділі моделі проводиться розрахунок собівартості виробництва деталі – рисунок 6.2 (б), що складається з наступних статей витрат:

- Вартість заготовки
- Оплата персоналу механоскладальної дільниці
- Енергоресурси дільниці
- Розхідні матеріали
- Амортизація обладнання
- Обслуговування та ремонт

За результатом розрахунку, повна собівартість виробництва деталі «Вал-шестерня» складає 75 812 грн/шт, що складається з постійних витрат $FC = 10\,292$ грн/шт (14%) та змінних витрат $VC = 65\,520$ грн/шт (86%). Розподіл собівартості за статтями витрат наведений на рисунку 6.3.

Повна математична модель наведена у додатку Б.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		89

Річний фонд виготовлення 1000 шт/рік

Модель верстату	Тит.к.	Тр	Sp	Spv	Завантаження верстата	Rp	Rvp
1A64	26.8	26 846	0.13	1	13%	0.12	чол
HAAS ST-55	52.5	52 540	0.26	1	26%	0.24	1
M1332A	12.8	12 767	0.06	1	6%	0.06	1
HAAS VF 9/50	387.4	387 433	1.89	2	95%	1.74	2
Середнє					46.84%		5

Категорія службовців	Всього	Ф % відношення від кількості основних працюючих	По змінам
Виробничі працівники	5		5
Складальники	2		2
Допоміжні			
Налагоджувальник	1		1
Крановник	1	43%	1
Контролер ВТК	1		1
МОП	1	14%	1
ТПП	1	14%	1
Всього	12		12

Модель верстату	Кіл-ть верстатів	Верстат в роботі	Обслуговування верстата	Простий верстата
1A64	1	447	602	2965
HAAS ST-55	1	876	602	2537
M1332A	1	213	602	5200
HAAS VF 9/50	2	3229	602	184

Дійсний річний фонд роботи верстата 4015 год



(а)

Курс 42 грн/дол

Річний фонд виготовлення		шт/рік	1000
№	Статті витрат	Од.Вим.	Значення
1	Вартість заготовки	грн	60 114
1.1	Матеріали	грн	45 085
1.1.1	сталевий прокат	т	0.50
1.1.2	вартість прокату (ст. 34ХНІМА)	грн/т	90 000
1.2	Обробка	грн	15 028
2	Оплата працівників механічного цеху	грн	5 544
2.1	Кількість працівників	чол.	12
2.2	Рекомендована ЗВНП (ТСОЕ)	\$/рік	11 000
2.2.1	з/н до вирахування податків	грн/міс	30 000
2.2.2	ЄСВ (22%)	грн/міс	6 600
2.2.3	Інші витрати (6%)	грн/міс	1 900
3	Енергоресурси дільниці	грн	1 606
3.1	Електроенергія	грн	1 106
3.1.1	споживання верстатів	кВт*год	188.15
3.1.2	ціна електроенергії для підприємств	грн/кВт*год	5.88
3.2	Інші (вода, стиснене повітря, опалення)	грн	500
4	Розхідні матеріали	грн	4 000
5	Амортизація обладнання	грн	3 032
5.1	Вартість основного обладнання	млн.грн	30.32
5.1.1	Ціна 1A64	млн.грн	0.40
5.1.2	Кількість 1A64	шт	1
5.1.3	Ціна HAAS ST-55	млн.грн	12.22
5.1.4	Кількість HAAS ST-55	шт	1
5.1.5	Ціна ANTISHINC M1332A	млн.грн	1.26
5.1.6	Кількість ANTISHINC M1332A	шт	1
5.1.7	Ціна HAAS VF 9/50	млн.грн	8.22
5.1.8	Кількість HAAS VF 9/50	шт	2
5.2	Річна ставка амортизації	%	10
6	Обслуговування та ремонт	грн	1 516
Собівартість виробництва		грн/шт	75 812
FC		14%	10 292
VC		86%	65 520

(б)

Рисунок 6.2 – Математична модель розрахунку собівартості виробництва



Рисунок 6.3 – Розподіл собівартості

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ.КМР.131.25.1-03.06.0ЕПВ

Арк.

90

6.3.2 Проведення аналізу чутливості собівартості виробництва

За допомогою розробленої математичної моделі сформуємо масив вихідних даних, що визначає собівартість виробництва та потребу в основному технологічному обладнанні при певному річному фонді виготовлення деталей.

Проаналізуємо масив даних у діапазоні від 1 до 4 000 деталей на рік – рисунок 6.4. Побудуємо графік залежності собівартості від кількості виготовлення деталей за рік – рисунок 6.5. Проаналізувавши отриманий графік, можна зробити логічний висновок, що собівартість виробництва обернено пропорційна річному фонду виготовлення та розподілена по гіперболі. Отже, чим більший річний фонд, тим нижча вартість виробництва однієї деталі. На графіку бачимо, що зниження собівартості відбувається не рівномірно, а «стрибками». Зазначені «стрибки» спричинені великим рядом факторів, проте найзначнішими є збільшення необхідної кількості верстатів та працівників механоскладальної дільниці. Нанесемо на графік лінії, що відображають завантаження усіх верстатів дільниці (червона суцільна), вертикально-фрезерних верстатів з ЧПК HAAS VF 9/50 (зелена пунктирна) та токарних верстатів з ЧПК HAAS ST-55 (чорна пунктирна). Після перевершення 100% завантаження кожного з верстату відбувається «стрибок» графіку, що відповідає збільшенню необхідної кількості обладнання. Збільшення необхідної кількості персоналу відбувається з невеликим відставанням, через можливість сумісництва при невеликому завантаженні верстата.

N	С/в	HAAS VF 9/50		HAAS ST-55		Всі верстати	
		шт	%	шт	%	шт	%
1	8 000 367	1	0%	1	0%	4	0.1%
2	4 033 044	1	0%	1	0%	4	0.1%
3	2 710 602	1	1%	1	0%	4	0.2%
4	2 049 382	1	1%	1	0%	4	0.2%
5	1 652 649	1	1%	1	0%	4	0.3%
6	1 388 161	1	1%	1	0%	4	0.4%
7	1 199 241	1	1%	1	0%	4	0.4%
8	1 057 551	1	2%	1	0%	4	0.5%
9	947 347	1	2%	1	0%	4	0.5%
10	859 185	1	2%	1	0%	4	0.6%
—//—							
4000	72 283	8	95%	2	51%	12	78.1%

Рисунок 6.4 – Масив вихідних даних математичної моделі

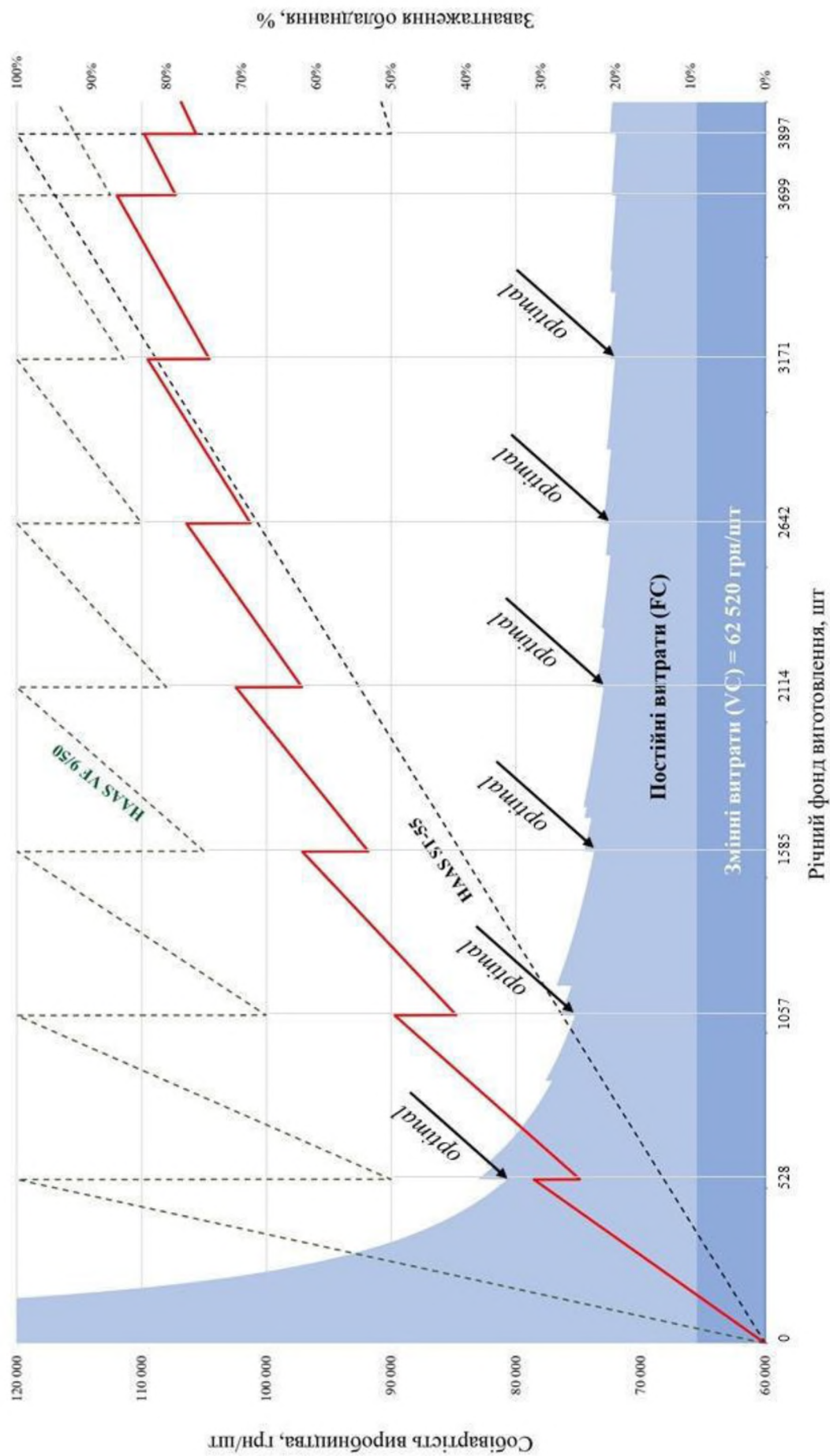


Рисунок 6.5 – Аналіз чутливості собівартості виробництва

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

6.3.3 Рекомендації та економічні вигоди коригувань

Виділимо визначені критичні точки збільшення собівартості виробництва внаслідок збільшення необхідної кількості верстатів та точки, що передують критичним – це і є оптимальні значення фонду річного виробництва, при яких завантаження обладнання буде максимальним і відповідно собівартість продукції мінімальною – рисунок 6.6.

Проаналізувавши сформовані вихідні дані, можна зробити наступні висновки:

- 1) При річному фонді від 3 898 шт з'являється необхідність у другому токарному верстаті з ЧПК.
- 2) Завантаження усіх верстатів перевищує рекомендовані 80% при мінімальному річному фонді 3 171 шт.
- 3) Найближчий оптимум до заданого річного фонду – 1 057 шт, що призводить до економії собівартості 544 грн/шт (-0.72%)
- 4) Наступний оптимум – 1 585 шт призводить до економії у 2 072 грн/шт (-2.73%)

Критичні точки (збільшення кількості верстатів)

N шт	С/в грн/шт	HAAS VF 9/50		HAAS ST-55		Всі верстати	
		шт	%	шт	%	шт	%
529	83 050	2	50%	1	14%	5	25%
1058	76 424	3	67%	1	27%	6	41%
1586	74 512	4	75%	1	41%	7	53%
2115	73 551	5	80%	1	54%	8	62%
2643	72 978	6	83%	1	68%	9	69%
3172	72 447	7	86%	1	81%	10	74%
3700	72 320	8	88%	1	95%	11	79%
3898	72 455	8	92%	2	50%	12	76%

Точки, що передують критичним (оптимуми)

N шт	С/в грн/шт	HAAS VF 9/50		HAAS ST-55		Всі верстати	
		шт	%	шт	%	шт	%
528	80 748	1	100%	1	14%	4	30.9%
1057	75 268	2	100%	1	27%	5	49.5%
1585	73 740	3	100%	1	41%	6	61.9%
2114	72 972	4	100%	1	54%	7	70.7%
2642	72 514	5	100%	1	68%	8	77.3%
3171	72 061	6	100%	1	81%	9	82.5%
3699	71 989	7	100%	1	95%	10	86.6%
3897	71 987	8	92%	1	100%	11	83.0%

Рисунок 6.6 – Критичні точки та оптимуми

Проведемо техніко-економічне порівняння двох конфігурацій виробництва: при заданому базовому річному фонді виробництва 1 000 шт та одному з отриманих оптимумів – 1 568 шт (рисунок 6.7).

Аналізуючи результати бачимо, що річний фонд виготовлення впливає лише на постійну складову (FC – Fixed cost) собівартості, змінна частина (VC – Variable cost) залишається незмінною та дорівнює 65 520 грн/шт. Змінні витрати можуть бути оптимізовані при коригуванні технологічного процесу виробництва.

На зниження постійних витрат на 20% (2 027 грн/шт) вплинули наступні фактори:

- 1) Відносне зниження оплати праці на 21% (1 172 грн/шт). Зважаючи на те, що в абсолютному значенні кількість робітників збільшилась на 3 чоловіки (25%), при цьому річний фонд виробництва – на 59%.

Річний фонд виготовлення		шт/рік	1000	1585	585	59%
№	Статті витрат	Од.Вим.	Значення	Значення	Різниця	
1	Вартість заготовки	грн	60 114	60 114	-	-
1.1	Матеріали	грн	45 085	45 085	-	-
1.1.1	стальний прокат	т	0.50	0.50	-	-
1.1.2	вартість прокату (ст. 34ХН1МА)	грн/т	90 000	90 000	-	-
1.2	Обробка	грн	15 028	15 028	-	-
2	Оплата працівників механічного цеху	грн	5 544	4 372	-1 172	-21%
2.1	Кількість працівників	чол.	12	15	3	25%
2.2	Рекомендована ЗВНП (ТСОЕ)	\$/рік	11 000	11 000	-	-
2.2.1	з/п до вирахування податків	грн/міс	30 000	30 000	-	-
2.2.2	ЄСВ (22%)	грн/міс	6 600	6 600	-	-
2.2.3	Інші витрати (6%)	грн/міс	1 900	1 900	-	-
3	Енергоресурси дільниці	грн	1 606	1 606	-	-
3.1	Електроенергія	грн	1 106	1 106	-	-
3.1.1	споживання верстатів	кВт*год	188.15	188.15	-	-
3.1.2	ціна електроенергії для підприємств	грн/кВт*год	5.88	5.88	-	-
3.2	Інші (вода, стиснене повітря, опалення)	грн	500	500	-	-
4	Розхідні матеріали	грн	4 000	4 000	-	-
5	Амортизація обладнання	грн	3 032	2 432	-600	-20%
5.1	Вартість основного обладнання	млн.грн	30.32	38.54	8	27%
5.1.1	Ціна 1А64	млн.грн	0.40	0.40	-	-
5.1.2	Кількість 1А64	шт	1	1	-	-
5.1.3	Ціна HAAS ST-55	млн.грн	12.22	12.22	-	-
5.1.4	Кількість HAAS ST-55	шт	1	1	-	-
5.1.5	Ціна ANTISHICNC M1332A	млн.грн	1.26	1.26	-	-
5.1.6	Кількість ANTISHICNC M1332A	шт	1	1	-	-
5.1.7	Ціна HAAS VF 9/50	млн.грн	8.22	8.22	-	-
5.1.8	Кількість HAAS VF 9/50	шт	2	3	1	50%
5.2	Річна ставка амортизації	%	10	10	-	-
6	Обслуговування та ремонт	грн	1 516	1 216	-300	-20%
Собівартість виробництва		грн/шт	75 812	73 740	-2 072	-3%
FC		14%	10 292	8 220	-2 072	-20%
VC		86%	65 520	65 520	-	-

Рисунок 6.7 – Техніко-економічне порівняння

- 2) Відносна амортизація (вартість) основного обладнання знижена на 20% (600 грн/шт). При збільшенні кількості вертикально-фрезерних верстатів на 1 од. (8.22 млн.грн)
- 3) Зниження відносних витрати на обслуговування та ремонт на 20% (300 грн/шт)

Провівши дослідження ринку продукції машинобудівних підприємств, була сформована орієнтовна ринкова вартість деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту ЕКГ-5А-У, що складає 94 980 грн. Виходячи із цього, розрахуємо додатковий прибуток компанії при збільшенні річного фонду виробництва з 1 000 до 1 585 шт – рисунок 6.8.

Фонд виготовлення	шт/рік	1 000	1 585	585	59%
Собівартість	грн/шт	75 812	73 740	-2 072	-3%
Ринкова вартість	грн/шт	94 980	94 980	-	-
Маржа	грн/шт	19 168	21 240	2 072	11%
Абсолютні витрати	млн. грн/рік	75.8	116.9	41.1	54%
Абсолютні надходження	млн. грн/рік	95.0	150.5	55.6	59%
Прибуток	млн. грн/рік	19.2	33.7	14.5	76%

Рисунок 6.8 – Розрахунок додаткового прибутку

Отже, за рахунок оптимізації постійних витрат підприємства, при збільшенні обсягу виробництва на 59% прогнозується збільшення прибутку на 76%, що складає 14.5 млн. грн на рік.

7 ІНТЕГРАЦІЯ СУЧАСНИХ МЕТАЛУРГІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ У МАШИНОБУДІВНУ ГАЛУЗЬ

Машинобудування та металургія історично становлять фундаментальний тандем промислового розвитку будь-якої держави. Ці дві галузі знаходяться у стані глибокої взаємозалежності: металургія виступає матеріальним базисом, забезпечуючи конструкційними матеріалами створення машин, механізмів та приладів, тоді як машинобудування формує технологічний запит на якість, номенклатуру та властивості цих матеріалів.

У сучасних умовах роль металургії трансформується з простого постачальника сировини у драйвера технологічних змін для машинобудівного сектору. Якість кінцевої продукції машинобудування – від важкої спецтехніки до прецизійних інструментів – прямо корелює з чистотою сталі, її мікроструктурою та методами її отримання. Однак сьогодні, окрім фізико-механічних властивостей металу, критичного значення набуває технологія його виробництва.

Глобальні тренди на декарбонізацію економіки та посилення конкуренції змушують переглядати традиційні виробничі ланцюги. Інтеграція новітніх металургійних технологій у машинобудівну галузь стає не просто питанням інновацій, а умовою виживання та економічної ефективності. Перехід до більш екологічних та енергоефективних методів виплавки безпосередньо впливає на собівартість машинобудівної продукції, її експортний потенціал та відповідність міжнародним екологічним стандартам ("зеленим" сертифікатам).

Таким чином, сучасна парадигма взаємодії цих галузей будується навколо пошуку балансу між екологічною безпекою та економічною доцільністю. У цьому розділі буде розглянуто, як саме зміна металургійних переділів здатна трансформувати економіку машинобудівного підприємства, знизити вуглецевий слід та оптимізувати витрати на сировину.

7.1 Проблема екологічної складової металургії та технологічна трансформація

Сучасна металургія переживає фундаментальний зсув парадигми, спричинений критичною необхідністю зниження вуглецевого сліду. Металургійний сектор відповідальний за приблизно 8% глобальних викидів CO₂, що робить його найбільшим промисловим емітентом діоксиду вуглецю у світі [16, с.1]. Основний тягар цих викидів припадає на традиційний інтегрований маршрут виробництва: BF-BOF (доменно-конвертерний процес).

					КНУ.КМР.131.25.1-03.07.ІСМТМ									
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Бутівський			Інтеграція сучасних металургійних технологій у машинобудівну галузь					Літ.		Арк.	Аркушів	
Перевір.		Нечасів											96	105
										зр. ПМ-24м				
Н. Контр.		Нечасів												
Затверд.		Рязанцев												

Цей метод, що базується на відновленні залізної руди коксом, генерує прямі викиди на рівні близько 2 тонн CO₂ на 1 тону сталі, де 80% емісії припадає саме на етап отримання чавуну. На сьогодні маршрут BF-BOF залишається домінуючим, забезпечуючи понад 70% світового виробництва сталі. Проте, згідно з прогнозами до 2050 року, структура виробництва кардинально зміниться на користь технологій прямого відновлення заліза (DRI) та електросталеплавильних методів (EAF). На рисунку 7.1 наведено порівняльну характеристику традиційних та новітніх технологічних маршрутів.

Показник	Од. Вим.	DRI+EAF			EAF	DRI-Smelter-BOF	BF-BOF
		MIDREX	HyREX	HYTOR			
Виробництво 2020	млн.т./рік	95 (5%)	0	0	374 (20%)	0	1317 (71%)
Виробництво 2050	млн.т./рік	265 (13%) ↑			740 (35%) ↑	320 (15%) ↑	717 (34%) ↓
CO ₂ викиди	т CO ₂ /т.ст.	1.1-1.2	0.23-0.33	0.14	0.13	0.3	1.954
Сировина		• ПГ • Н ₂ • Окатиші	• ПГ • Н ₂ • Агломерат	• Н ₂ • Концентрат	м/брухт	• ПГ • Н ₂ Окатиші/ Агломерат/ Концентрат	• Кокс • Агломерат
Світові досягнення		Близько 100 DRI шахт було побудовано з 1969	POSCO планує побудувати тестову установку до 2028	Тестується плотна установка	Технологія розвивається і збільшує свою частку на ринку	Розробка в процесі виконання	Найпопулярніший у світі процес виробництва сталі
Якість металопишти		Низька/висока якість	Низька якість	Низька/висока якість	Низька/висока якість	Низька якість	Низька якість

Рисунок 7.1 – Порівняння технологій виробництва сталі

Для машинобудівної галузі ігнорування цього переходу несе прямі економічні загрози. Впровадження механізмів транскордонного вуглецевого регулювання (наприклад, CBAM у Євросоюзі) фактично накладає "вуглецевий податок" на продукцію з високим вмістом CO₂. Якщо машинобудівне підприємство використовує сталь, вироблену методом BF-BOF (з емісією ~2 т CO₂/т), його кінцева продукція стає неконкурентоспроможною на розвинених ринках через додаткові мита та невідповідність екологічним квотам. Використання "брудної" сталі стає фінансовим ризиком.

Технологія прямого відновлення заліза (Direct Reduced Iron – DRI) є ключовим рішенням для декарбонізації. На відміну від доменної печі, де відновлення відбувається вуглецем (з коксу), у процесі DRI кисень видаляється із залізорудної сировини за допомогою відновлювальних газів (природного газу або водню) у твердому стані, без плавлення.

В промислових шахтних печах (наприклад, за технологіями MIDREX або HyL) залізорудна сировина завантажується зверху та рухається під дією гравітації назустріч висхідному потоку гарячого відновлювального газу, що складається з водню та оксиду вуглецю. Процес відбувається при температурах у діапазоні 800-1050°C, чого достатньо для хімічної реакції відбору кисню з оксидів заліза, але недостатньо для плавлення металу. В

результаті утворюється високометалізований продукт із пористою структурою («губчасте залізо»), який характеризується високою хімічною чистотою через відсутність контакту з вугільним коксом та шлаком.

Ключові переваги DRI для машинобудування:

- 1) Екологічність: Використання природного газу вже знижує викиди удвічі порівняно з вугіллям, а використання "зеленого" водню наближає емісію до нуля.
- 2) Чистота матеріалу: DRI дозволяє отримати метал, вільний від небажаних домішок (які часто присутні у брукті), що критично важливо для виробництва відповідальних вузлів машин.
- 3) Енергоефективність: Процес виключає енерговитратну стадію виробництва коксу та агломерату.

Залежно від логістики та потреб кінцевого споживача (сталеплавильного цеху), продукти прямого відновлення класифікують на три основні типи – таблиця 7.1 та рисунок 7.2 [17].

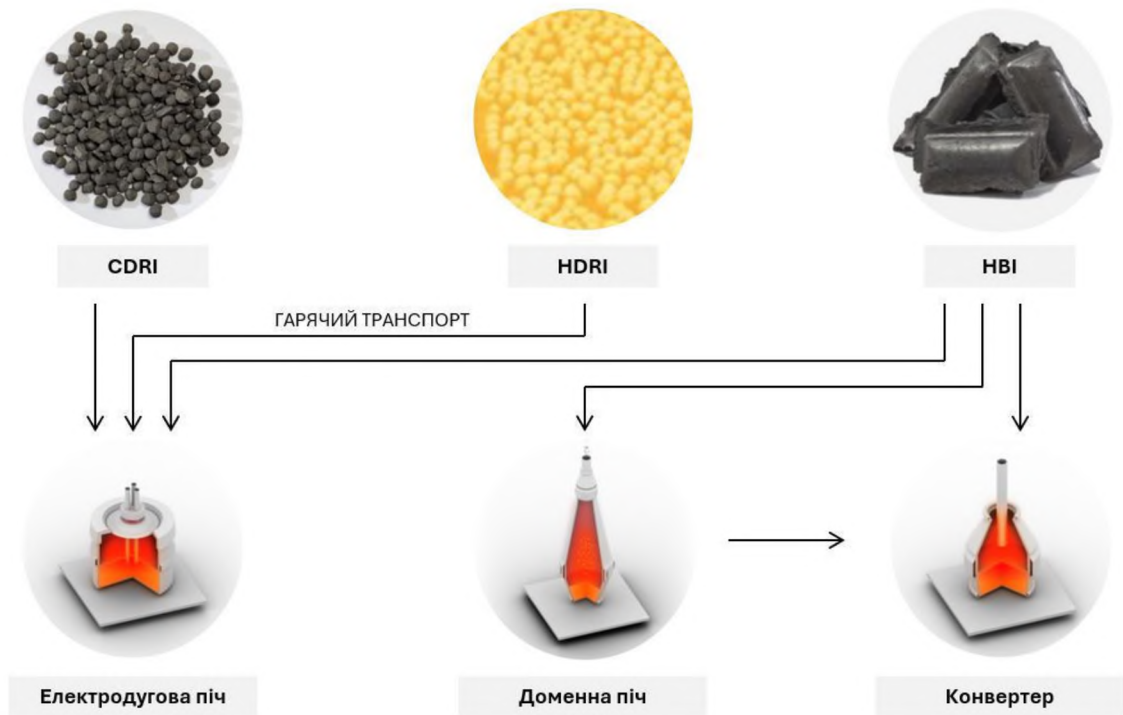


Рисунок 7.2 – Застосування DRI у сталеплавильному виробництві

Таблиця 7.1 – Типи DRI

Тип продукту	Опис та форма	Логістика та зберігання	Застосування та переваги
CDRI (Cold DRI – Холодне залізо прямого відновлення)	Металізовані окатиші, що охолоджуються перед вивантаженням з шахтної печі.	Обмежена логістика. Придатний для використання поблизу місця виробництва (залізниця). Не рекомендовано для морських перевезень (ризик окислення).	Сировина для ЕДП. Забезпечує стабільну якість металу з низьким вмістом домішок. Дозволяє контролювати спінювання шлаку.
HDRI (Hot DRI – Гаряче залізо прямого відновлення)	Продукт вивантажується гарячим (600-700°C) безпосередньо з печі відновлення без охолодження.	Внутрішньозаводська логістика. Транспортується гарячим безпосередньо до плавильного агрегату	Оптимізація ЕДП. Економить електроенергію (не треба гріти з нуля) та суттєво підвищує продуктивність печі.
HBI (Hot Briquetted Iron – Гаряче-брикетоване залізо прямого відновлення)	Преміальна форма DRI. Гарячий матеріал спресовується у щільні брикети під високим тиском.	Глобальна логістика. Промисловий стандарт для експорту та морських перевезень. Висока щільність, низька реакційна здатність.	Універсальність: - ЕДП: висока якість. - ДП: зниження витрат коксу (до 30%). - Конвертер: чистий охолоджувач замість брукху.

7.2 Економічні та екологічні переваги інтеграції DRI (HBI)

Інтеграція DRI/HBI у виробничий ланцюг машинобудування перестала бути суто іміджевим кроком і перетворилася на жорстку економічну необхідність. Головним збудником змін виступає незворотна трансформація глобальної податкової політики щодо викидів та пряма різниця у собівартості сировини.

Введення механізму транскордонного вуглецевого регулювання (CBAM – Carbon Border Adjustment Mechanism) створює пряму фінансову загрозу для машинобудівних підприємств, що використовують сталь, виплавлену традиційним коксо-доменним методом.

Аналіз динаміки вуглецевого навантаження до 2035 року демонструє критичне зростання витрат для "брудної" металургії:

- Частка безкоштовних квот на викиди (Free allocation) стрімко падатиме – з поточних 80% до 62% у 2029 році та до повної відміни (0%) у перспективі 2035 року.
- Зростання ціни на CO₂: Прогнозується ріст вартості емісії з поточних ~70 €/т до 101 €/т.

Враховуючи поточний рівень викидів CO₂ при виробництві DRI у 0,5 т/т та значним потенціалом до зниження прямих викидів до нуля, при використанні «зеленого» водню у якості відновника, впровадження заліза прямого відновлення у металургію та машинобудування спроможне значною мірою знизити генерацію парникових газів підприємствами.

Додатковим рушієм реструктуризації технологічного маршруту світової металургії виступатиме збільшення податку на викиди CO₂ з поточних 70 €/т до 101 €/т у 2029. Таким чином, економія лише на вуглецевому податку при використанні HBI замість чавуну складатиме понад 100 €/т у 2029 році та майже 179 €/т у 2035 році. Ігнорування цього фактору зробить продукцію машинобудування з традиційної сталі неконкурентоспроможною на ринках ЄС та США.

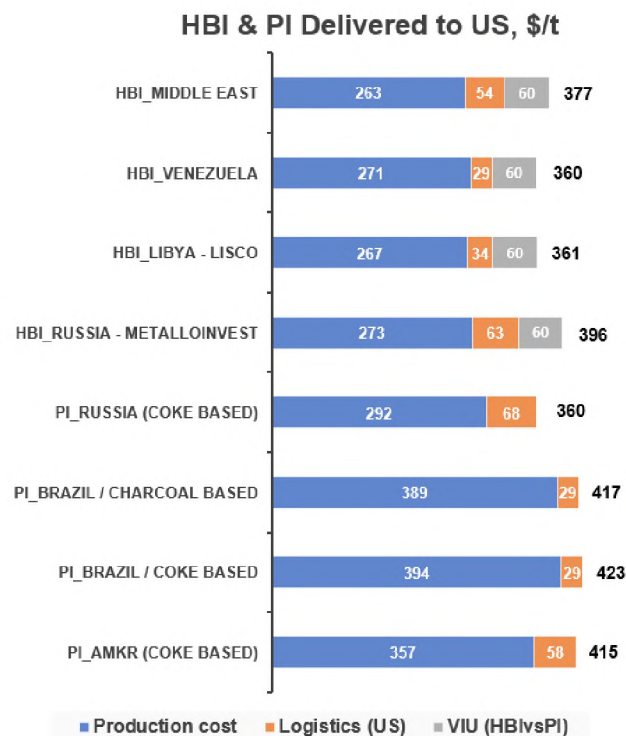


Рисунок 7.3 – Аналіз ринку HBI та чушкового чавуну

Окрім уникнення екологічних штрафів, використання НВІ є економічно вигідним вже на етапі закупівлі сировини, що підтверджується аналізом ринку на рисунку 7.3.

Виробництво НВІ у регіонах з доступним природним газом (Близький Схід, Венесуела, Лівія) демонструє собівартість на рівні 263–273 \$/т. Натомість, виробництво чушкового чавуну (PI) є значно дорожчим: від 292 \$/т до 394 \$/т.

Навіть з урахуванням логістики, повна вартість НВІ для споживача залишається нижчою або конкурентною порівняно з чавуном. Крім того, НВІ має вищий показник VIU (технологічна цінність використання) — близько 60 \$/т. Це означає, що використання НВІ в електропечі дозволяє заощаджувати на енергоносіях, електродах та часі плавки порівняно з переплавною брукту чи чавуну.

Отже, перехід на DRI/НВІ забезпечує машинобудівникам подвійний вииграш: зниження базової вартості заготовки сьогодні та страхування від екологічних мит у найближчому майбутньому.

7.3 Розрахунок економічного впливу на собівартість виготовлення «Вал-шестерні»

Виходячи із розрахунку собівартості виробництва деталі «Вал-шестерня», наведеному у пункті 6.3, можна дійти висновку, що найбільшими вплив (79%) має вартість заготовки (рисунок 7.4). Що у свою чергу на 75% складається із витрат на закупівлю легованого сталюого прокату.



Рисунок 7.4 – Розподіл собівартості виробництва вал-шестерні

Провівши дослідження ринку металопрокату та сировини, розробимо укрупнену розбиття собівартості виробництва легованого сталюого прокату, приймаючи ринкову вартість прокату зі ст. 34ХН1МА – 90 тис. грн/т та маржу металургійного підприємства 25%.

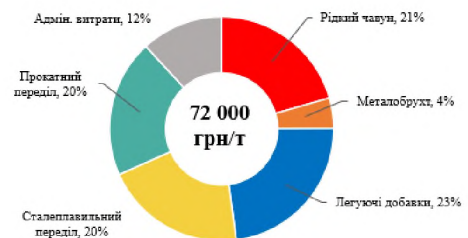
Основними статтями витрат виробництва прокату доменно-конвертерним методом виступають:

- 1) Виробництво сталюї заготовки
 - a. Вартість чавуну
 - b. Вартість металобрухту та легуючих добавок
 - c. Витрати сталеплавильного переділу
- 2) Витрати на прокатний переділ
- 3) Загальнозаводські та адміністративні витрати

Вартість прокату ст. 34ХН1МА (BF-BOF)

Статті витрат	Кіл-ть, т/т	Ціна, грн/т	Сумма, грн/т	% від с/вартості
Сталюа заготовка			49 209	68%
рідкий чавун	0.88	16 800	14 787	21%
металобрухт	0.24	13 200	3 172	4%
легуючі добавки (Ni, Cr, Mo)	0.05	331 000	16 550	23%
витрати сталеплавильного переділу	-	-	14 700	20%
Витрати прокатного переділу			14 291	20%
Загальнозаводські та адмін. витрати			8 500	12%
Собівартість			72 000	100%
Маржа виробника			18 000	25%
Ринкова ціна			90 000	125%

Собівартість прокату



Вартість прокату ст. 34ХН1МА (HBI)

Статті витрат	Кіл-ть, т/т	Ціна, грн/т	Сумма, грн/т	% від с/вартості
Сталюа заготовка			45 776	64%
HBI	0.88	12 900	11 354	16%
металобрухт	0.24	13 200	3 172	4%
легуючі добавки (Ni, Cr, Mo)	0.05	331 000	16 550	23%
витрати сталеплавильного переділу	-	-	14 700	20%
Витрати прокатного переділу			14 291	20%
Загальнозаводські та адмін. витрати			8 500	12%
Собівартість			68 567	100%
Маржа виробника			17 142	25%
Ринкова ціна			85 709	119%
Зниження ринкової вартості прокату			4 291	5%
Зниження собівартості виробництва деталі "Вал-шестерня"			2 149	3%

Собівартість прокату

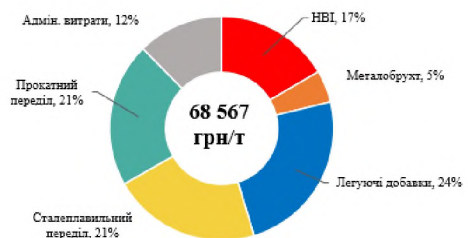


Рисунок 7.5 – Розрахунок економічного впливу

Виконуючи консервативне моделювання собівартості прокату із гарячебрикетованого заліза, шляхом заміни ціни чавуну на ціну HBI (рисунок 7.5), отримаємо зниження ринкової вартості прокату на 5% (4 291 грн/т), що призведе до економії у 3% від собівартості виробництва «Вал-шестерні» (2 149 грн/шт), або 2,15 млн. грн на рік при річному фонді виробництва у 1 000 шт.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній магістерській роботі було проведено комплексне дослідження технологічних процесів виготовлення деталі «Вал-шестерня» редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У. Було розроблено вдосконалений технологічний маршрут механічної обробки з використанням сучасного обладнання з ЧПК, спроектовано необхідне технологічне оснащення, створено керуючі програми у САМ-системі, а також виконано оцінку економічної ефективності впровадження новітніх металургійних технологій.

У першому розділі приведено технічне завдання та аналіз вихідних даних для деталі «Вал-шестерня» та редуктора повороту екскаватора. Визначено службове призначення машини та вузла, проаналізовано умови роботи деталі під значними динамічними навантаженнями та описано конструктивні особливості механізму повороту платформи.

У другому розділі спроектовано технологічний процес складання тихохідного вузла редуктора. Розроблено схему складання з переліком складових одиниць та визначено послідовність операцій. Виконано розрахунок розмірного ланцюга для забезпечення необхідного технологічного осевого зазору в лабіринтному ущільненні вузла.

Третій розділ присвячено технологічній підготовці виробництва, де обґрунтовано вибір матеріалу та методу отримання заготовки. Проведено аналіз технологічності конструкції деталі, розроблено маршрут обробки поверхонь та розраховано режими різання для основних операцій.

У четвертому розділі виконано моделювання та програмування операцій механічної обробки. Обґрунтовано вибір вертикально-фрезерного верстата з ЧПК HAAS VF 9/50 та ріжучого інструменту. У середовищі FeatureCAM розроблено стратегію фрезерування шліцьових пазів, створено керуючу програму та проведено симуляцію обробки для виключення колізій.

П'ятий розділ присвячено конструкторській підготовці виробництва, в рамках якої спроектовано верстатне налагодження. Для забезпечення базування та закріплення заготовки обрано поворотний стіл HAAS LT350 та спроектовано спеціальне пристосування, що дозволяє фіксувати деталь складної конфігурації.

У шостому розділі виконано організаційно-економічну підготовку виробництва та розглянуто питання охорони праці. Розраховано необхідну кількість обладнання та персоналу, визначено площу ділянки та повну собівартість виготовлення деталі. Проведено аналіз чутливості собівартості до зміни обсягів виробництва.

					<i>КНУ.КМР.131.25.1-03.B</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Бутацький</i>			<i>Висновки</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечасів</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>					
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
							<i>Аркушів</i>
							103
							105
						<i>зр. ПМ-24м</i>	

Сьомий розділ розкриває питання інтеграції сучасних металургійних технологій у машинобудування. Проведено порівняльний аналіз традиційного методу виробництва сталі та методу прямого відновлення заліза (DRI/HBI). Розраховано економічний ефект від зниження вартості заготовки та екологічні переваги, пов'язані зі зменшенням вуглецевого сліду та податкових ризиків СВAM.

Загалом результати проведених досліджень підтвердили ефективність запропонованих технологічних та організаційних рішень. Розроблена документація, керуючі програми та економічні розрахунки доводять доцільність модернізації виробництва вал-шестерні, що дозволяє знизити собівартість продукції та підвищити її конкурентоспроможність.

					КНУ.КМР.131.25.1-03.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Хмызников К. П., Лыков Ю. В.: Механическое оборудование карьеров. Одноковшовые экскаваторы. – С-ПБ.: СПГТИ(ТУ) им. Плеханова, 2007
2. ТИ 189-КК-04:2015. Кантовка шлаковых чаш, разработка и отгрузка шлака и скрапа в шлаковых отделениях конвертерного цеха. На заміну ТИ 228-КК-04-2010 ; чинний від 2015-05-08. Вид. офіц. Кривий Ріг : ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг", 2015. 10 с.
3. ДСТУ 9182:2022 Поковки з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені куванням на пресах. Припуски і допуски. – К.: Держстандарт. Введений 01.09.2022
4. Методичні вказівки «Розмірний аналіз технологічних процесів» Цивінда Н.І. - Кривий Ріг: ДВНЗ КНУ, 2007.
5. ДСТУ ISO 286-1-2002. ДОПУСКИ І ПОСАДКИ ЗА СИСТЕМОЮ ISO. Чинний від 2003-10-01. Вид. офіц. Київ : ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2002. 29 с.
6. Стислий довідник «Допуски і посадки» - Кривий Ріг: ДВНЗ КНУ, 2007.
7. ДСТУ 9182:2022. Поковки з вуглецевої і легованої сталі, виготовлені куванням на пресах. Припуски і допуски. На заміну ГОСТ 7062-90 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. ДП «УкрНДНЦ», 2022.
8. Haas Automation Inc. | CNC Machine Tool Company. Haas Automation Inc. | CNC Machine Tool Company. URL: <https://www.haascnc.com/uk.html#gsc.tab=0> (дата звернення: 20.10.2025).
9. Фрезерування : Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 626 с.
10. Токарна обробка : Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 632 с.
11. Обробка отворів : Кат. та техн. керівництво. SECO, 2015. 628 с.
12. Абразивний інструмент : Кат. Luga Abrasive, 2015. 298 с.
13. Дальский А. М., Суслов А. Г. Справочник технолога машиностроителя : Справочное издание / ред.: И. Жесткова, П. Клейзер. 2-ге вид. Москва : "Издательство Машиностроение-1", 2003. 943 с.
14. Допоміжний інструмент : Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020.1. 422 с.
15. ДСТУ ISO 2540:2018. Свердла центрувальні для свердління центрових отворів із запобіжною фаскою. На заміну ДСТУ ГОСТ 14034:2008 ; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. 2018.
16. WIMMER G., VORABERGER B. Breakthrough Pathways to Decarbonize the Steel Sector. December 2022. Mitsubishi Heavy Industries Technical Review Vol. 59 No. 4.
17. Direct Reduced Iron. MIDREX. URL: <https://www.midrex.com/direct-reduced-iron/> (дата звернення: 25.11.2025).

					КНУ.КМР.131.25.1-03.СВД		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Бутувський					
Перевір.		Нечасів					
Н. Контр.		Нечасів					
Затверд.		Рязанцев					
					СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
					Лит.	Арк.	Аркушів
						105	105
					зр. ПМ-24м		

ДОДАТОК А

					КНУ.КМР.131.25.1-03.Д				
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Бутівський			Додаток А	Літ.		Арк.	Аркушів
Перевір.		Нечасів						1	
						зр. ПМ-24м			
Н. Контр.		Нечасів							
Затверд.		Рязанцев							

Річний фонд виготовлення 1000 шт/рік

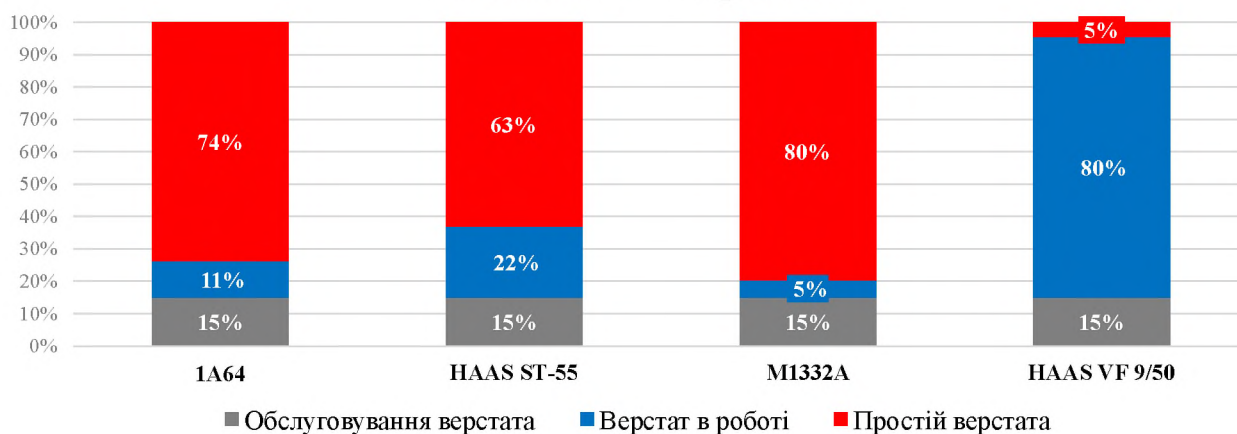
Модель верстату	Тшт.к.	Тр	Sp	Spр	Завантаження верстата	Rp	Rпр
	хв	хв	шт	шт	%	чол	чол
1A64	26.8	26 846	0.13	1	13%	0.12	1
HAAS ST-55	52.5	52 540	0.26	1	26%	0.24	1
M1332A	12.8	12 767	0.06	1	6%	0.06	1
HAAS VF 9/50	387.4	387 433	1.89	2	95%	1.74	2
Середнє					46.84%		5

Категорія службовців	Всього	ф % відношення від кількості основних працюючих	По змінам
Виробничі працівники	5		5
Складальники	2		2
Допоміжні	Налагоджувальник	1	1
	Крановщик	1	1
	Контролер ВТК	1	1
МОП	1	14%	1
ІТП	1	14%	1
Всього	12		12

Модель верстату	Кіл-ть верстатів	Верстат в роботі		Обслуговування верстата		Простій верстата	
		год	%	год	%	год	%
1A64	1	447	11%	602	15%	2965	74%
HAAS ST-55	1	876	22%	602	15%	2537	63%
M1332A	1	213	5%	602	15%	3200	80%
HAAS VF 9/50	2	3229	80%	602	15%	184	5%

Дійсний річний фонд роботи верстата 4015 год

Завантаження верстатів



Курс 42 грн/дол

Річний фонд виготовлення

шт/рік

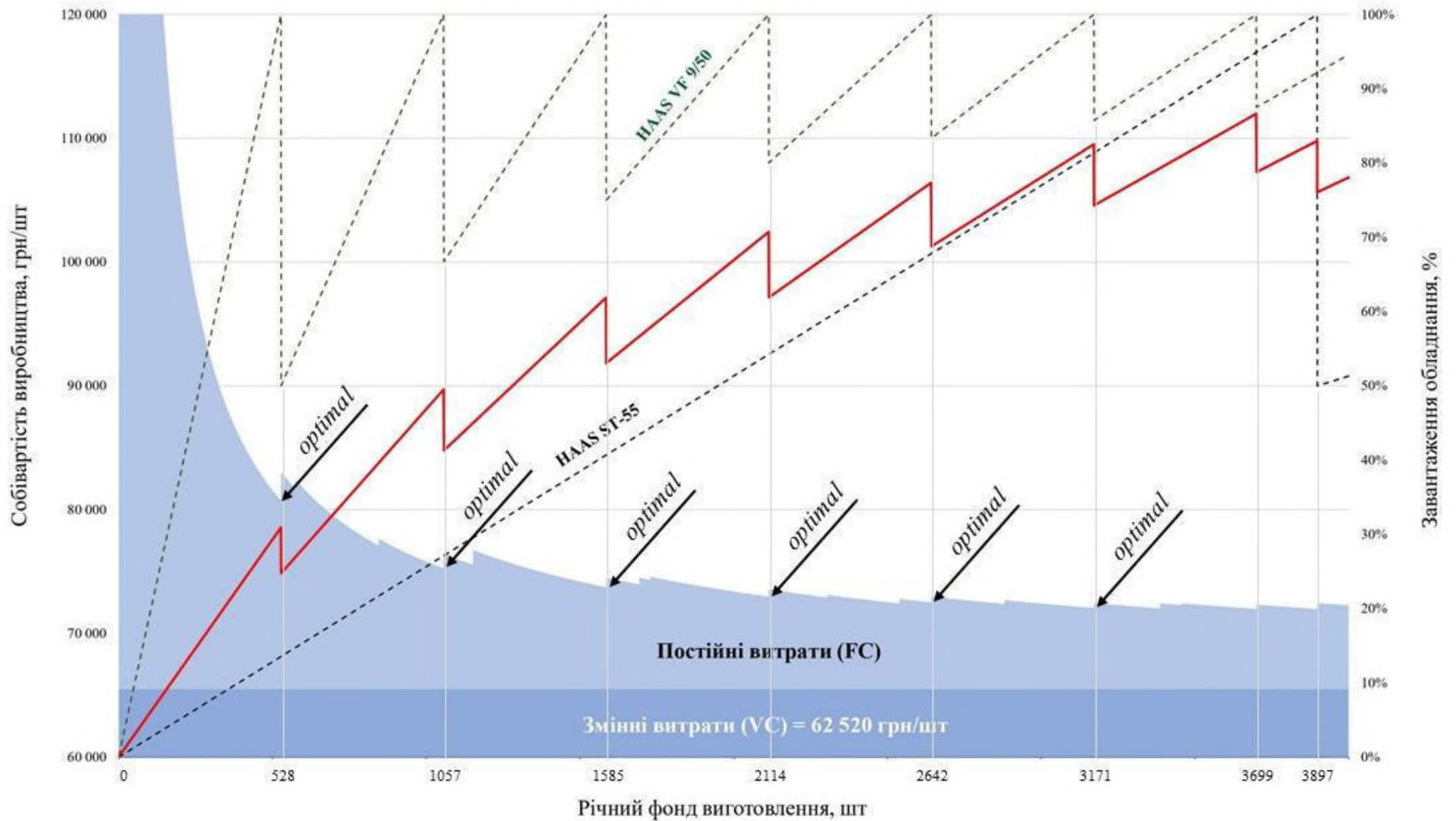
1000

№	Статті витрат	Од.Вим.	Значення
1	Вартість заготовки	грн	60 114
1.1	Матеріали	грн	45 085
1.1.1	сталевий прокат	т	0.50
1.1.2	вартість прокату (ст. 34ХН1МА)	грн/т	90 000
1.2	Обробка	грн	15 028
2	Оплата працівників механічного цеху	грн	5 544
2.1	Кількість працівників	чол.	12
2.2	Рекомендована ЗВНП (ТСОЕ)	\$/рік	11 000
2.2.1	з/п до вирахування податків	грн/міс	30 000
2.2.2	ЄСВ (22%)	грн/міс	6 600
2.2.3	Інші витрати (6%)	грн/міс	1 900
3	Енергоресурси дільниці	грн	1 606
3.1	Електроенергія	грн	1 106
3.1.1	споживання верстатів	кВт*год	188.15
3.1.2	ціна електроенергії для підприємств	грн/кВт*год	5.88
3.2	Інші (вода, стиснене повітря, опалення)	грн	500
4	Розхідні матеріали	грн	4 000
5	Амортизація обладнання	грн	3 032
5.1	Вартість основного обладнання	млн.грн	30.32
5.1.1	Ціна 1А64	млн.грн	0.40
5.1.2	Кількість 1А64	шт	1
5.1.3	Ціна HAAS ST-55	млн.грн	12.22
5.1.4	Кількість HAAS ST-55	шт	1
5.1.5	Ціна ANTISHICNC M1332A	млн.грн	1.26
5.1.6	Кількість ANTISHICNC M1332A	шт	1
5.1.7	Ціна HAAS VF 9/50	млн.грн	8.22
5.1.8	Кількість HAAS VF 9/50	шт	2
5.2	Річна ставка амортизації	%	10
6	Обслуговування та ремонт	грн	1 516
Собівартість виробництва			грн/шт 75 812
	FC	14%	10 292
	VC	86%	65 520

Собівартість виробництва, грн



Аналіз чутливості собівартості виробництва



Критичні точки (збільшення кількості верстатів)

N шт	С/в грн/шт	HAAS VF 9/50		HAAS ST-55		Всі верстати	
		шт	%	шт	%	шт	%
529	83 050	2	50%	1	14%	5	25%
1058	76 424	3	67%	1	27%	6	41%
1586	74 512	4	75%	1	41%	7	53%
2115	73 551	5	80%	1	54%	8	62%
2643	72 978	6	83%	1	68%	9	69%
3172	72 447	7	86%	1	81%	10	74%
3700	72 320	8	88%	1	95%	11	79%
3898	72 455	8	92%	2	50%	12	76%

Точки, що передують критичним (оптимуми)

N шт	С/в грн/шт	HAAS VF 9/50		HAAS ST-55		Всі верстати	
		шт	%	шт	%	шт	%
528	80 748	1	100%	1	14%	4	30.9%
1057	75 268	2	100%	1	27%	5	49.5%
1585	73 740	3	100%	1	41%	6	61.9%
2114	72 972	4	100%	1	54%	7	70.7%
2642	72 514	5	100%	1	68%	8	77.3%
3171	72 061	6	100%	1	81%	9	82.5%
3699	71 989	7	100%	1	95%	10	86.6%
3897	71 987	8	92%	1	100%	11	83.0%

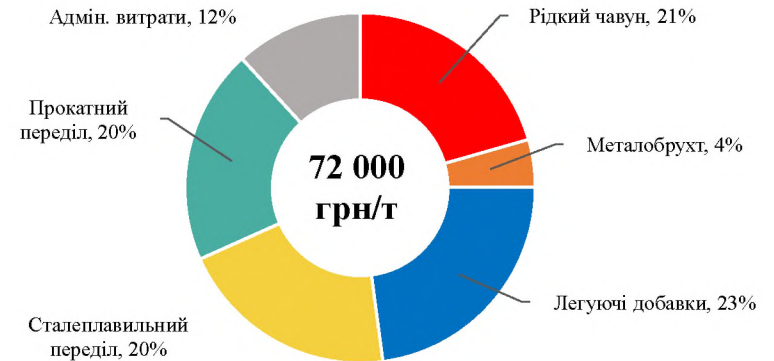
Курс 42 грн/дол

Річний фонд виготовлення		шт/рік	1000	1585	585	59%
№	Статті витрат	Од.Вим.	Значення	Значення	Різниця	
1	Вартість заготовки	грн	60 114	60 114	-	-
1.1	Матеріали	грн	45 085	45 085	-	-
1.1.1	стальний прокат	т	0.50	0.50	-	-
1.1.2	вартість прокату (ст. 34XH1MA)	грн/т	90 000	90 000	-	-
1.2	Обробка	грн	15 028	15 028	-	-
2	Оплата працівників механічного цеху	грн	5 544	4 372	-1 172	-21%
2.1	Кількість працівників	чол.	12	15	3	25%
2.2	Рекомендована ЗВНП (ТСОЕ)	\$/рік	11 000	11 000	-	-
2.2.1	з/п до вирахування податків	грн/міс	30 000	30 000	-	-
2.2.2	ЄСВ (22%)	грн/міс	6 600	6 600	-	-
2.2.3	Інші витрати (6%)	грн/міс	1 900	1 900	-	-
3	Енергоресурси дільниці	грн	1 606	1 606	-	-
3.1	Електроенергія	грн	1 106	1 106	-	-
3.1.1	споживання верстатів	кВт*год	188.15	188.15	-	-
3.1.2	ціна електроенергії для підприємств	грн/кВт*год	5.88	5.88	-	-
3.2	Інші (вода, стиснене повітря, опалення)	грн	500	500	-	-
4	Розхідні матеріали	грн	4 000	4 000	-	-
5	Амортизація обладнання	грн	3 032	2 432	-600	-20%
5.1	Вартість основного обладнання	млн.грн	30.32	38.54	8	27%
5.1.1	Ціна 1A64	млн.грн	0.40	0.40	-	-
5.1.2	Кількість 1A64	шт	1	1	-	-
5.1.3	Ціна HAAS ST-55	млн.грн	12.22	12.22	-	-
5.1.4	Кількість HAAS ST-55	шт	1	1	-	-
5.1.5	Ціна ANTISHICNC M1332A	млн.грн	1.26	1.26	-	-
5.1.6	Кількість ANTISHICNC M1332A	шт	1	1	-	-
5.1.7	Ціна HAAS VF 9/50	млн.грн	8.22	8.22	-	-
5.1.8	Кількість HAAS VF 9/50	шт	2	3	1	50%
5.2	Річна ставка амортизації	%	10	10	-	-
6	Обслуговування та ремонт	грн	1 516	1 216	-300	-20%
Собівартість виробництва		грн/шт	75 812	73 740	-2 072	-3%
FC			10 292	8 220	-2 072	-20%
VC			65 520	65 520	-	-

Вартість прокату ст. 34XH1MA (BF-BOF)

Статті витрат	Кіл-ть, т/т	Ціна, грн/т	Сумма, грн/т	% від с/вартості
Стальна заготовка			49 209	68%
рідкий чавун	0.88	16 800	14 787	21%
металобрухт	0.24	13 200	3 172	4%
легуючі добавки (Ni, Cr, Mo)	0.05	331 000	16 550	23%
витрати сталеплавильного переділу	-	-	14 700	20%
Витрати прокатного переділу			14 291	20%
Загальнозаводські та адмін. витрати			8 500	12%
Собівартість			72 000	100%
Маржа виробника			18 000	25%
Ринкова ціна			90 000	125%

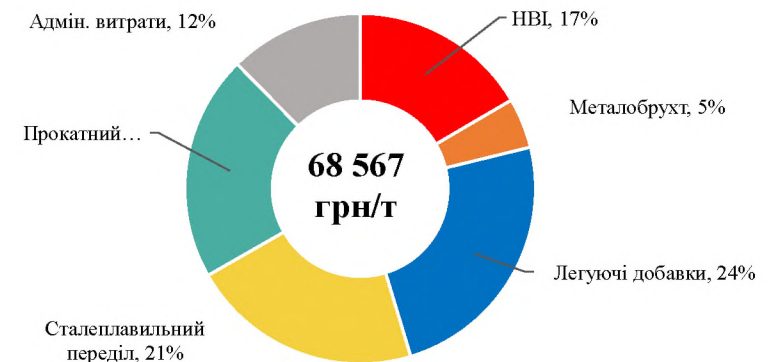
Собівартість прокату



Вартість прокату ст. 34XH1MA (HBI)

Статті витрат	Кіл-ть, т/т	Ціна, грн/т	Сумма, грн/т	% від с/вартості
Стальна заготовка			45 776	64%
HBI	0.88	12 900	11 354	16%
металобрухт	0.24	13 200	3 172	4%
легуючі добавки (Ni, Cr, Mo)	0.05	331 000	16 550	23%
витрати сталеплавильного переділу	-	-	14 700	20%
Витрати прокатного переділу			14 291	20%
Загальнозаводські та адмін. витрати			8 500	12%
Собівартість			68 567	100%
Маржа виробника			17 142	25%
Ринкова ціна			85 709	119%

Собівартість прокату



Зниження ринкової вартості прокату	4 291	5%
Зниження собівартості виробництва деталі "Вал-шестерня"	2 149	3%

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: Розробка інноваційних процесів конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі "Вал-шестерня" редуктора повороту екскаватора ЕКГ-5А-У з використанням CAD/CAM систем

Виконав магістрант гр. ПМ-24м

(підпис)

Бутовський Д.В.

Керівник КМР

(підпис)

Нечаєв В.П.

Нормоконтроль

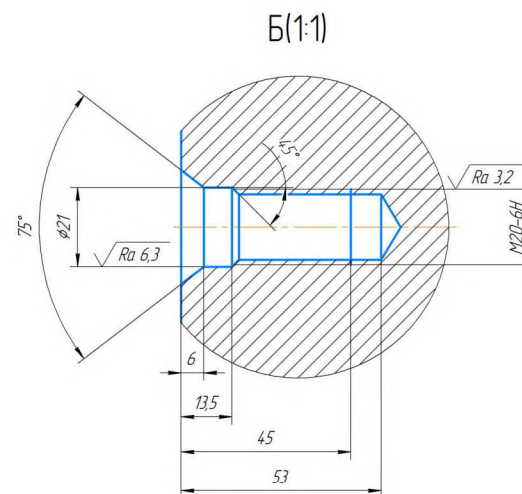
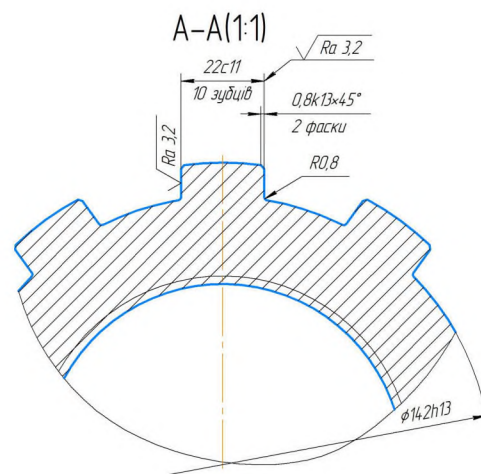
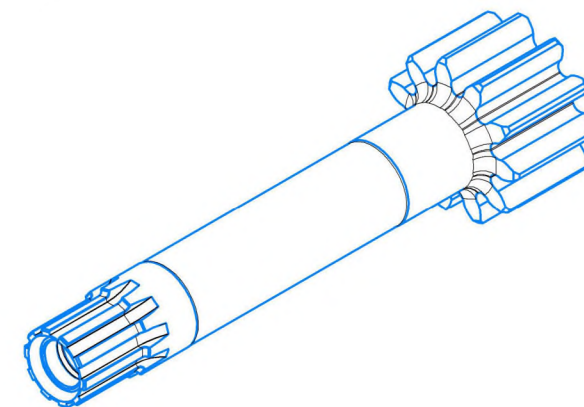
(підпис)

Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

(підпис)

Рязанцев А.О.



- 4 Невказані граничні відхилення розмірів: $H14, h14, \pm \frac{IT14}{2}$

					КНУ.КМР.131.25.1-03.ВШ				
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вал-шестерня		Лист	Масса	Масштаб	
Разработ.	Бутаковский					И	295,37	1:4	
Пров.	Нечасов					Лист		Листов	1
Т.контр.						Сталь 34ХН1МА ДСТУ 9182:2022			
Н.контр.	Нечасов			Корректур		Зр. ПМ-24м			
Утв.	Рязанцев					Формат А2			

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инв. № дубл.

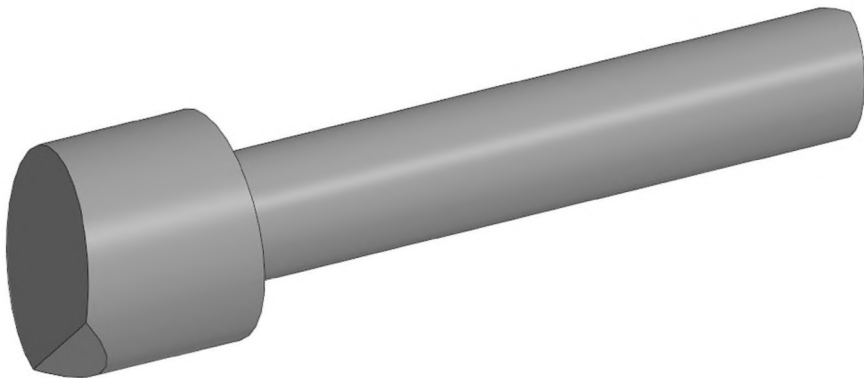
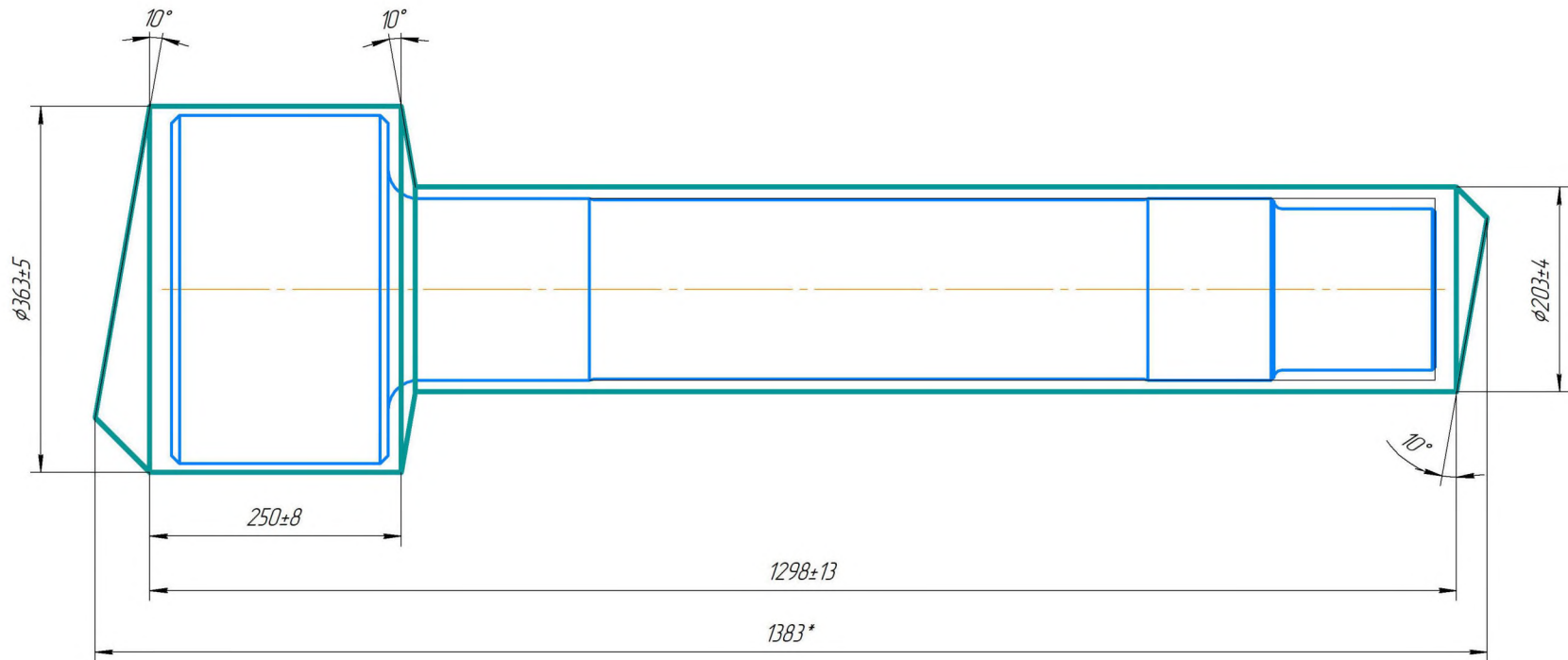
Взам. инв. №

Подп. и дата

Не для коммерческого использования

КНУ.КМР.131.25.1-03.ВШП

✓ Ra 12,5 (✓)



1 Гр. III HB 223-262 ДСТУ 9182:2022.

2 Невказані ухили 10°

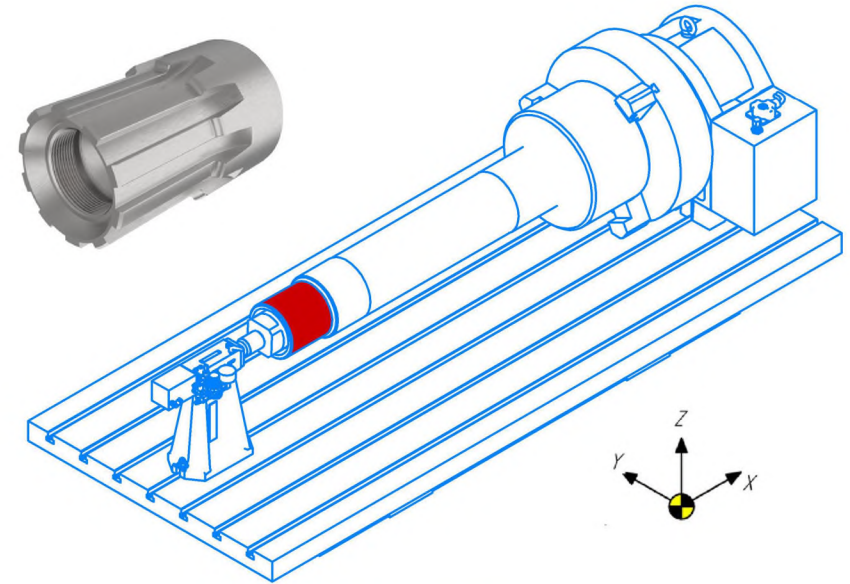
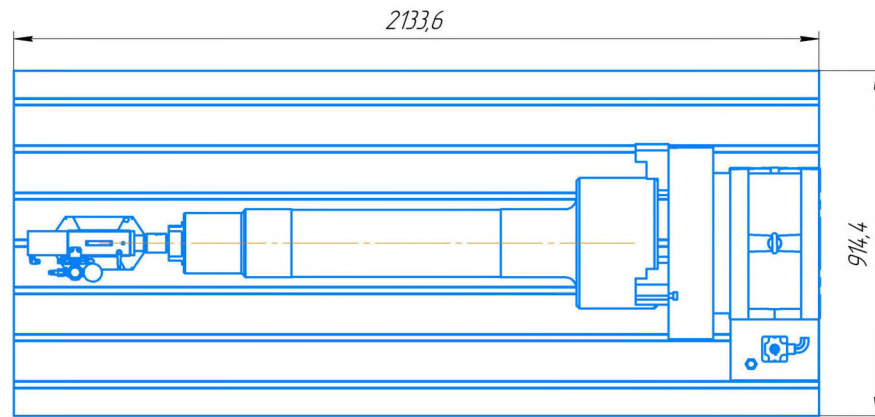
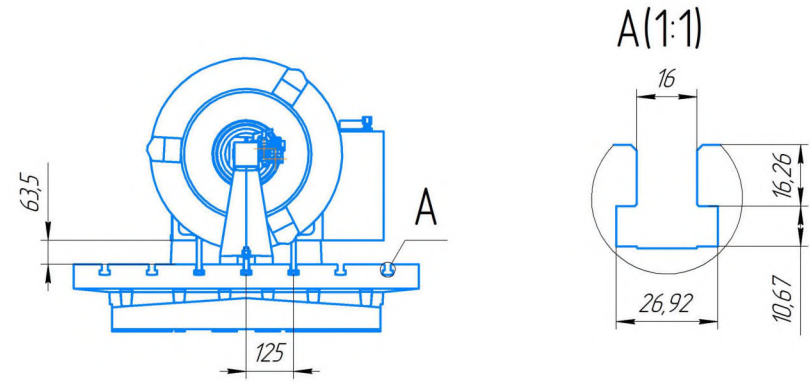
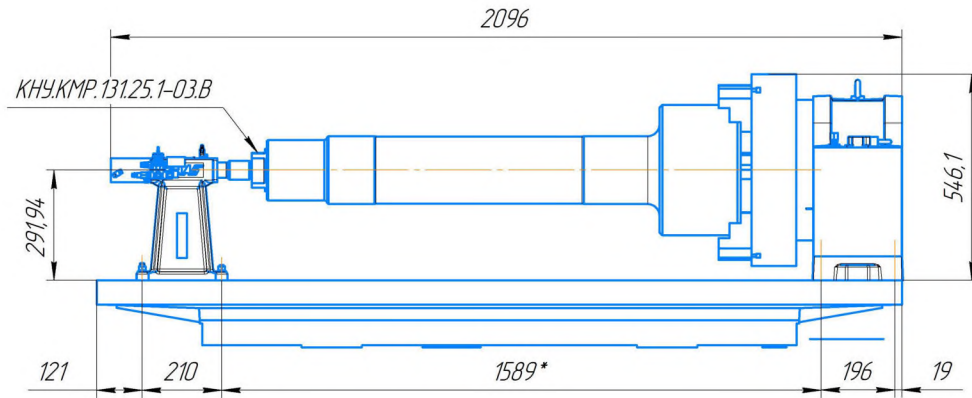
3 Розмір для довідок.

4 Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$

						КНУ.КМР.131.25.1-03.ВШП			
						Вал-шестерня (поковка)			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		Лит.	Масса	Масштаб	
Разраб.	Бутковский					Н	497,75	1:5	
Пров.	Нечаев								
Т.контр.						Лист	Листов	1	
Н.контр.	Нечаев					гр. ПМ-24М			
Утв.	Рязанцев					Сталь 34ХН1МА ДСТУ 9182:2022			

КНУ.КМР.131.25.1-03.ВН

Вертикально-фрезерный вертсат HAAS VF-9/50
Операция 065 – Фрезерування шліців

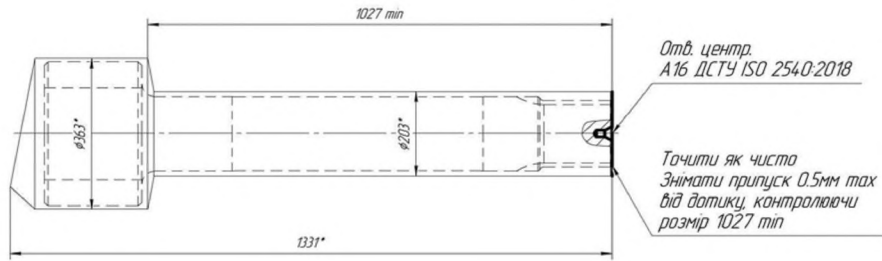


				КНУ.КМР.131.25.1-03.ВН		
				Верстатно-інструментальне налагоджування		
				Лист	Маса	Масштаб
				1	2	1:10
				зр. ПМ-24м		
				Копіював		
				Формат А2		

КМПАС-30 v22 Учебная версия © 2023 ООО "АКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.
Имя, № лист, Подп. и дата, Разр. Бутайский, Пров. Нечасов, Т.контр., И.контр. Утв. Рязанцев

030 Токарна
1А64

✓ Ra 12,5

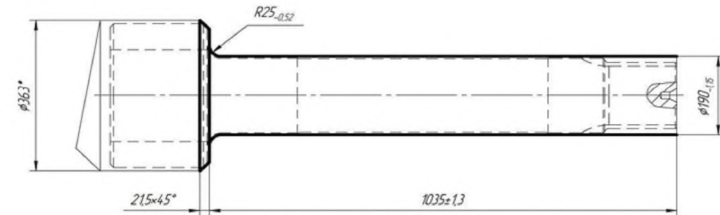


Ескіз 01

- *Розміри для довідок
- Гострі краї притупити фаскою 0,2...0,4x45°

035 Токарна
1А64

✓ Ra 12,5

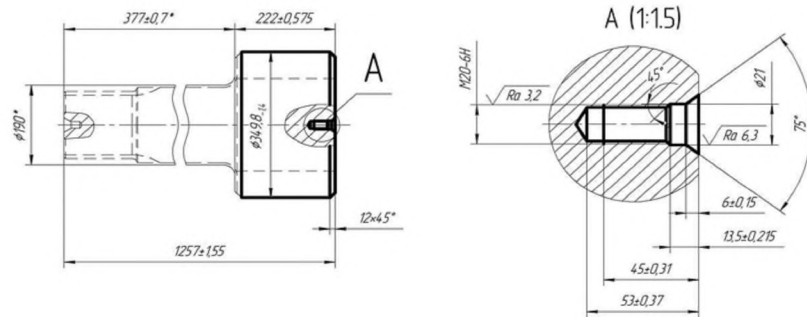


Ескіз 02

- *Розміри для довідок

040 Токарна
1А64

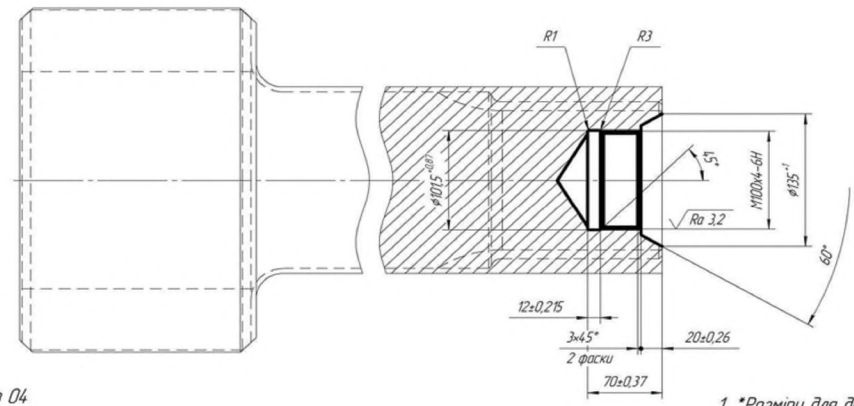
✓ Ra 12,5



Ескіз 03

045 Токарна
HAAS ST-55

✓ Ra 12,5

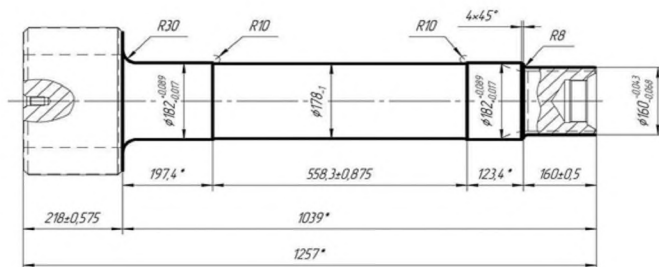


Ескіз 04

- *Розміри для довідок

050 Токарна
HAAS ST-55

✓ Ra 3,2



Ескіз 05

- *Розміри для довідок
- Точити поверхні як чисто

КНУ.КМР.131.25.1-03.ЕО				Лист	Масса	Масштаб
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н		1:1
Разраб.	Бутайський			Лист	1	Листов 2
Проб.	Нечасб			зр. ПМ-24м		
Т.контр.						
Н.контр.	Нечасб					
Утв.	Рязанцев					

Копировал

Формат А2

Лист 1

Стр. 1

Всего 1

Лист 1

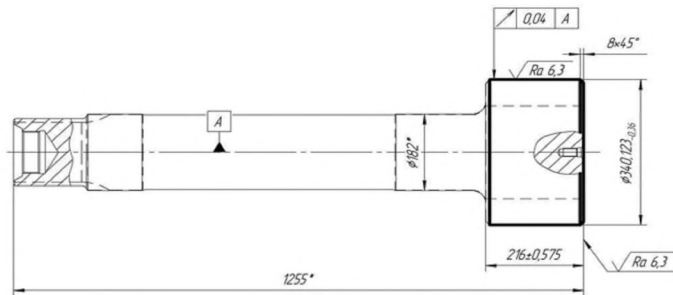
Стр. 1

Всего 1

Не для коммерческого использования

055 Токарна
HAAS ST-55

√ Ra 3,2

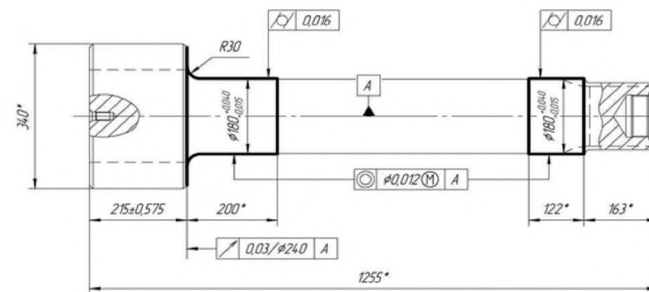


Ескиз 06

- *Розміри для довідок
- Точити поверхні як чисто

060 Шліфувальна
ANTISHINE M1332A

√ Ra 1,6

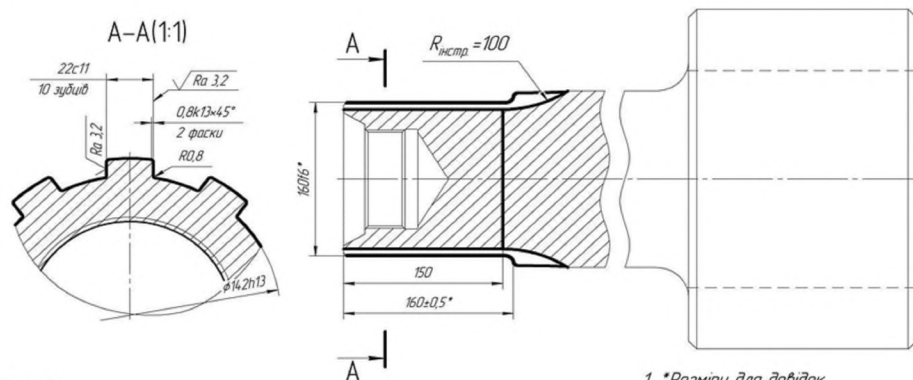


Ескиз 07

- *Розміри для довідок
- Шліфувати як чисто

065 Фрезерна
HAAS VF 9/50

√ Ra 3,2

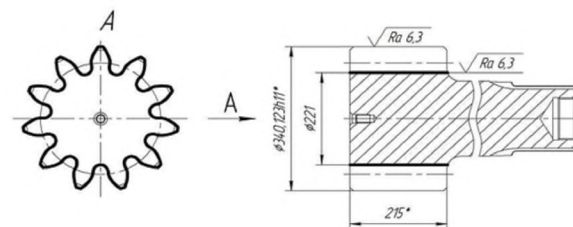


Ескиз 08

- *Розміри для довідок
- Фрезерувати як чисто

070 Фрезерна
HAAS VF 9/50

√ Ra 3,2



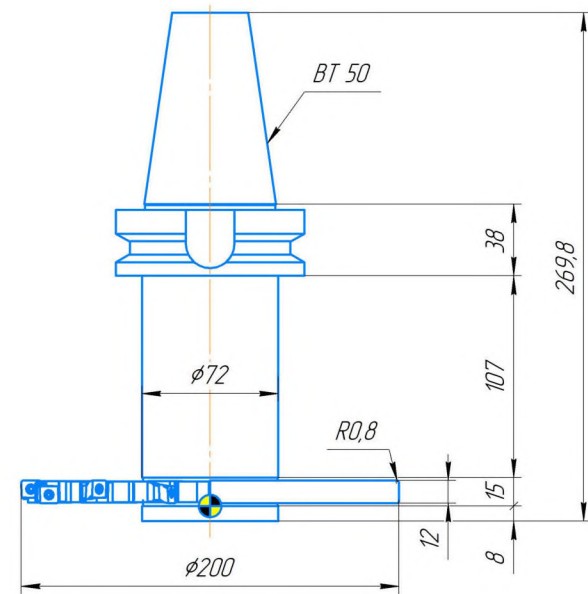
Ескиз 09

- *Розміри для довідок
- Фрезерувати як чисто

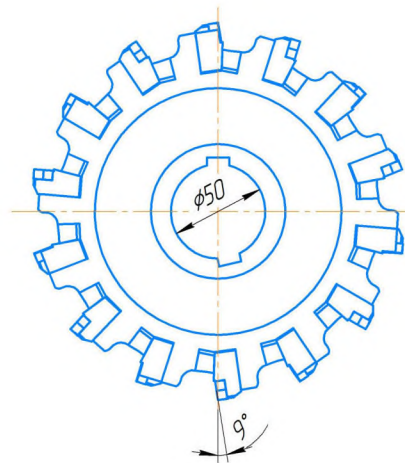
Модуль	m	26
Число зубців	z	11
Нормальний вихідний контур	-	ДСТУ 13755-2015
Коефіцієнт зміщення	x	+0.5
Ступінь точності за ДСТУ 1643-81	-	9-B
Довжина стіпльної нормалі	w	128.024 ^{+0.232} _{-0.442}
Дільний діаметр	d	286

Вертикально-фрезерний верстат HAAS VF-9/50
Операція 065 – Фрезерування шліців

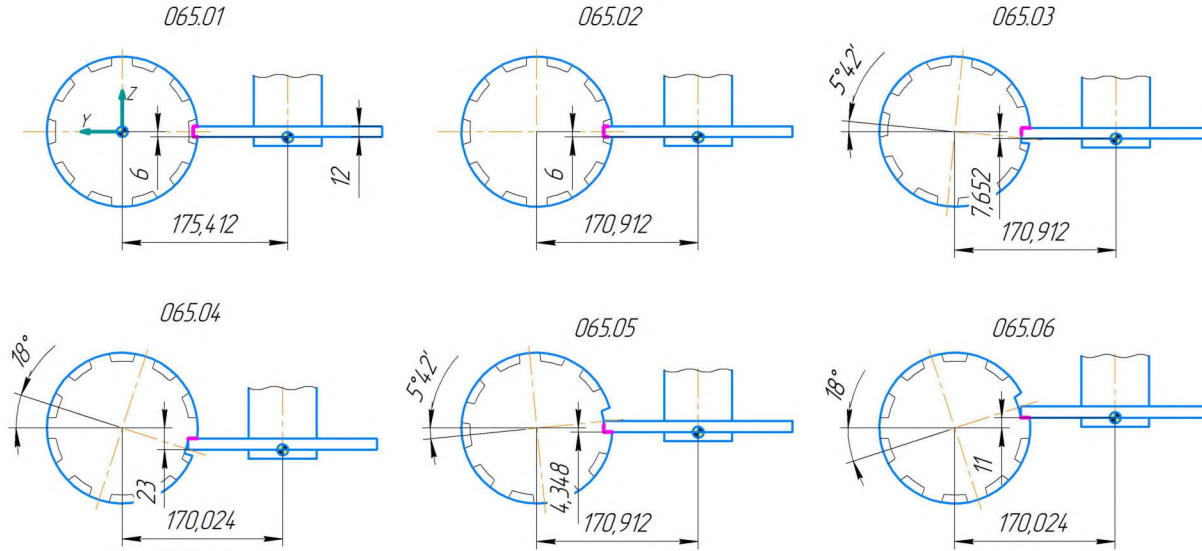
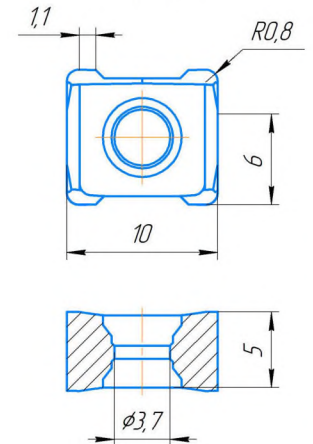
Оправка Monobloc BT JIS
E5766565750145



Дискова фреза
335.18-200.1012XL.50-7N



LNKT060508PPTN-M06
(4:1)



Оправка

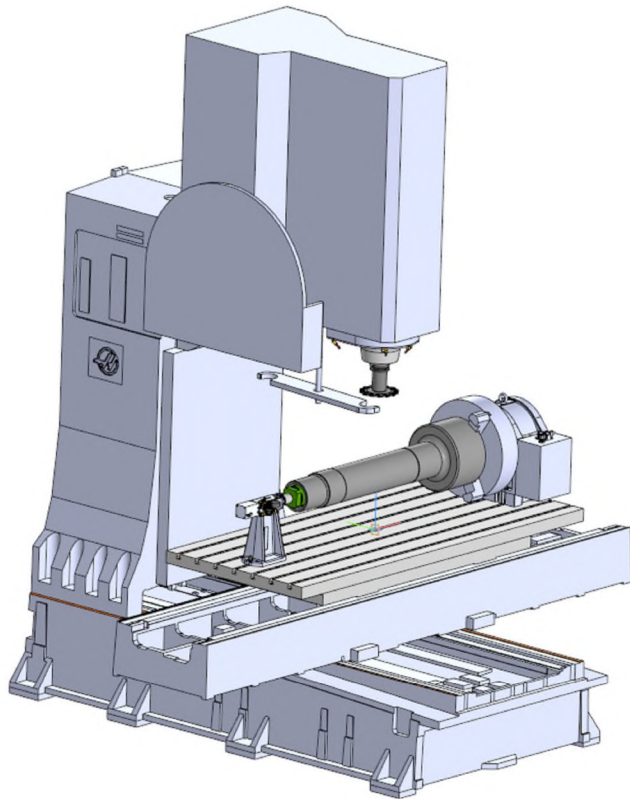
Шифр	E5766565750145
Конус	BT 50
Посадочный диаметр фрезы	50 мм
Вдстань від с.к. оправки до с.к. фрезы	145-177 мм
Вага	6.4 кг

Дискова фреза

Шифр	335.18-200.1012XL.50-7N
Диаметр	200 мм
Ширина	10-12 мм
Глубина різання	61 мм
R кромки	0.8 мм
Кількість зубів	14
γ	9°
Вага	16 кг

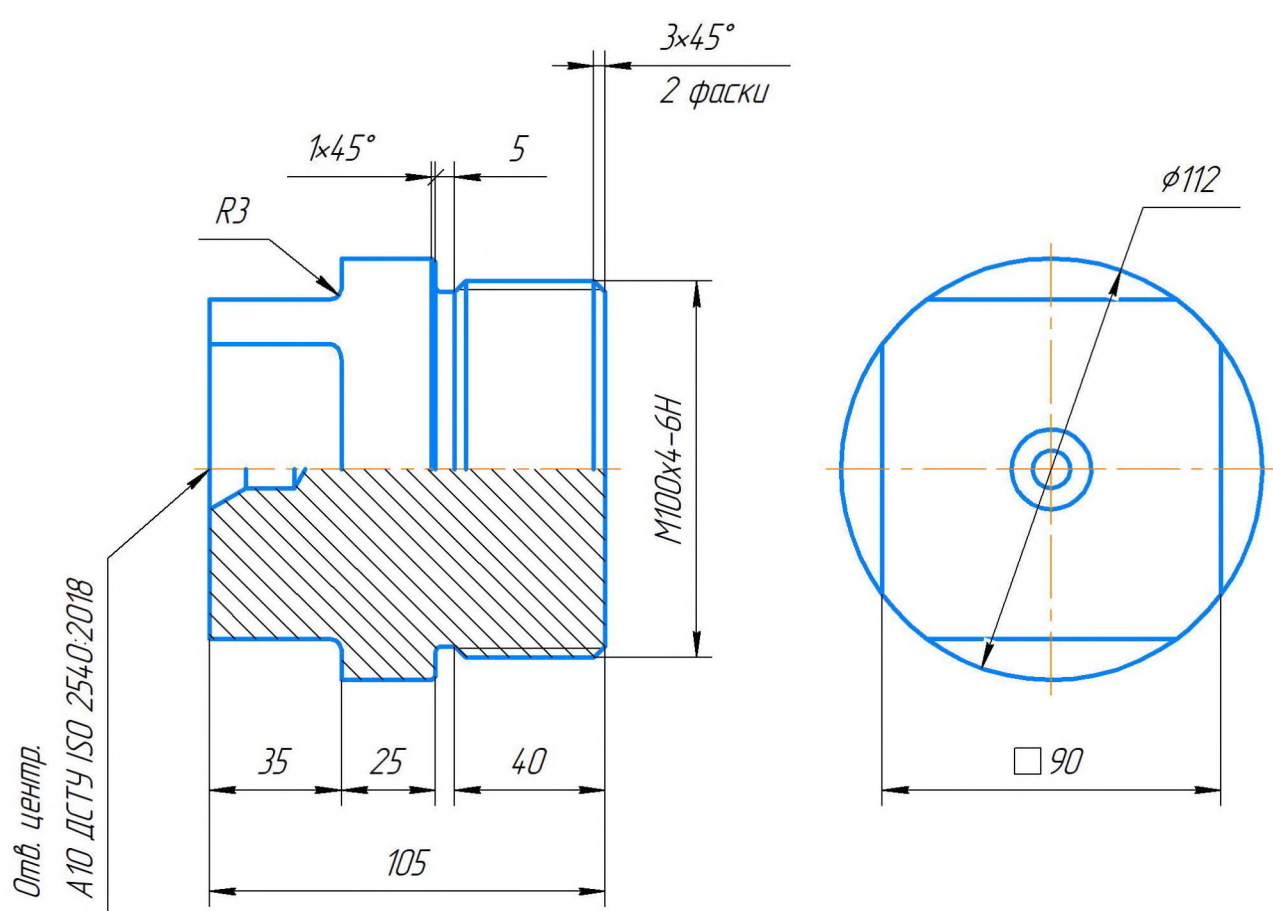
Ріжуча пластина

Шифр	LNKT060508PPTN-M06
Ширина	10 мм
γ	15°
α	0°



КНУ.КМР.131.25.1-03.В

✓ Ra 12,5 (✓)



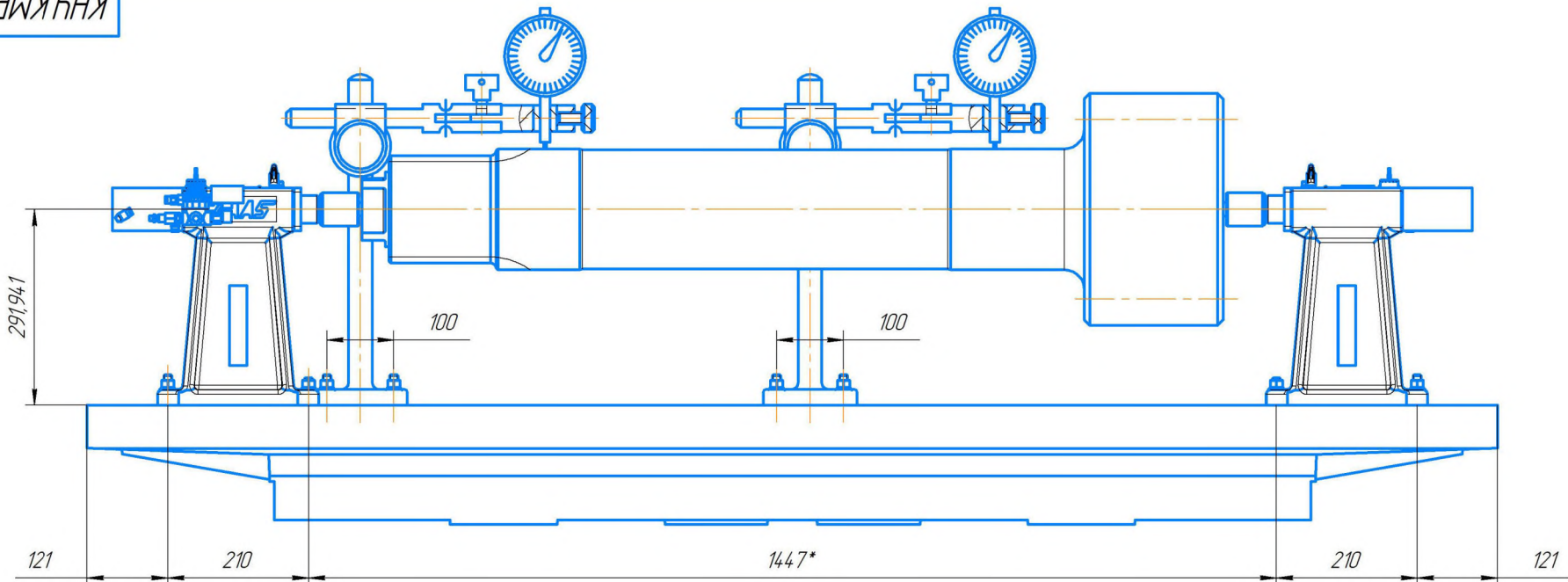
1 Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$

КОМПАС-3D v22 Учебная версия © 2023 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

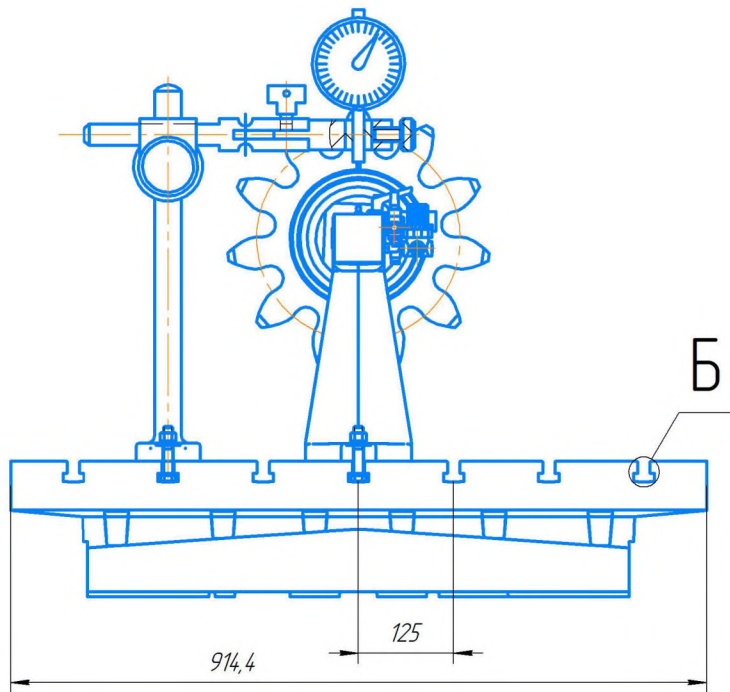
Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дудл.		Взам. инв. №		Инв. № подл.		Подп. и дата		Инв. № подл.	

КНУ.КМР.131.25.1-03.КП

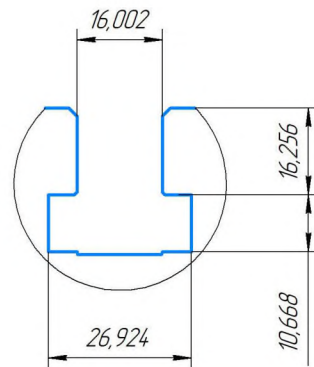
A



A

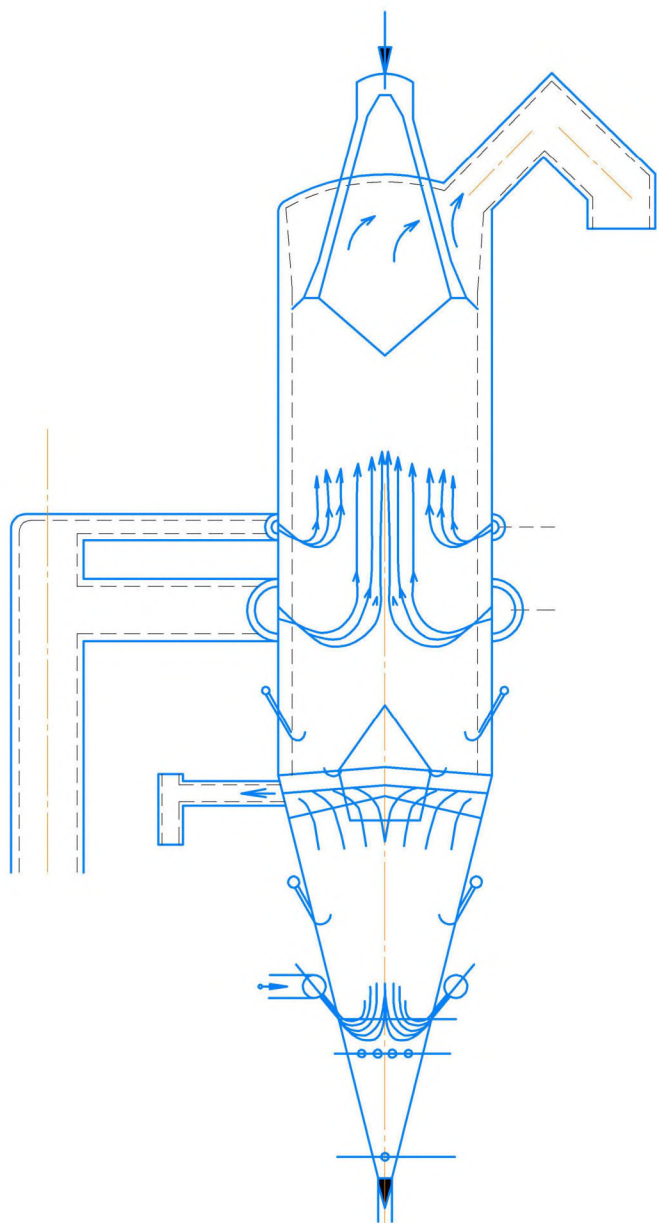


Б(1:1)

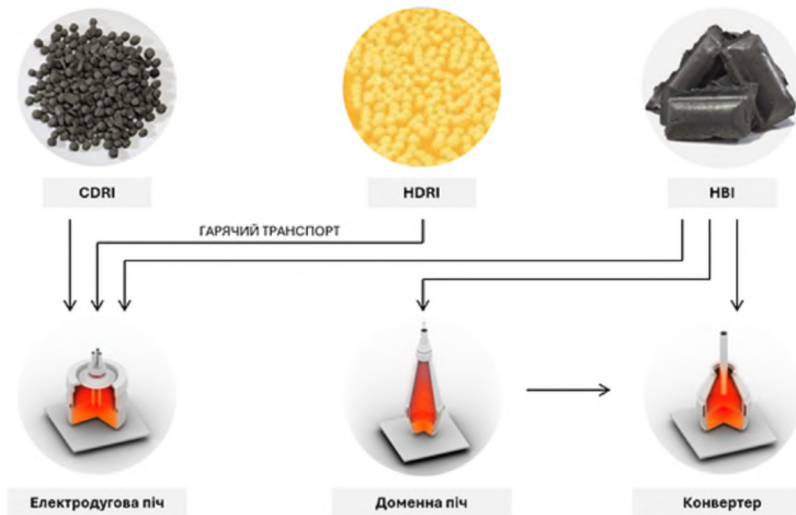


- 1 * Розміри для довідок
- 2 Точність вимірювання 0.001.
- 3 Відхилення від циліндричності не більше 0.016.

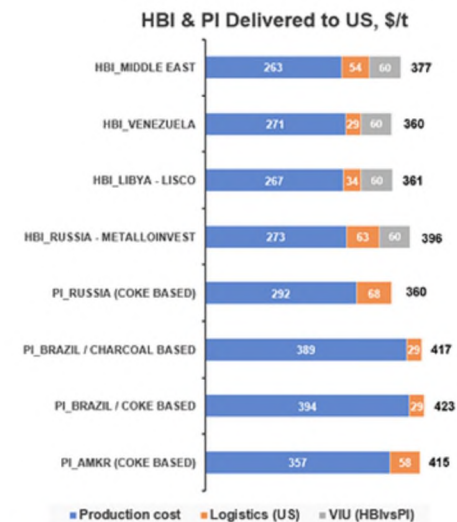
КНУ.КМР.131.25.1-03.КП				Контрольне пристосування		
Изм. / Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Бутковський			Н		1:5
Пров.	Нечаєв			Лист	Листов	1
Т.контр.				зр. ПМ-24м		
Н.контр.	Нечаєв			Копировал		
Утв.	Рязанцев			Формат А3		



Шахта печі прямого відновлення заліза (DRI)



Застосування DRI у сталеплавильному виробництві



Аналіз ринку HBI та чушкового чавуну

КНУ.КМР.131.25.1-03.НЧ				Лит.	Маса	Масштаб
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Н		1:1
Разр.	Бутацький			Наукова частина		
Проб.	Нечасів					
Т.контр.				Лист	Листов	1
Н.контр.	Нечасів			зр. ПМ-24м		
Утв.	Рязанцев					
Копіював				Формат А2		