

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктору конвеєрного приводу та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Горбатенко І.Д.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Рязанцев А.О.

Кривий Ріг
2026 р.

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

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктору конвеєрного приводу та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Ілля ГОРБАТЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2026 р.

Криворізький національний університет
Факультет: механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Ступінь вищої освіти: бакалавр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка

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

(дата)

(підпис)

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну бакалаврську роботу**

Здобувача групи ПМ-22 Іллі Дмитровича Горбатенка

1. Тема: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктору конвеєрного приводу та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

Керівник проєкту: доц., к.т.н. Рязанцев А.О.

Затверджена наказом по КНУ № _____ від «__» _____ 2026 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «__» _____ 2026 р.

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Проектування технологічного процесу обробки деталі. 4. Проектування технологічного оснащення. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Вал-шестерня. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Свердло-зенківка. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Креслення деталі (А1-А4).	18.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2026
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2026
8.	Технологічна підготовка виробництва виробу	12.04.2026
9.	Техніко-економічний аналіз вихідних даних для обробки деталі	19.04.2026
10.	Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій	25.04.2026
11.	Конструкторська підготовка виробництва	01.05.2026
12.	Проектування технологічного оснащення	04.05.2026
13.	Креслення верстатного та контрольного пристосування	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	22.05.2026
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2026
18.	Висновки	01.06.2026
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2026
20.	Попередній захист	15.06.2026

Дата видачі завдання: «____» _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти

/Горбатенко І.Д./

Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Лит.		Лист		Листов						
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание											Изм.		Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Лит.		Лист		Листов	
				Документація																												
A4		1	КНУ.КБР.131.26.1-03.ПЗ	Пояснювальна записка	59																											
				Креслення																												
A2		2	КНУ.КБР.131.26.1-03.ВЗ	Вал-шестерня	1																											
A3		3	КНУ.КБР.131.26.1-03.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1																											
A2		4	КНУ.КБР.131.26.1-03.ФЧ	Фреза черв'ячна	1																											
A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-03.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1																											
A3		6	КНУ.КБР.131.26.1-03.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1																											
КНУ.КБР.131.26.1-03.ВМКБР																																
Відомість матеріалів КБР																																
Кафедра ТМ гр. ПМ-22																																
Копіював																																
Формат А4																																

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи містить: 65 сторінок, 25 рисунків, 10 таблиць, 4 аркуші графічної частини.

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи присвячена розробці спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктора конвеєрного приводу типу 1Ц2У-125 та проведенню його інженерного аналізу із застосуванням сучасних систем автоматизованого інженерного проєктування (САЕ-систем). Дослідження спрямоване на підвищення ефективності процесу механічної обробки, забезпечення необхідної якості поверхонь та оцінку працездатності інструменту на етапі його проєктування.

Об'єктом дослідження є процес механічної обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктора конвеєрного приводу 1Ц2У-125 спеціальним різальним інструментом.

Предметом дослідження є конструктивні параметри спеціального різального інструменту, його міцнісні та деформаційні характеристики, а також закономірності розподілу напружень, переміщень і деформацій під дією експлуатаційних навантажень.

Метою роботи є підвищення ефективності обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктора конвеєрного приводу шляхом розроблення спеціального різального інструменту та виконання його інженерного аналізу з використанням сучасних САЕ-систем.

Сучасні CAD/CAE-технології дозволяють виконувати детальний інженерний аналіз конструкцій ще на стадії проєктування, що суттєво скорочує витрати на виготовлення дослідних зразків та підвищує надійність отриманих технічних рішень. Використання чисельних методів аналізу дає можливість дослідити напружено-деформований стан інструменту, оцінити запас його міцності та оптимізувати конструкцію відповідно до умов експлуатації.

У зв'язку з цим розроблення спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Вал-шестерня» редуктора конвеєрного приводу 1Ц2У-125 та дослідження його характеристик за допомогою САЕ-систем є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності машинобудівного виробництва.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, РЕДУКТОР 1Ц2У-125, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, САПР, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ПРОЄКТУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.Р		
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ		
Розроб.	Горбатенко						
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

ABSTRACT

The explanatory note to the bachelor's qualification work contains: 65 pages, 25 figures, 10 tables, 4 sheets of the graphic part.

The topic of the bachelor's qualification thesis is devoted to the development of a special cutting tool for machining the surfaces of the "Gear Shaft" component of a 1Ts2U-125 conveyor drive gearbox and to conducting its engineering analysis using modern Computer-Aided Engineering (CAE) systems. The study is aimed at improving the efficiency of the machining process, ensuring the required surface quality, and evaluating the tool's performance at the design stage.

The object of the research is the process of machining the surfaces of the "Gear Shaft" component of a 1Ts2U-125 conveyor drive gearbox using a special cutting tool.

The subject of the research comprises the design parameters of the special cutting tool, its strength and deformation characteristics, as well as the patterns of stress, displacement, and strain distribution under operating loads.

The purpose of the thesis is to improve the efficiency of machining the surfaces of the "Gear Shaft" component of a conveyor drive gearbox through the development of a special cutting tool and the performance of its engineering analysis using modern CAE systems.

Modern CAD/CAE technologies make it possible to perform detailed engineering analyses of structures at the design stage, significantly reducing the costs associated with manufacturing prototypes and increasing the reliability of the obtained engineering solutions. The application of numerical analysis methods enables the investigation of the tool's stress-strain state, the assessment of its safety margin, and the optimization of its design according to operating conditions.

Therefore, the development of a special cutting tool for machining the surfaces of the "Gear Shaft" component of a 1Ts2U-125 conveyor drive gearbox and the investigation of its characteristics using CAE systems constitute a relevant scientific and practical task aimed at improving the efficiency of mechanical engineering production.

GEAR SHAFT, 1Ts2U-125 GEARBOX, MACHINING, CAD, ENGINEERING ANALYSIS, TOOL DESIGN.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-03.Р</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>РЕФЕРАТ</i>	<i>/літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Горбатенко</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>				<i>Каф. ТМ, зр. ПМ-22</i>		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ.....	10
1.1 Визначення технічних умов і аналіз наданої інформації	10
1.2 Функціональне призначення виробничого елементу як складової частини вузла, механізму або машини	11
1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання	13
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ.....	15
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін	15
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	16
2.3 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі та обґрунтування вибору обладнання	18
3 ВИБІР РІЗУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ВІДПОВІДНО ДО МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ.....	23
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	23
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	24
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	30
3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	31
3.5 Формування інструментального оснащення та розробка налаштувань для технологічної операції обробки деталі.....	35
4 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	36
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	36
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	37
5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	41
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора.....	41
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	41
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА.....	44
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників.....	44
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці з утворенням зливної стружки на токарних операціях.....	49
ВИСНОВКИ.....	52
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54

					КНУ.КБР.131.26.1-03.3		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Розроб.		Горбатенко					
Перевір.		Нечаєв					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев			Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку промисловості особливого значення набуває питання підвищення ефективності виробничих процесів шляхом впровадження новітніх технологій обробки, автоматизації та цифровізації виробництва. Одним із ключових напрямів у цьому контексті є комплексна конструкторсько-технологічна підготовка виробництва, що ґрунтується на використанні інтегрованих CAD/CAM/CAE систем.

Циліндричні редуктори широко застосовуються в машинобудуванні для перетворення крутного моменту двигуна і швидкості до значень, необхідних робочим органам машин. Однією з основних деталей у складі такого редуктора є вал-шестерня, яка поєднує функції передачі та перетворення крутного моменту, і, відповідно, піддається значним навантаженням.¹ Висока точність виготовлення та якість поверхонь цієї деталі визначають надійність і довговічність усього механізму.

Мета цієї роботи полягає у розробці ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня» з урахуванням вимог до точності, економічності та продуктивності.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-03.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Горбатенко</i>			<i>ВСТУП</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
						<i>Аркцшів</i>	
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Визначення технічних умов і аналіз наданої інформації

Для виконання кваліфікаційної роботи були надані вихідні дані, зокрема: креслення деталі «Вал-шестерня» та запланований обсяг її виготовлення, що становить 2000 одиниць. Маса деталі становить 1,2 кг, тому при річній програмі випуску понад 2000 штук тип виробництва класифікується як середньосерійне.

Проаналізувавши креслення «Вал-шестерня», можна зробити висновок про такі конструктивні особливості деталі: матеріал деталі - сталь 40Х (ДСТУ 7806-2015); маса деталі - 1,2 кг.

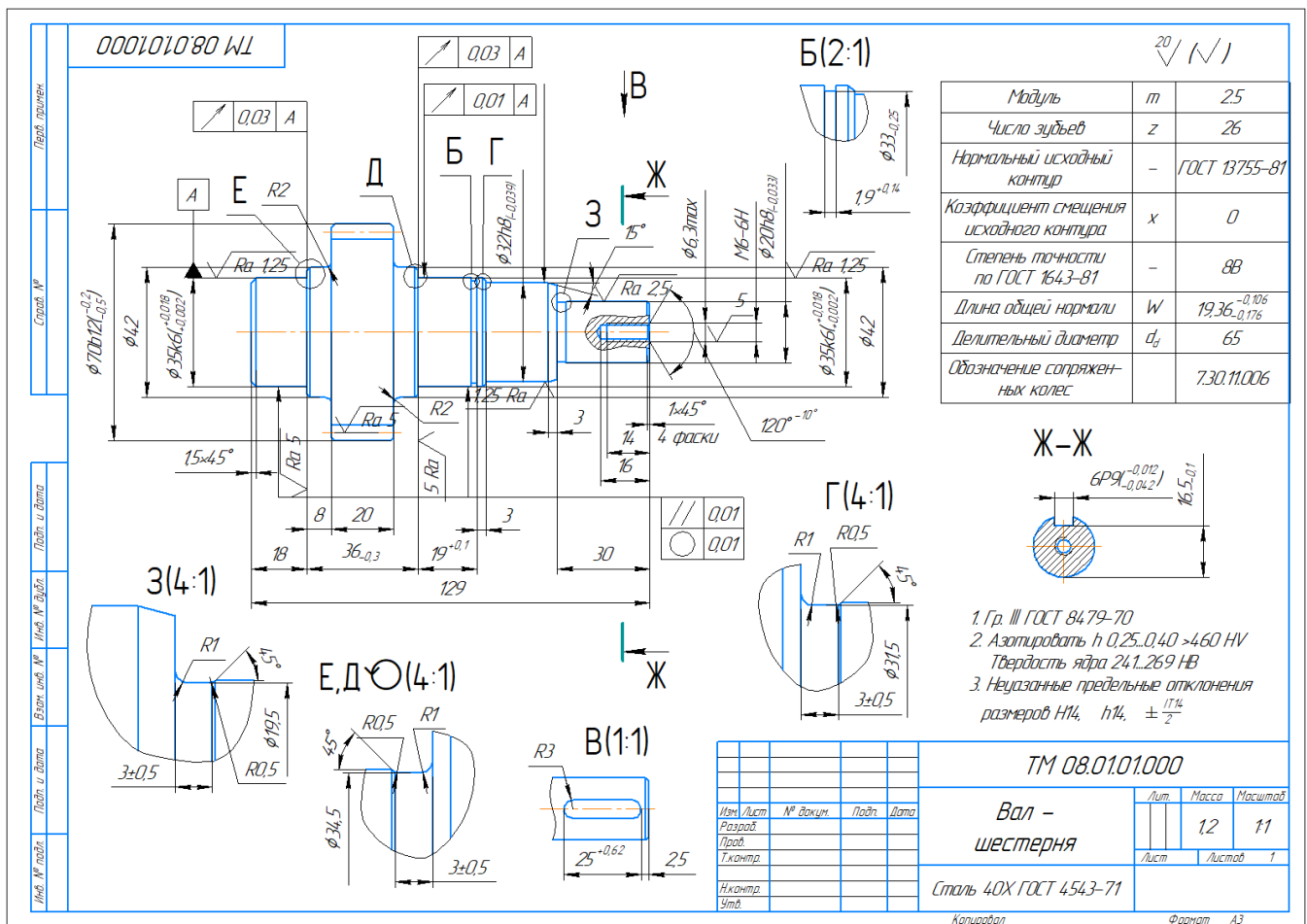


Рисунок 1.1 - Вал-шестерня

КНУ.КБР.131.26.1-03.01.АПМВД							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Лит.	Арк.	Аркцидів
Розроб.	Горбатенко				Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі		
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

Конструктивний аналіз: загальна довжина деталі 129 мм, максимальний діаметр 70 мм; на деталі нарізано прямозубий зубчастий вінець: кількість зубців $z = 26$, модуль $m = 2,5$ за ДСТУ; присутній закритий шпонковий паз шириною 6 мм та довжиною 25 мм; на правому торці деталі є центральний отвір із внутрішньою метричною різьбою М6-6Н; деталь має дві посадкові шийки під підшипники діаметром 35 мм з допуском k6.

На основі плаского креслення було створена об'ємна модель деталі «Вал-шестерня» редуктора 1Ц2У-125, яка представлена на рис. 1.2.

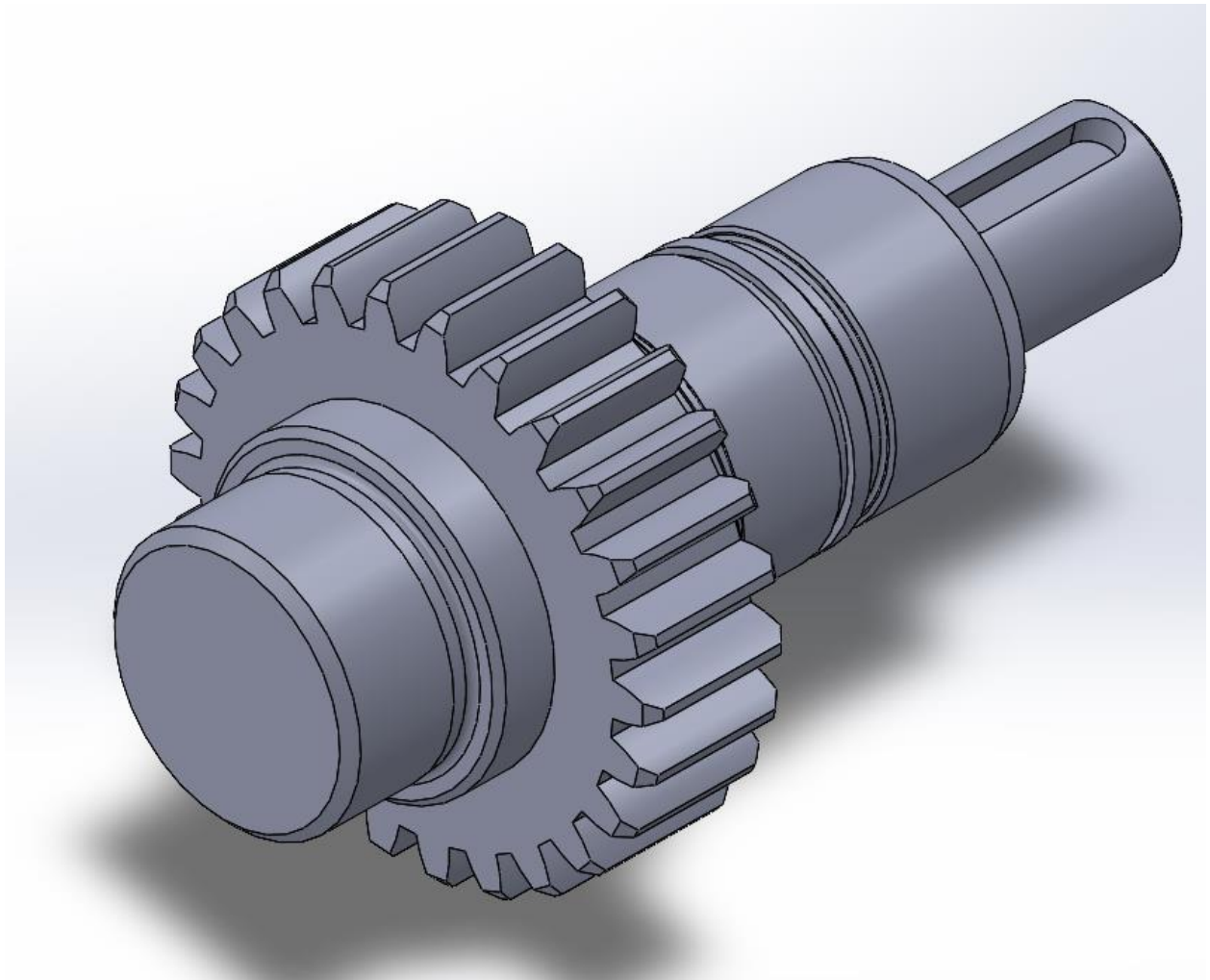


Рисунок 1.2 - 3-D модель вал-шестерні

1.2 Функціональне призначення виробничого елементу як складової частини вузла, механізму або машини

Вал-шестерня використовується як швидкохідний (ведучий) вал у циліндричних зубчастих редукторах. В якості базового вузла для даної деталі доцільно обрати циліндричний двоступеневий горизонтальний редуктор 1Ц2У-

					КНУ.КБР.131.26.1-03.01.АМПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

125. Він обертається в корпусі редуктора, будучи встановленим на двох підшипниках.

Цей тип редуктора застосовується в загальномашинобудівних цілях, зокрема як привід для конвеєрних ліній, металообробних верстатів, дробарок та підйимального обладнання.

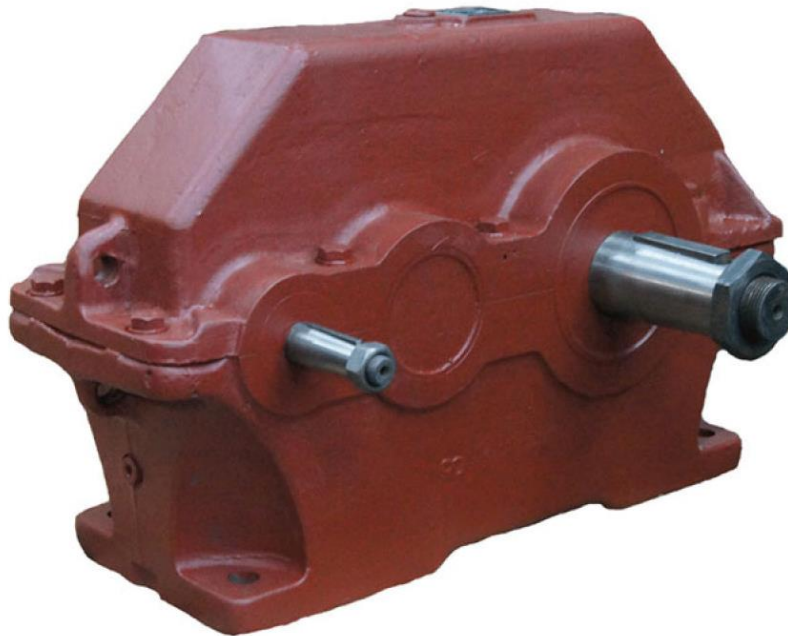


Рисунок 1.3 - Загальний вигляд редуктора 1Ц2У-125

Таблиця 1.1 - Характеристики редуктора 1Ц2У-125

Характеристика	Значення
Номінальне передавальне число	8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40
Номінальний крутний момент на тихохідному валу, Н·м	630
Допустиме радіальне консольне навантаження на швидкохідному валу, Н	750
ККД	0,97
Маса (з чавунним корпусом), кг	55

Під час експлуатації деталь зазнає дії згинального моменту, зумовленого формою зубців, а також крутного моменту, який передається валом-шестернею від

					КНУ.КБР.131.26.1-03.01.АМПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

двигуна до зубчастого колеса. Додатково в зоні зачеплення зубці піддаються значному тертю.

Ключовою конструктивною особливістю та основною перевагою даної деталі є інтеграція вала і шестерні в єдину конструкцію. Це дозволяє скоротити номенклатуру комплектуючих, підвищити несучу здатність з'єднання «Вал-шестерня» та забезпечити компактність вузла.

Циліндричні зубчасті редуктори використовуються для перетворення крутного моменту двигуна і частоти обертання до параметрів, необхідних для роботи виконавчих органів машин. У процесі роботи опір руху виконавчого органу змінюється, що спричиняє постійні коливання навантажень як на редуктор у цілому, так і на його окремі елементи. Крім того, під час пуску та гальмування виникають динамічні навантаження, які безпосередньо передаються на складові частини редуктора.

1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання

Деталь «Вал-шестерня» має такий елемент, як внутрішня різьбову поверхню на правому торці. Проведемо розрахунок параметрів точності цього різьбового з'єднання.

Параметр різьби М6-6Н:

М - метрична різьба;

6 - номінальний зовнішній діаметр різьби, мм;

Крок різьби великий (основний), $P = 1$ мм;

6Н - поле допуску для середнього та внутрішнього діаметрів внутрішньої різьби.

1.3.1 Визначаємо номінальні значення діаметрів різьби

Зовнішній діаметр - $D = 6$ мм.

Середній діаметр - $D_2 = D - 0,6495 * P = 6 - 0,6495 * 1 = 5,350$ мм.

Внутрішній діаметр - $D_1 = D - 1,0825 * P = 6 - 1,0825 * 1 = 4,917$ мм.

1.3.2 Визначення граничних відхилень діаметрів

Граничні відхилення залежать від кроку різьби, номінального діаметра та поля допуску. Для гайки (внутрішньої різьби) з полем допуску 6Н основне (нижнє) відхилення дорівнює нулю:

Для D_1 (поле допуску 6Н): $EI_1 = 0$ мкм, $ES_1 = +236$ мкм (+0,236 мм).

					КНУ.КБР.131.26.1-03.01.АМПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Для D_2 (поле допуску 6H): $EI_2 = 0$ мкм, $ES_2 = +150$ мкм (+0,150 мм).

1.3.3 Визначаємо граничні розміри та величини допусків

$$D_{1\max} = D_1 + ES_1 = 4,917 + 0,236 = 5,153 \text{ мм};$$

$$D_{1\min} = D_1 + EI_1 = 4,917 + 0 = 4,917 \text{ мм}.$$

$$D_{2\max} = D_2 + ES_2 = 5,350 + 0,150 = 5,500 \text{ мм};$$

$$D_{2\min} = D_2 + EI_2 = 5,350 + 0 = 5,350 \text{ мм}.$$

Величини допусків:

$$TD_1 = ES_1 - EI_1 = 0,236 - 0 = 0,236 \text{ мм};$$

$$TD_2 = ES_2 - EI_2 = 0,150 - 0 = 0,150 \text{ мм}.$$

Таблиця 1.2 - Результати розрахунку параметрів різьби

Позначення різьби	Елементи різьби	Номінальний розмір, мм	Найбільший розмір, мм	Найменший розмір, мм	Допуск, мм
М6-6Н	D1	4,917	5,153	4,917	0,236
	D2	5,350	5,500	5,350	0,150
	D	6	не нормується	6,000	-

					КНУ.КБР.131.26.1-03.01.АМПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Вал-шестерня є складовою частиною редуктора 1Ц2У-125. Його основне завдання - передача обертового моменту від двигуна до наступного ступеня редуктора зі зменшенням швидкості обертання та перетворенням крутного моменту.

Під час експлуатації вал-шестерня зазнає значних навантажень. Основними є крутний момент, який передається через деталь, та згинальний момент, що виникає від радіальних та колових сил у зубчастому зачепленні. Також зубці піддаються інтенсивному тертю, а під час пусків і гальмувань виникають динамічні ривки та удари.

Для виготовлення вала-шестерні згідно з кресленням обрано конструкційну леговану сталь 40Х (ДСТУ 7806:2015). Ця сталь має високі механічні властивості після термічної обробки (загартування та відпуск), зокрема високу міцність, поверхневу твердість та зносостійкість, при цьому зберігаючи достатню в'язкість серцевини для сприйняття ударних навантажень.

Таблиця 2.1 - Хімічний склад сталі 40Х (ДСТУ 7806:2015), %

Вуглець (C)	Кремній (Si)	Марганець (Mn)	Хром (Cr)	Нікель (Ni)	Мідь (Cu)	Сірка (S)	Фосфор (P)
0,36-0,44	0,17-0,37	0,50-0,80	0,80-1,10	до 0,30	до 0,30	до 0,035	до 0,035

Таблиця 2.2 - Механічні властивості сталі 40Х (ДСТУ 7806:2015)

Показник	Значення
Термічна обробка	Загартування 860°C (масло), відпуск 500°C
Межа плинності, МПа	не менше 785
Тимчасовий опір, МПа	не менше 980
Відносне подовження, %	не менше 10
Відносне звуження, %	не менше 45
Ударна в'язкість КСУ, Дж/см ²	не менше 59

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД					
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата						
Розроб.		Горбатенко			Підготовка вироб- ничого процесу для виготовлення деталі			Літ.	Арк.	Аркцнів
Перевір.		Нечасів								
Реценз.										
Н. контр.		Нечасів								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22					

У разі необхідності заміни матеріалу на етапі виробництва можуть бути використані закордонні аналоги сталі 40X, які відповідають міжнародним стандартам та мають схожі фізико-механічні характеристики.

Таблиця 2.3 - Закордонні аналоги матеріалу 40X

США (AISI)	Німеччина (DIN)	Франція (AFNOR)	Японія (JIS)	Китай (GB)
5140, 5140H	41Cr4, 37Cr4	42C4TS	SCr440	40Cr

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

З урахуванням вимог до точності та якості поверхні здійснюється раціональний вибір технологічних методів обробки, що у комплексі забезпечують необхідний рівень якості згідно з кресленням. Загальний показник шорсткості невідповідальних поверхонь становить $Ra\ 12,5\ \mu\text{м}$. Посадочні шийки під підшипники вимагають шорсткості $Ra\ 1,25\ \mu\text{м}$ (6-й та 8-й квалітети точності), що вимагає виконання чорнового, півчистового, чистового точіння та остаточного шліфування.

Для виконання вимог точності та якості поверхонь деталі «Вал-шестерня» складено таблицю технологічних процесів. Послідовність та методи обробки представлені в таблиці 2.4.

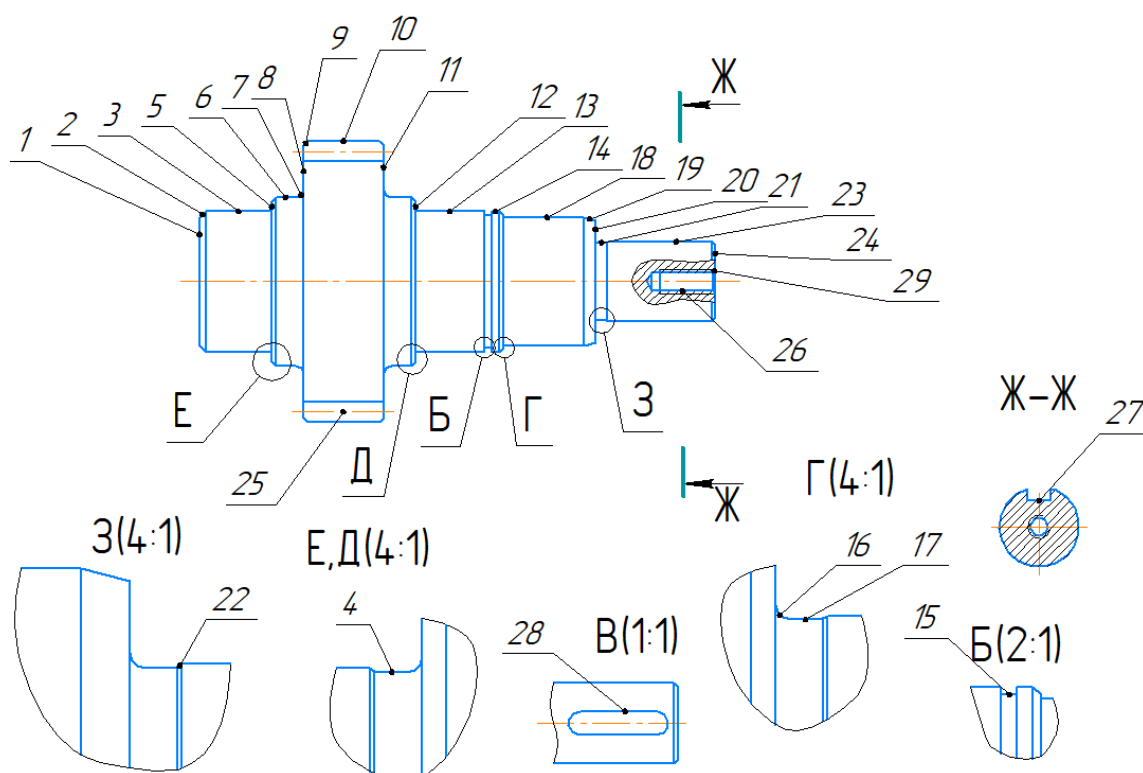


Рисунок 2.1 – нумерація поверхонь вала-шестерні

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 - Технологічні процеси, що застосовуються для досягнення необхідної чистоти та точності поверхонь

№ пов.	Розмір, мм / Поверхня	Шорсткість Ra, мкм	Допуск	Технологічні методи обробки
1	2	3	4	5
1, 24	L129	12,5	h14	Чорнове підрізання торця, Чистове підрізання торця
2, 8, 10, 21	Фаски 1,5x45, 1x45	12,5	h14	Точіння фаски
3, 7, 11, 13	D42 торці уступів L36, L18	12,5...6,3	h14...h12	Чорнове точіння, Півчистове точіння, Підрізання торців
4, 6, 12, 15, 19, 22	Канавки: D33, D31,5, D19,5, ширина 1,9	12,5	h14	Прорізання канавок під шліфування та стопорні кільця
5, 14	Посадкова шийка D35k6, L18 та L19	12,5...1,25	k14...k6	Чорнове точіння, Півчистове точіння, Чистове точіння, Шліфування кругле зовнішнє
17	Шийка D32h8, L30	12,5...1,25	h14...h8	Чорнове точіння, Півчистове точіння, Чистове точіння, Шліфування кругле зовнішнє
20, 23	Шийка консольна D20h8, L30	12,5...1,25	h14...h8	Чорнове точіння, Півчистове точіння, Чистове точіння, Шліфування кругле зовнішнє
9, 25	Зубчастий вінець m=2.5, z=26, D70b12, L20	6,3...1,25	b12	Чорнове зубофрезерування, Чистове зубофрезерування

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5
27, 28	Шпонковий паз В=6Р9, L=25	12,5...3,2	Р9	Фрезерування шпонкового паза (чорнове, чистове)
26, 29	Внутрішній отвір D5, різьба М6-6Н, L14	12,5...3,2	6Н	Свердління центрувального отвору, Нарізання внутрішньої різьби

2.3 Розробка технологічного маршруту виготовлення деталі та обґрунтування вибору обладнання

Виготовлення деталі вал-шестерня із заготовки відповідно до всіх вимог креслення та технологічних методів обробки, наведених у таблиці 2.4, вимагає підбору відповідного обладнання для виконання операцій точіння, фрезерування, зубофрезерування та шліфування.

Для виконання точильних операцій, а також операцій свердління, нарізання різьби та фрезерування шпонкового паза було обрано сучасний токарно-фрезерний центр з ЧПК DMG MORI CTX 310 ecoline. Основним аргументом на користь вибору цього верстата є його здатність обробляти більшість поверхонь деталі за одну-дві установки завдяки наявності приводного інструменту та осі С. Це кардинально зменшує похибки, пов'язані з перебазуванням деталі між різними верстатами (токарним, фрезерним, свердлильним), та значно економить машинний час. Завдяки високій жорсткості та сучасній системі ЧПК забезпечується необхідна точність для попередньої обробки шийок перед шліфуванням.



Рисунок 2.2 - токарно-фрезерний центр з ЧПК DMG MORI CTX 310 ecoline

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 - Характеристика токарного горизонтального обробного центру з ЧПК DMG MORI CTX 310 ecoline

Характеристика	Значення
Максимальний діаметр над станиною	500 мм
Діаметр над суппортом	835 мм
Тип ЧПУ	Siemens 840 D mit Shop Turn
X-ось	202 мм
Z-ось	450 мм
Мощность шпинделя	9 кВт
Обороты шпинделя	20 - 6000 об/мин
Крутящий момент на шпинделе	115 Н·м
Габариты станка ДхШхВ	4000 мм х 1563 мм х 1730 мм
Ускоренный ход X / Y / Z	24 м/мин / 10 м/мин / 30 м/мин
Вес станка	3950 кг

Для формування зубчастого вінця ($m=2,5$, $z=26$) обрано спеціалізований зубофрезерний верстат з ЧПК Pfauter PE 150. Метод фрезерування черв'ячною фрезою на такому обладнанні є найпродуктивнішим для масового виробництва. Верстат забезпечує жорстку кінематичну синхронізацію між обертанням заготовки та фрези, що гарантує досягнення заданого ступеня точності за ДСТУ.



Рисунок 2.3 - спеціалізований зубофрезерний верстат з ЧПК Pfauter PE 150

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 - Характеристики зубофрезерний верстат з ЧПК Pfauter PE 150

Макс. діаметр диска	150 mm
Модуль +	3
Модуль -	4
Тип ЧПУ	Siemens 3 M
Макс. швидкість шпинделя	600 rpm
Макс. ширина зуб'єв	150 mm
Мощність мотора	7.5 kW
Длина x ширина x висота	144,0 × 156,5 × 102,8
Вес	8000 kg

Оскільки посадочні шийки вала під підшипники вимагають точності 6-го та 8-го квалітетів (k6, h8) та шорсткості Ra 1,25 мкм, лезової обробки недостатньо. Фінальним етапом механічної обробки є кругле шліфування в центрах. Для цього застосовується круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК Cormak 400x1000. Даний тип обладнання забезпечує мікроподачу шліфувального круга та високу стабільність процесу, що є критично важливим для усунення биття та забезпечення надійної посадки підшипників.



Рисунок 2.4 - круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК Cormak 400x1000

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 - характеристики круглошліфувальний напівавтомат з ЧПК
Cormak 400x1000

Параметр	Значення
1	2
Мережа	380 В
Потужність двигуна	7,5 кВт
Швидкість обертання шпинделя	0-2000 об/хв
1	2
Проліт шпинделя	72 мм
Кількість інструментів	8
Максимальний розмір тримача інструменту	25x25 мм
Максимальний діаметр обробки над станиною	1000 мм
Максимальний діаметр обробки над супортом	400 мм
Хід по осі X	8 м/хв
Хід по осі Z	10 м/хв
Хід пінолі задньої бабки	120 мм
Конус задньої бабки	MT4
Габаритні розміри	2640x1500x1766 мм
Вага	1800 кг
Країна бренду	Польща

Таблиця 2.7 - Підбір верстатів для обробки поверхонь заготовки Вал-шестерня

Номер поверхні за табл. 2.4	Операція	Верстат
1	2	3
1, 2, 3, 4, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 15, 19, 21, 22, 24	Підрізання торців, точіння фасок, точіння зовнішніх циліндричних поверхонь, прорізання канавок	DMG MORI CTX 310 ecoline
5, 14, 17, 20, 23	Чорнове та півчистове точіння посадкових шийок	DMG MORI CTX 310 ecoline

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.7

1	2	3
26, 29	Свердління центрального отвору, нарізання внутрішньої різьби М6-6Н	DMG MORI CTX 310 ecoline
27, 28	Фрезерування шпонкового паза (приводним інструментом)	DMG MORI CTX 310 ecoline
9, 25	Чорнове та чистове зубофрезерування вінця	Pfauter PE 150
5, 14, 17, 20, 23	Чистове кругле шліфування посадкових шийок (D35k6, D32h8, D20h8)	Cormak 400x1000

					КНУ.КБР.131.26.1-03.02.ПВПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ВІДПОВІДНО ДО МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

З огляду на кількість та характер раніше визначених технологічних операцій з обробки поверхонь, здійснюється вибір сучасних типів інструментів. Для кожної оброблюваної поверхні деталі підбирається відповідний тип інструменту. Дані вносимо в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 - Вибір типу інструменту по обробці поверхонь

№ пов.	Операція	Верстат	Тип інструменту
1	2	3	4
1, 24	Чорнове та чистове підрізання торців	DMG MORI CTX 310 ecoline	Прохідний (або підрізний) різець
2, 8, 10, 21	Точіння фасок	DMG MORI CTX 310 ecoline	Прохідний різець
3, 7, 11, 13	Чорнове та півчистове точіння циліндричних поверхонь	DMG MORI CTX 310 ecoline	Прохідний різець
5, 14, 17, 20, 23	Чорнове та півчистове точіння посадкових шийок	DMG MORI CTX 310 ecoline	Прохідний різець
4, 6, 12, 15, 19, 22	Прорізання канавок під шліфування та стопорні кільця	DMG MORI CTX 310 ecoline	Канавковий різець
26, 29	Свердління центрувального та глухого отворів	DMG MORI CTX 310 ecoline	Свердло суцільнотвердос плавне
26, 29	Нарізання внутрішньої різьби	DMG MORI CTX 310 ecoline	Мітчик машинний

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ				
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата					
Розроб.		Горбатенко			Вибір основного та допоміжного інструменту відповідно до міжнародних стандартів				
Перевір.		Нечаєв							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							
					Літ.	Арк.	Архівшів		
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22				

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4
27, 28	Чорнове та чистове фрезерування шпонкового паза	DMG MORI CTX 310 ecoline (приводний інструмент)	Кінцева шпонкова фреза
9, 25	Чорнове та чистове зубофрезерування	Pfauter PE 150	Черв'ячна фреза
5, 14, 17, 20, 23	Чистове кругле шліфування	Cormak 400x1000	Шліфувальний круг

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалу деталі (Сталь 40Х), характер обробки та типи застосованих верстатів, підбираємо конкретні інструменти від провідних виробників зі світовим ім'ям (наприклад, Sandvik Coromant).

1. Чорнове та чистове точіння циліндричних поверхонь, підрізання торців, точіння фасок

Поверхні: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 20, 21, 23, 24

Шифр державки: DCLNR 2525M 12

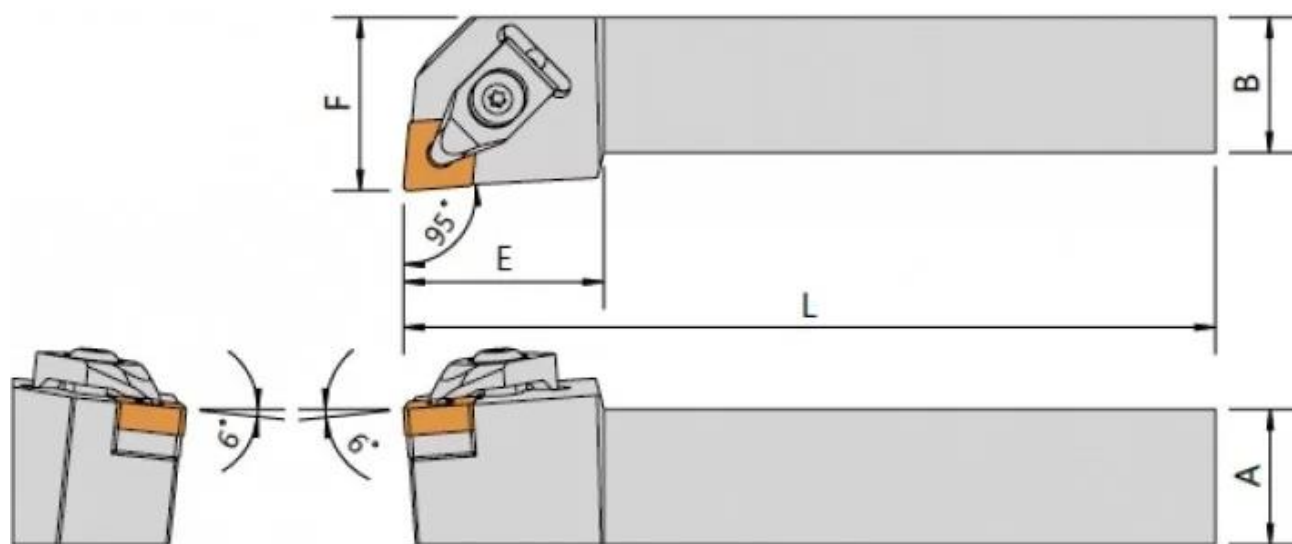


Рисунок 3.1 - Державка DCLNR 2525M 12

Геометричні параметри державки: H=25 мм; B=25 мм; LF=150 мм; WF=32 мм; HF=25 мм; KAPR=95°.

Шифр пластини: CNMG 120408-PM

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

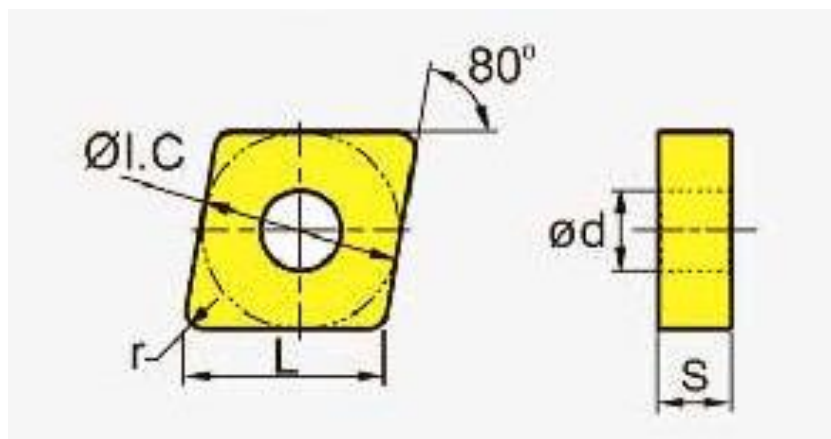


Рисунок 3.2 - Пластина CNMG 120408-PM

Геометричні параметри пластини: IC=12,7 мм; L=12,9 мм; S=4,76 мм; RE=0,8 мм; D1=5,16 мм.

Матеріал пластини: Сплав GC4325 - твердосплавний матеріал з інноваційним покриттям, що має високу зносостійкість та міцну кромку, оптимізований для токарної обробки сталей при високих температурах.

Стружколом: PM - універсальний стружколом для чорнової та напівчистої обробки сталі, забезпечує надійне відведення стружки.

2. Прорізання канавок під шліфування та стопорні кільця

Поверхні: 4, 6, 12, 15, 19, 22

Шифр державки: LF123G04-2525B

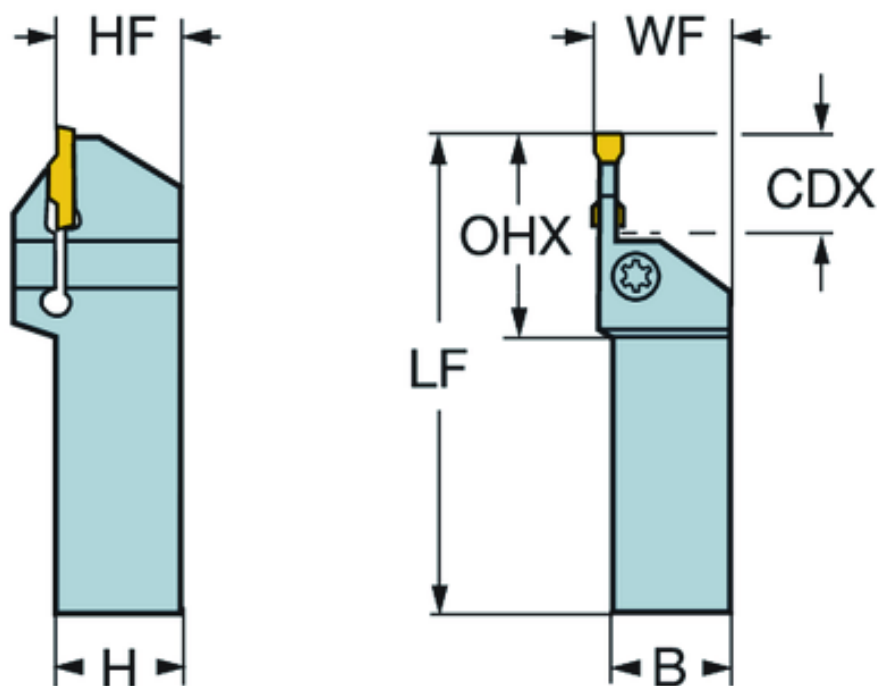


Рисунок 3.3 - Державка LF123G04-2525B

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри державки: H=25 мм; B=25 мм; LF=150 мм; WF=25 мм; HF=25 мм; CDX=12 мм.

Шифр пластини: N123G2-0300-0003-CR

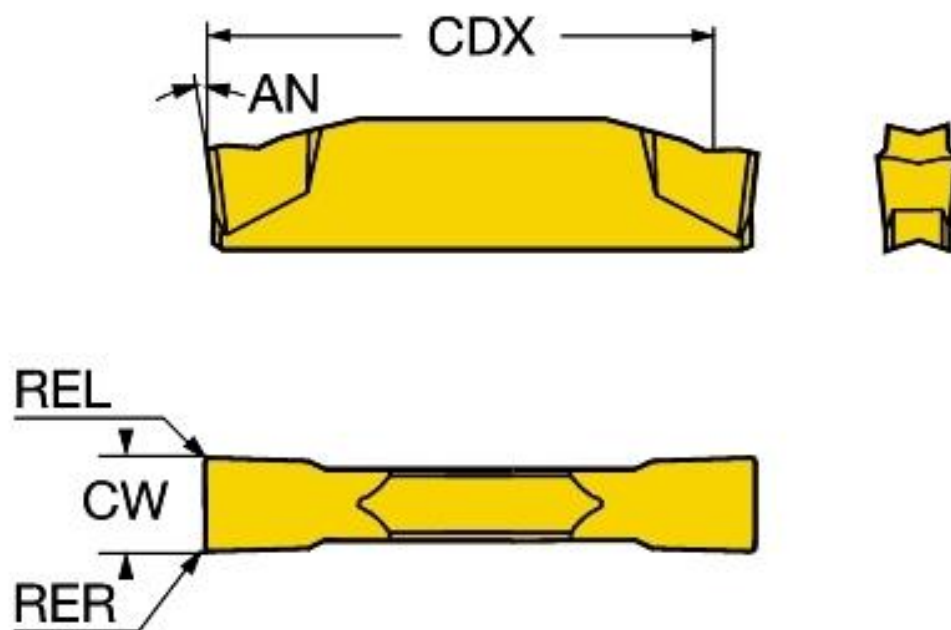


Рисунок 3.4 - Пластина N123G2-0300-0003-CR

Геометричні параметри пластини: CW=3,0 мм; RE=0,3 мм; LE=22,7 мм; S=4,8 мм.

Матеріал пластини: Сплав 1125 - дрібнозернистий сплав з високою стійкістю до пластичної деформації під час прорізання вузьких канавок.

Стружколом: CR - спеціалізований профіль для забезпечення плавного врізання та формування звуженої стружки.

3. Свердління центрального та глухого отвору під різьбу

Поверхні: 26, 29

Шифр свердла: R840-0500-50-A1A

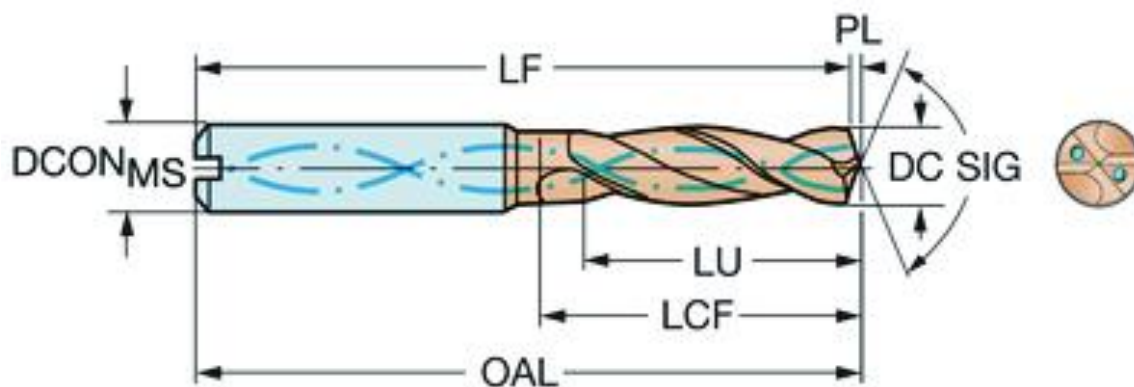


Рисунок 3.5 - Свердло R840-0500-50-A1A

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ				

Геометричні параметри свердла: $DC=5,0$ мм; $DCON=6,0$ мм; $LU=25$ мм; $LCF=44$ мм; $OAL=82$ мм; $SIG=140^\circ$.

Матеріал: Суцільнотвердосплавне свердло (сплав 1220), забезпечує високу жорсткість та точність діаметра отвору без необхідності попереднього центрування.

4. Нарізання внутрішньої різьби М6-6Н

Поверхні: 26, 29

Шифр мітчика: EX00-M6



Рисунок 3.6 - Мітчик EX00-M6

Геометричні параметри мітчика: $TD=6,0$ мм; $TP=1,0$ мм; $OAL=80$ мм; $DCON=6,0$ мм; $LU=30$ мм; $THCHT=C$.

Матеріал: HSS-E (швидкорізальна сталь з додаванням кобальту), має високу стійкість до зношування. Конструкція оптимізована для ефективної евакуації стружки з глухих отворів.

5. Фрезерування шпонкового паза

Поверхні: 27, 28

Шифр фрези: R216.34-06050-AK13P

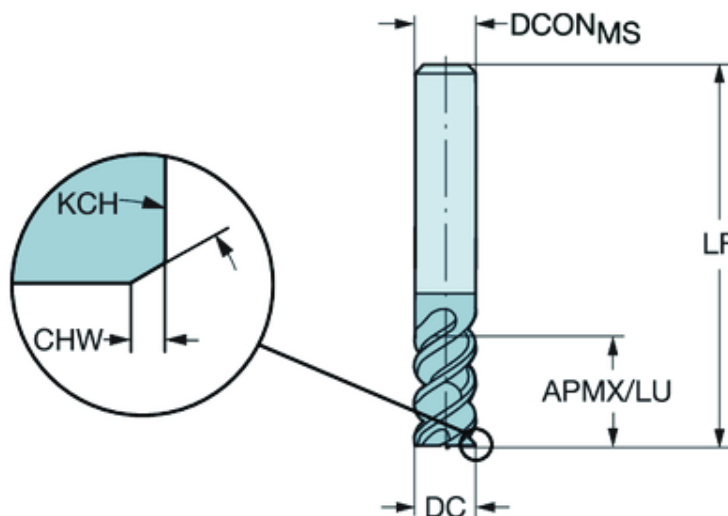


Рисунок 3.7 - Фреза R216.34-06050-AK13P

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри фрези: DC=6,0 мм; DCON=6,0 мм; APMX=13 мм; OAL=57 мм; ZEFP=4; FHA=50°.

Матеріал: Суцільнотвердосплавна кінцева фреза (сплав 1620), призначена для високопродуктивного фрезерування пазів з дотриманням жорстких допусків на ширину (P9).

6. Зубофрезерування вінця

Поверхні: 9, 25

Шифр фрези: CoroMill 176-080A32-2.5

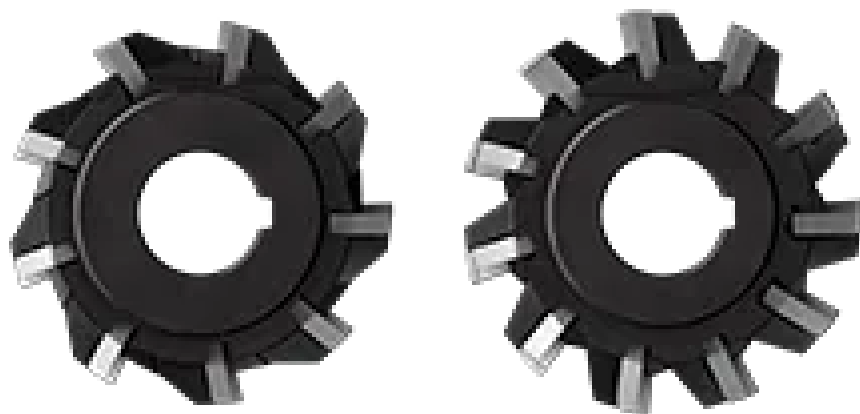


Рисунок 3.8 - Фреза CoroMill 176-080A32-2.5

Геометричні параметри фрези: DC=80 мм; DCON=32 мм; MODULE=2,5 мм; LF=100 мм; ZEFP=1.

Шифр пластини: 176M-40N250-PM

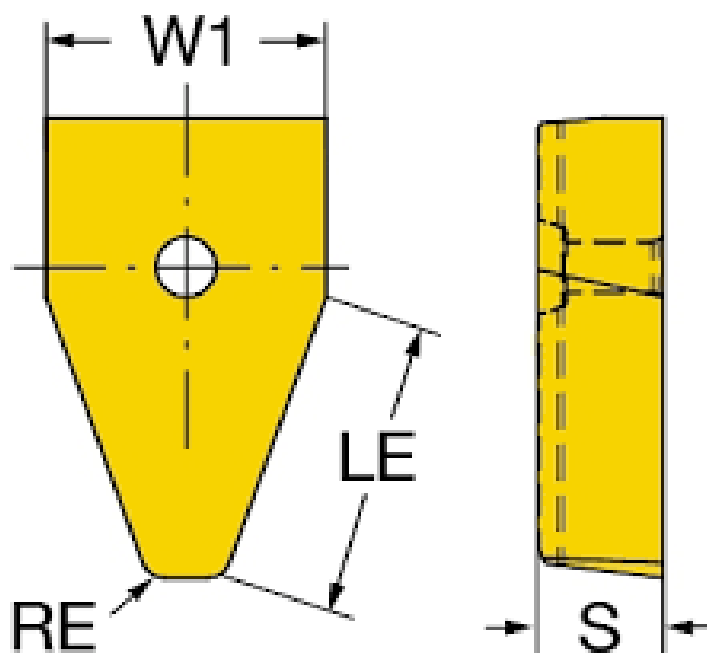


Рисунок 3.9 - Пластина 176M-40N250-PM

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри пластини: MODULE=2,5 мм; S=4,5 мм; LE=14,0 мм.

Матеріал пластини: GC1030 - сплав із PVD покриттям, розрахований на високі ударні навантаження під час зубофрезерування.

7. Кругле шліфування посадкових шийок

Поверхні: 5, 14, 17, 20, 23

Шифр шліфувального круга: Тип 1 400x40x127 25A 60 L 6 V

Геометричні параметри круга: D=400 мм; T=40 мм; H=127 мм; абразив - 25A; зернистість - 60; твердість - L; структура - 6; зв'язка - V.

Матеріал: Електрокорунд білий (25A), відмінно підходить для чистового шліфування легированих сталей, забезпечує отримання заданої шорсткості без ризику припикань поверхневого шару.

Таблиця 3.2 - Підбір параметрів ріжучої частини інструменту

№ Пов.	Тип інструмента	Матеріал ріжучої частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1, 24	Підрізний різець	Сплав GC4325 - чорнове	Сталь 45	EPSR=80°; AN=0°; KARP=95°
2, 8, 10, 21	Прохідний різець	Сплав GC4325 - чорнове	Сталь 45	EPSR=80°; AN=0°; KARP=95°
3, 7, 11, 13	Прохідний різець	Сплав GC4325 - півчистове	Сталь 45	EPSR=80°; AN=0°; KARP=95°
5, 14, 17, 20, 23	Прохідний різець	Сплав GC4325 - чистове	Сталь 45	EPSR=80°; AN=0°; KARP=95°
4, 6, 12, 15, 19, 22	Канавковий різець	Сплав 1125 - чорнове	Сталь 45	EPSR=90°; AN=0°
26, 29	Свердло	Сплав 1220 - чорнове	Твердий сплав	$2\varphi = 118^\circ$
26, 29	Мітчик машинний	HSS-E - чистове	HSS-E	$2\varphi = 60^\circ$

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВОДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
27, 28	Кінцева фреза	Сплав 1620 - чистове	Твердий сплав	$Z = 2...4$; $\gamma = 10^\circ$
9, 25	Черв'ячна фреза	Сплав GC1030 - чорн./чист.	Сталь 45	$\alpha = 12^\circ$
5, 14, 17, 20, 23	Шліфувальне коло	25А - чистове	-	Тип 1 (ПП)

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

У цій роботі потрібно зосередити увагу на одному з обраних типів інструментів, що використовуються під час чорнової обробки - етапу, на якому виникають найбільші навантаження. Для забезпечення точності розрахунків враховуємо фізико-механічні характеристики матеріалу заготовки, технічні параметри верстата та режими різання.

Для проведення розрахунків обирається прохідний різець з шифром DCLNR 2525M 12, оскільки саме він використовується для зняття найбільшого припуску під час механічної обробки та працює в умовах підвищених навантажень.

Основні геометричні параметри цього різця: $h = 25$ мм; $b = 25$ мм; $LF = 150$ мм; $WF = 32$ мм.

Матеріал різця - Сталь 45: допустиме напруження на вигин $\sigma_{\text{виг}} = 200$ МПа.

Матеріал заготовки - Сталь 40Х: межа міцності $\sigma_{\text{в}} = 980$ МПа.

Максимальний діаметр обробки - 70 мм, припуск на обробку $t = 2,5$ мм на сторону, подача $S = 0,5$ мм/об, виліт різця $l = 40$ мм.

3.3.1 Сила різання:

$$P_z = 9,8 \cdot C_{Pz} \cdot t^{x_{Pz}} \cdot S^{y_{Pz}} \cdot K_{Pz}$$

де $K_{Pz} = 1$ - сумарний поправчий коефіцієнт;

$x_{Pz} = 1,0$ - показник степені при глибині різання;

$y_{Pz} = 0,75$ - показник степені при подачі;

$C_{Pz} = 300$ - коефіцієнт, що залежить від матеріалу та умов різання.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.ВООІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_z = 9,8 \cdot 300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,5^{0,75} \cdot 1 \approx 4370 \text{ Н}$$

3.3.2 Міцність і жорсткість різця:

Максимальне навантаження, допустима міцність різання:

$$P_{z\text{доп}} = \frac{b \cdot h^2 \cdot \sigma_{\text{виг}}}{6 \cdot l}$$

$$P_{z\text{доп}} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 40 \cdot 10^{-3}} = 13020 \text{ Н}$$

Максимальне навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z\text{жор}} = \frac{3 \cdot f \cdot E \cdot J}{l^3}$$

де $f = 0,1$ мм ($0,1 \cdot 10^{-3}$ м) - допустима стріла прогину при чорновому точінні;

$E = 2 \cdot 10^{11}$ Па - модуль пружності матеріалу державки;

J - момент інерції прямокутного перетину державки:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 3,25 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4$$

$$P_{z\text{жор}} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,25 \cdot 10^{-8}}{(40 \cdot 10^{-3})^3} = 30468 \text{ Н}$$

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

$$P_z < P_{z\text{доп}} \text{ та } P_z < P_{z\text{жор}}$$

$$4370 \text{ Н} < 13020 \text{ Н та } 4370 \text{ Н} < 30468 \text{ Н}$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю для зняття заданих припусків.

3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Інструментальне налагодження — це сукупність ріжучих і допоміжних інструментів, сформованих відповідно до геометрії деталі та змісту конкретної технологічної операції. Цей інструментальний комплекс будується у певній послідовності: від основного ріжучого інструмента через систему допоміжних елементів до посадкових поверхонь металорізального верстата, зокрема шпинделя або револьверної головки.

З огляду на геометричні та технічні характеристики посадочних поверхонь обраних верстатів (револьверна головка типу VDI 40 для DMG MORI CTX 310 esoline, посадочні оправки для зубофрезерного Pfauder PE 150 та планшайби для круглошліфувального Cormak 400x1000), здійснюється підбір відповідних типів допоміжного інструменту згідно з вимогами міжнародних стандартів.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.В0Д/	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення ефективного базування інструменту були обрані наступні допоміжні елементи:

3.4.1 Радіальний різцетримач VDI40-B1-25x44 (для токарних операцій)
Шифр інструменту: VDI40-B1-25x44 (згідно DIN 69880 / ISO 10889). Даний тримач використовується для закріплення токарних різців квадратного перерізу (25x25 мм) у револьверній головці верстата. Основні геометричні параметри та розміри:

- Діаметр хвостовика (VDI): $d1 = 40$ мм;
- Висота різця: $h1 = 25$ мм;
- Довжина вильоту: $L2 = 44$ мм;
- Ширина тримача: $b1 = 85$ мм.

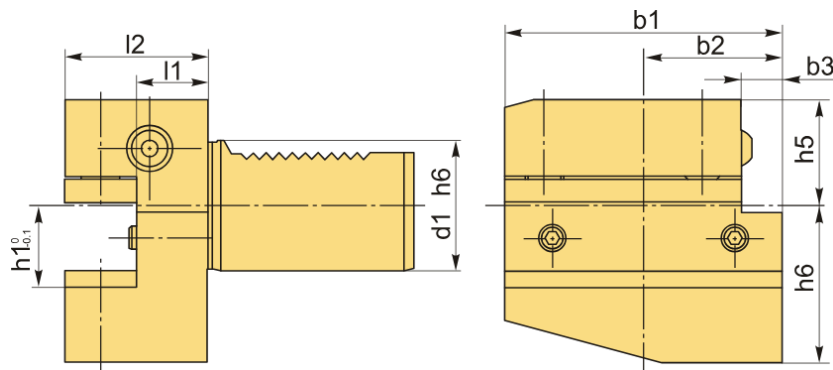


Рисунок 3.10 - радіальний різцетримач VDI40-B1-25x44

3.4.2 Цанговий патрон VDI40-E4-ER32 (для осьового інструменту) Шифр інструменту: VDI40-E4-ER32. Застосовується для затискання свердел та мітчиків (циліндричний хвостовик) за допомогою цанг стандарту ER32. Основні геометричні параметри та розміри:

- Діаметр хвостовика (VDI): $d1 = 40$ мм;
- Тип цанги: ER32 (забезпечує діапазон затиску від 2 до 20 мм);
- Зовнішній діаметр затискної гайки: $D = 50$ мм;
- Виліт (Gauge length): $L = 83$ мм.

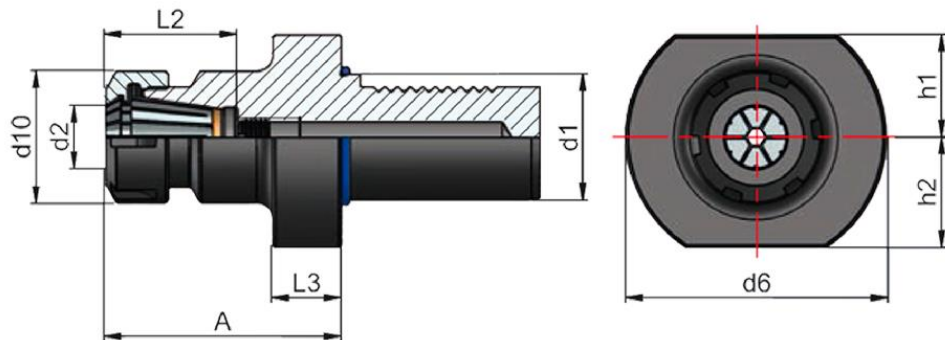


Рисунок 3.11 - Цанговий патрон VDI40-E4-ER32

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.В0ДІ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

3.4.3 Приводний аксіальний блок VDI40-AG-ER32 (для фрезерування паза)
 Шифр інструменту: VDI40-AG-ER32. Блок використовується для передачі крутного моменту від револьверної головки до кінцевої шпонкової фрези під час операції формування паза. Основні геометричні параметри та розміри:

- Діаметр хвостовика (VDI): $d_1 = 40$ мм;
- Тип кріплення інструменту: цанга ER32 (затиск 2-20 мм);
- Робочий виліт інструменту: $L = 75$ мм;
- Максимальна частота обертання: $n_{\text{max}} = 6000$ об/хв.

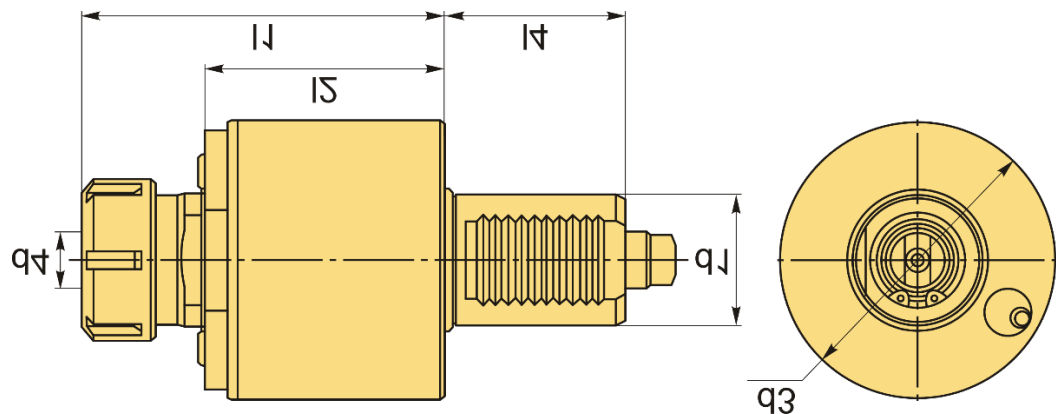


Рисунок 3.12 - приводний аксіальний блок VDI40-AG-ER32

3.4.4 Оправка зубофрезерна Ø32 (для зубофрезерної операції) Шифр інструменту: Оправка Ø32. Використовується на верстаті Pfauter PE 150 для жорсткого та точного закріплення суцільної черв'ячної фрези з посадковим отвором 32 мм. Забезпечує високу співвісність та запобігає радіальному биттю під час обкатки зубчастого вінця.



Рисунок 3.13 - фотографії зубофрезерної оправки

3.4.5 Фланець ПШК-400-127 (для шліфувальної операції) Шифр інструменту: Фланець ПШК-400-127. Призначений для надійного закріплення шліфувального круга (внутрішній отвір Ø127 мм) на шпинделі круглошліфувального напівавтомата Sormak 400x1000. Фланець дозволяє проводити статичне балансування круга перед обробкою.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.В0ДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

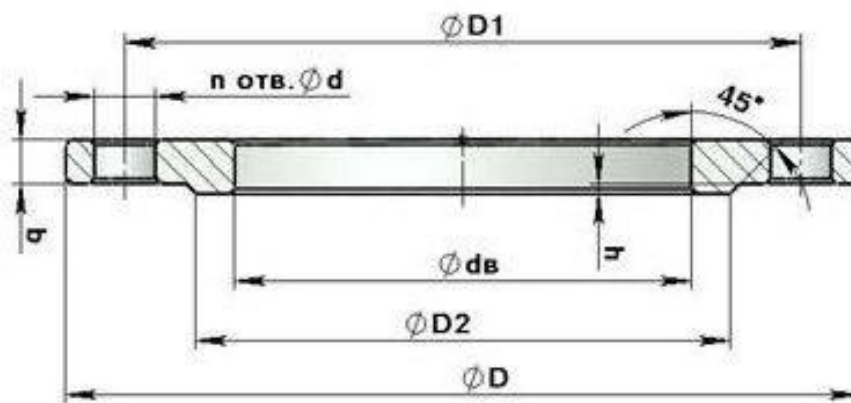


Рисунок 3.14 – ескіз фланець ПШК-400-127

Таблиця 3.3 - Організація інструментального забезпечення

Найменування операції	№ з/п поверхні	Металорізальний верстат (тип, модель)	Ріжучий інструмент (шифр інструменту)	Допоміжний інструмент (Шифр інструменту)
1	2	3	4	5
Точіння	1, 24	DMG MORI CTX 310 ecoline	DCLNR 2525M 12	VDI40-B1-25x44
Точіння	2, 8, 10, 21	DMG MORI CTX 310 ecoline	DCLNR 2525M 12	VDI40-B1-25x44
Точіння	3, 7, 11, 13	DMG MORI CTX 310 ecoline	DCLNR 2525M 12	VDI40-B1-25x44
Точіння	5, 14, 17, 20, 23	DMG MORI CTX 310 ecoline	DCLNR 2525M 12	VDI40-B1-25x44
Прорізання канавок	4, 6, 12, 15, 19, 22	DMG MORI CTX 310 ecoline	LF123G04-2525B	VDI40-B1-25x44
Свердління	26, 29	DMG MORI CTX 310 ecoline	R840-0500-50-A1A	VDI40-E4-ER32

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Нарізання різьби	26, 29	DMG MORI CTX 310 ecoline	EX00-M6	VDI40-E4-ER32
Фрезерування паза	27, 28	DMG MORI CTX 310 ecoline	R216.34-06050-AK13P	VDI40-AG-ER32
Зубофрезерування	9, 25	Pfauter PE 150	CoroMill 176-080A32-2.5	Оправка D32
Шліфування	5, 14, 17, 20, 23	Cormak 400x1000	Тип 1 400x40x127 25A 60 L 6 V	Фланець ПШК-400-127

3.5 Формування інструментального оснащення та розробка налаштувань для технологічної операції обробки деталі

Налаштування інструментального оснащення виконується в першу чергу для багатоцільової токарно-фрезерної операції, що здійснюється на обробному центрі з ЧПК DMG MORI CTX 310 ecoline. Комплект інструментів формується та встановлюється в 12-позиційну револьверну головку згідно з даними таблиць 3.1, 3.2 та 3.3, відповідно до послідовності технологічних переходів.

Процес налаштування включає в себе закріплення ріжучих пластин у державки, встановлення державок у відповідні блоки VDI40 (радіальні для точіння та канавок, аксіальні для осевого інструменту), а також монтаж приводних блоків для фрезерування паза. Після фізичного закріплення інструментів здійснюється їх прив'язка (вимірювання вильотів інструменту по осях X та Z) за допомогою системи вимірювання інструменту верстата (Tool Setter) для передачі корекцій у систему ЧПК.

Для зубофрезерної операції на верстаті Pfauter PE 150 налаштування полягає у жорсткому закріпленні черв'ячної фрези на зубофрезерній оправці за допомогою розпірних кілець та гайки з подальшою перевіркою на радіальне биття за допомогою індикатора годинникового типу. Для шліфувальної операції на верстаті Cormak 400x1000 обов'язковим етапом є статичне балансування шліфувального круга у зборі з фланцем перед встановленням на шпиндель, а також правка круга алмазним олівцем.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.03.В0Д/	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 ПРОЄКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Для операції зубофрезерування на заготовці (формування поверхонь 9, 25 згідно з таблицею 2.4) проводимо розрахунок спеціального різального інструменту - черв'ячної фрези. Даний інструмент дозволить нарізати прямозубий зубчастий вінець методом обкатки.

Вхідні дані для розрахунку (згідно з кресленням):

Модуль зубчастого зачеплення: $m = 2,5$ мм; ¹

Кількість зубців: $z = 26$; ¹

Кут профілю: $\alpha = 20^\circ$;

Матеріал заготовки: Сталь 40Х (ДСТУ 7806:2015); ¹

Тип виробництва: масове. ¹

Відповідно до ДСТУ (ГОСТ 9324-80), для модуля $m = 2,5$ мм обираємо суцільну черв'ячну чистову фрезу. Матеріал різальної частини - швидкорізальна сталь Р6М5 ⁴, що забезпечує достатню стійкість під час обробки конструкційних сталей середньої твердості.

Визначення основних конструктивних та габаритних параметрів фрези: Згідно зі стандартами для фрези класу точності В ⁵:

Зовнішній діаметр фрези: $D_{a0} = 71$ мм; ⁴

Діаметр посадкового отвору: $d = 27$ мм; ⁴

Довжина черв'ячної фрези: $L = 63$ мм; ⁴

Кількість стружкових канавок: $z_0 = 10$.

Розрахунок елементів профілю зуба черв'ячної фрези:

Висота головки зуба фрези:

$$h_{a0} = 1,25 \cdot m = 1,25 \cdot 2,5 = 3,125 \text{ мм}$$

Висота ніжки зуба фрези (з урахуванням радіального зазору):

$$h_{f0} = 1,25 \cdot m = 3,125 \text{ мм}$$

Повна висота профілю зуба:

$$h_0 = h_{a0} + h_{f0} = 3,125 + 3,125 = 6,25 \text{ мм}$$

Крок профілю зубів:

$$P_{n0} = \pi \cdot m = 3,1415 \cdot 2,5 = 7,85 \text{ мм}$$

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-03.04.ПІАРІ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Горбатенко</i>			<i>Проектування та інженерний аналіз різального інструменту</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					

Товщина зуба фрези по ділильному циліндру:

$$S_{n0} = \frac{P_{n0}}{2} = \frac{7,85}{2} = 3,925 \text{ мм}$$

Величина затилування зуба (приймаємо задній кут на вершині $\alpha_B = 10^\circ$):

$$k = \frac{\pi \cdot D_{a0}}{z_0} \cdot \tan(\alpha_B) = \frac{3,1415 \cdot 71}{10} \cdot 0,176 \approx 3,9 \text{ мм}$$

Глибина стружкової канавки (з урахуванням радіусу закруглення дна $r \approx 1$ мм):

$$H_k = h_0 + k + r = 6,25 + 3,9 + 1 = 11,15 \text{ мм}$$

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Для перевірки працездатності розрахованої черв'ячної фрези та оцінки її напружено-деформованого стану в умовах реального різання, проводиться інженерний аналіз із застосуванням САЕ-модуля SolidWorks Simulation.

Дослідження виконується в межах статичного структурного аналізу. Об'єктом розгляду є черв'ячна фреза, виготовлена зі швидкорізальної сталі Р6М5 (міжнародний аналог HS6-5-2С або DIN 1.3343). Метою аналізу є визначення критичних зон концентрації напружень біля основи зубців фрези та перевірка конструкції на міцність.

4.2.1 Постановка задачі та граничні умови у SolidWorks Simulation

Для виконання аналізу в програмному середовищі реалізовано наступну методологію:

Призначення матеріалу: До 3D-моделі фрези застосовано матеріал "Alloy Steel" із бази даних SolidWorks.

Задання кріплення (Fixtures): Оскільки фреза під час роботи жорстко встановлюється на зубофрезерній оправці, застосовано тип кріплення "Фіксована геометрія" (Fixed Geometry) на внутрішній циліндричній поверхні посадкового отвору.

Прикладання навантажень (External Loads): На передню поверхню різальних кромок (зубців), що безпосередньо беруть участь у знятті припуску, прикладено контактне зусилля (Force). Для оцінки обрано максимальне сумарне навантаження у розмірі 1500 Н (Force-1: 1500 N) на активні зуби.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.04.ПІА/І	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

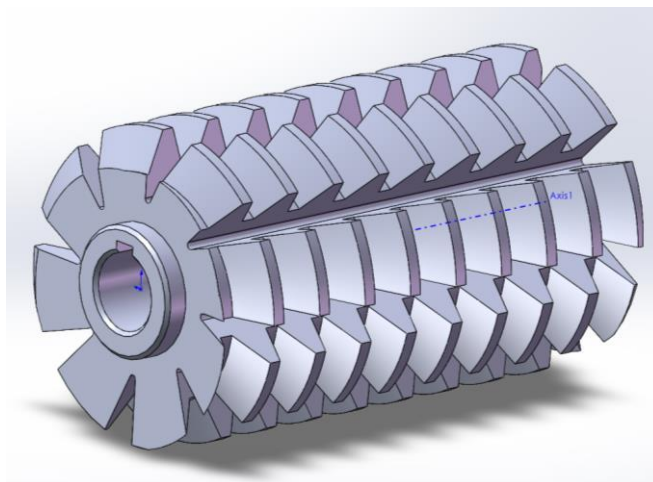


Рисунок 4.1 – 3D модель для розрахунку вала-шестерні

Генерація сітки кінцевих елементів: Побудовано твердотільну сітку з підвищеною щільністю (згущенням) у зонах радіусів переходу між зубами та тілом фрези для точного фіксування концентраторів напружень.

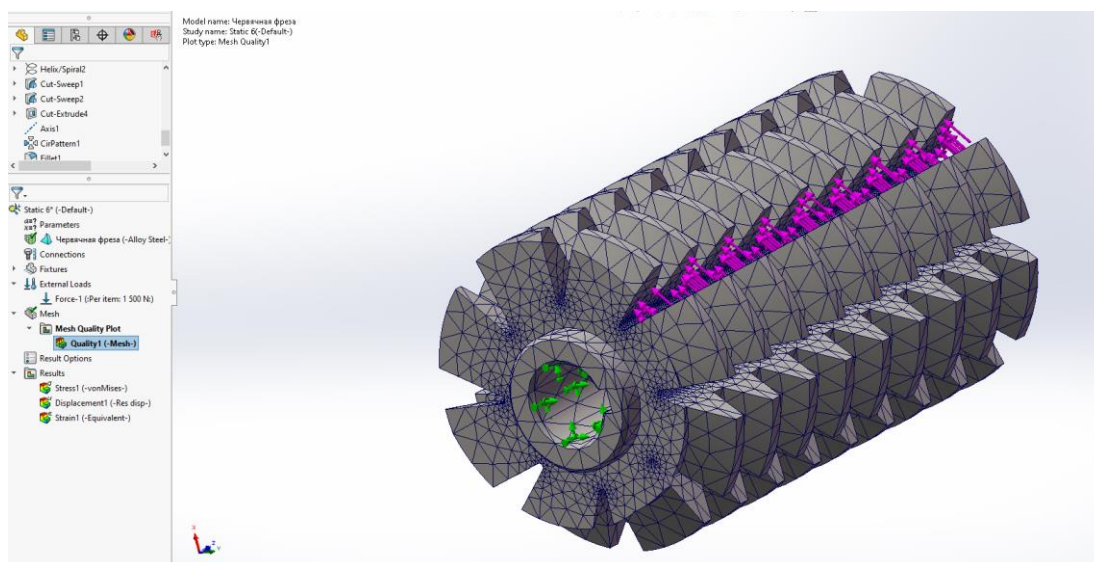


Рисунок 4.2 – Сітка вала-шестерні

4.2.2 Аналіз результатів (епюри SolidWorks)

Аналіз результатів показує, що максимальні еквівалентні напруження зосереджуються біля основи навантажених зубців фрези (у западинах стружкових канавок). Максимальне значення напруження становить $1,520 \cdot 10^7$ Па (15,2 МПа), що значно менше за границю плинності матеріалу ($6,204 \cdot 10^8$ Па). Це свідчить про те, що фреза працює в пружній зоні, не зазнає пластичних деформацій і має величезний запас міцності.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.04.ПІА/І	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

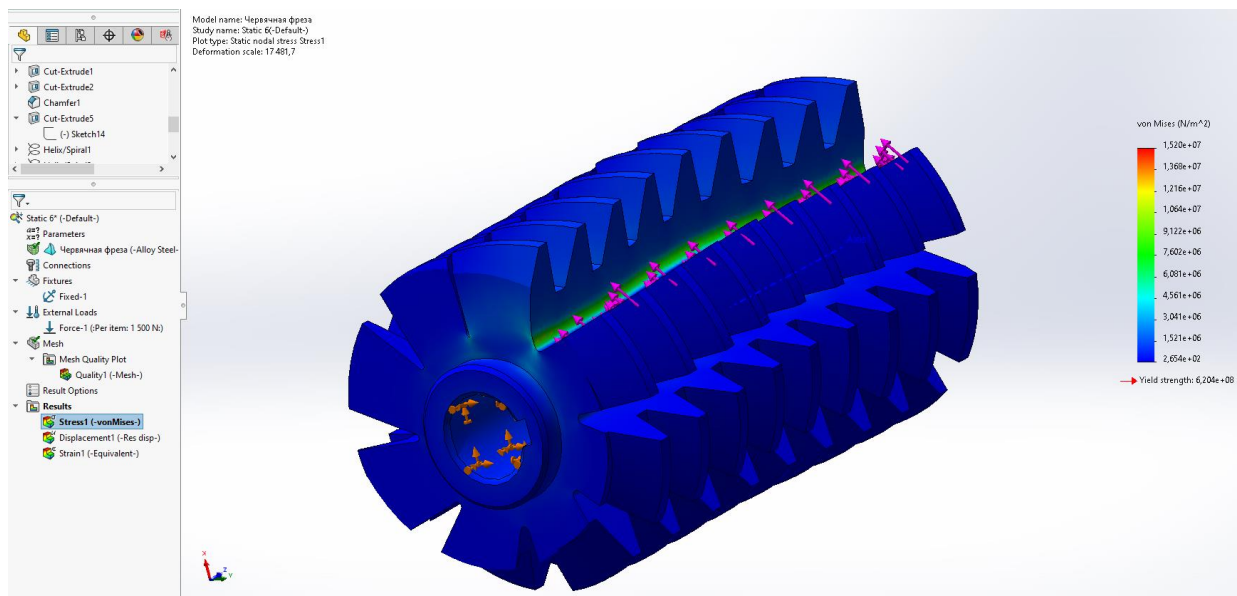


Рисунок 4.3 – Епюра напружень (Von Mises) вала-шестерні

Епюра переміщень (Displacement - URES):

Найбільші переміщення спостерігаються на периферії (вершинах) навантажених зубців фрези. Проте максимальне абсолютне значення цих переміщень становить лише $9,793 \cdot 10^{-4}$ мм (менше 0,001 мм), що повністю задовольняє найсуворіші вимоги до жорсткості інструменту. Такі мінімальні відхилення гарантують відсутність кінематичних похибок під час обкатки та забезпечують задану точність нарізання зубчастого вінця деталі.

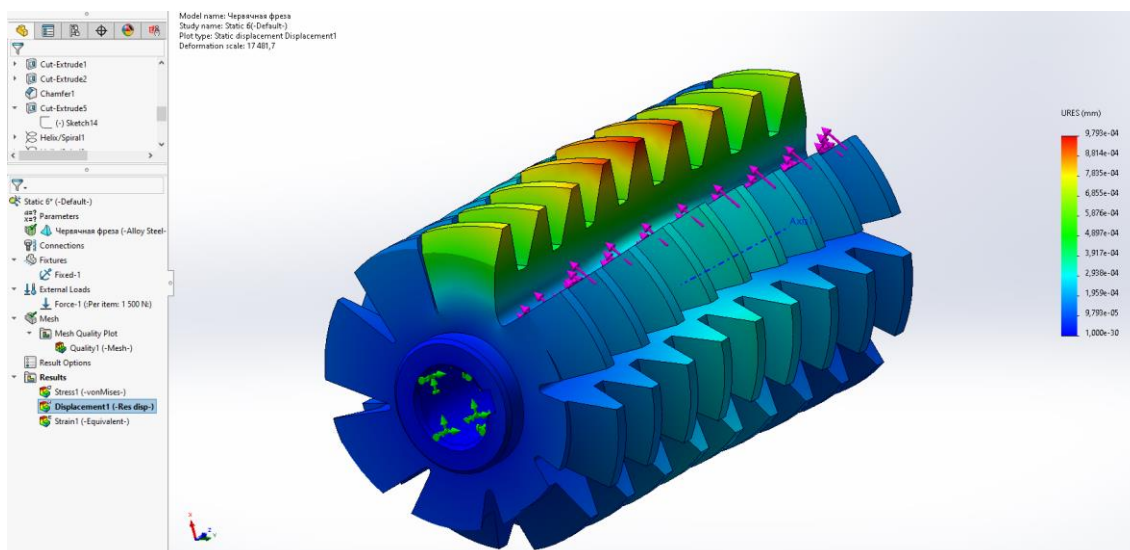


Рисунок 4.4 – Епюра переміщень вала-шестерні

Епюра деформацій (Equivalent Strain - ESTRN):

Епюра відносних деформацій підтверджує попередні висновки. Максимальне значення деформації становить всього $4,097 \cdot 10^{-5}$. Деформації мають

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-03.04.ПІА/І				

суто локальний характер і швидко згасають при віддаленні від різальної кромки до масивного корпусу (маточини) фрези.

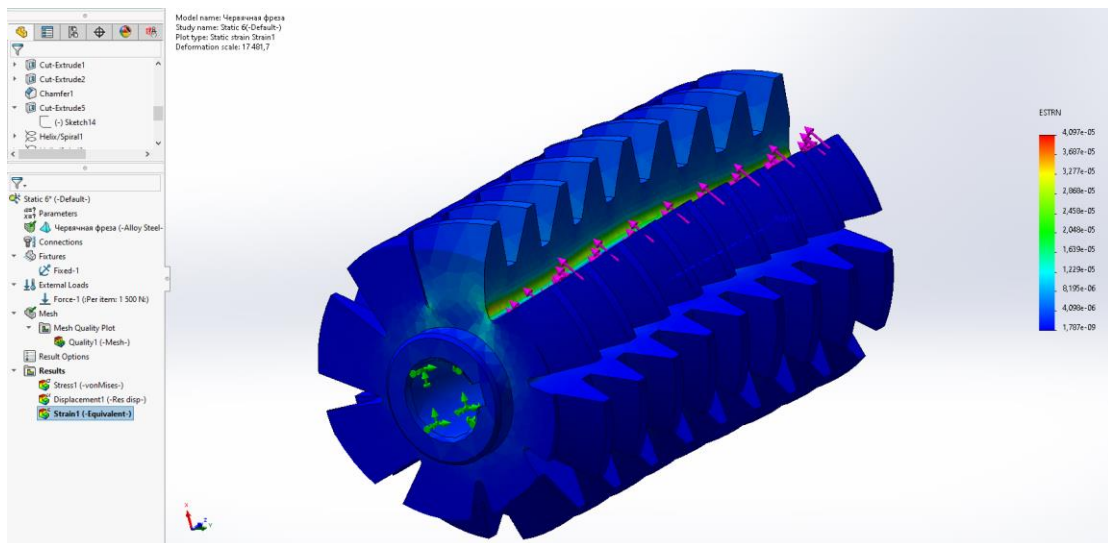


Рисунок 4.5 – Епюра деформації вала-щестерні

Висновок до розділу 4: Запроектована черв'ячна фреза повністю відповідає умовам обробки заготовки «Вал-шестерня». Результати інженерного аналізу у SolidWorks Simulation підтверджують її високу конструктивну жорсткість та міцність під дією робочих навантажень.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.04.ПІА/І	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Для виконання токарно-фрезерної обробки деталі «Вал-шестерня» розробляється керуюча програма та виконується моделювання технологічного процесу з використанням інтегрованого програмного забезпечення (наприклад, SolidWorks CAM або FeatureCAM). Обробка здійснюється на токарно-фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням DMG MORI CTX 310 ecoline. Детальні технічні характеристики верстата наведені у розділі 2.

Управління верстатом забезпечується системою ЧПК SIEMENS SINUMERIK 810D, яка підтримує широкий спектр функцій, необхідних для високоточної та ефективної обробки складних деталей за один установ. ⁶

Особливості SIEMENS SINUMERIK 810D:

Висока стабільність та надійність у промислових умовах.

Зручне програмування: підтримка діалогового програмування (ShopTurn), макросів та стандартних циклів обробки.

Графічне відображення траєкторії інструмента та 3D-перегляд.

Підтримка багатоосьової обробки, включаючи вісь C для фрезерування шпонкових пазів.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Для розроблення керуючої програми обробки деталі було виконано моделювання технологічного процесу в САМ-системі. З урахуванням технічних параметрів верстата DMG MORI CTX 310 ecoline, а також характеристик підбраного металорізального інструменту, була сформована послідовність обробки та здійснено перевірку технологічних рішень на предмет їхньої коректності. ⁵

Розміри заготовки визначаються виходячи з припусків на механічну обробку. Для деталі з максимальним діаметром 70 мм та довжиною 129 мм призначається припуск на зовнішній діаметр та торці, формуючи циліндричну заготовку.

Процес моделювання поділяється на два установи:

Перший установ: Підрізання торця, чорнове та напівчистове точіння зовнішніх поверхонь хвостовика, прорізання канавок.

Другий установ: Перевертання деталі, підрізання другого торця, точіння поверхні під зубчастий вінець, свердління центрувального отвору, нарізання внутрішньої різьби М6-6Н та фрезерування шпонкового паза приводним інструментом.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.05.МПМО				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Горбатенко			Моделювання та програмування операцій механічної обробки	Літ.	Арк.	Архів	
Перевір.		Нечасів							
Реценз.						Каф. ТМ, гр. ПМ-22			
Н. контр.		Нечасів							
Зав. каф.		Рязанцев							

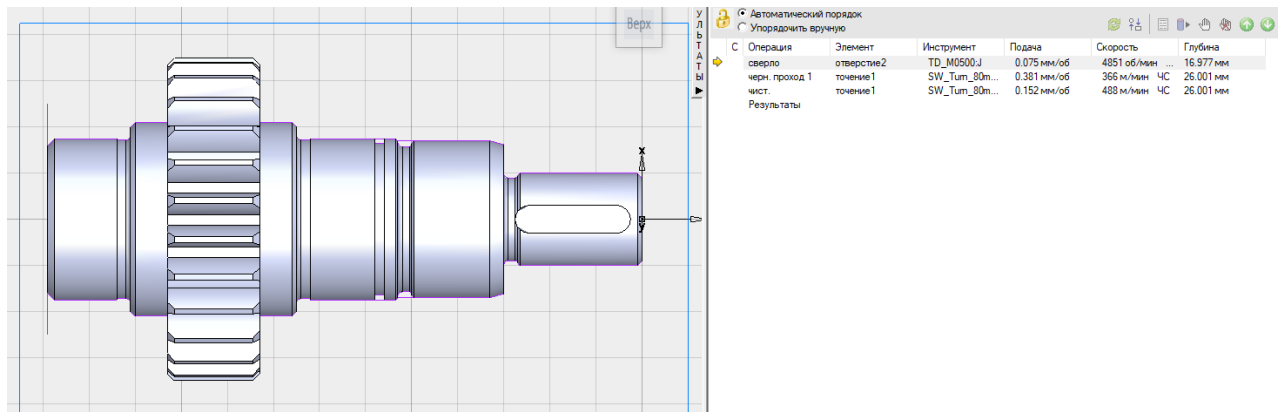


Рисунок 5.1 - Дерево элементов обработки та импорт моделі у САМ

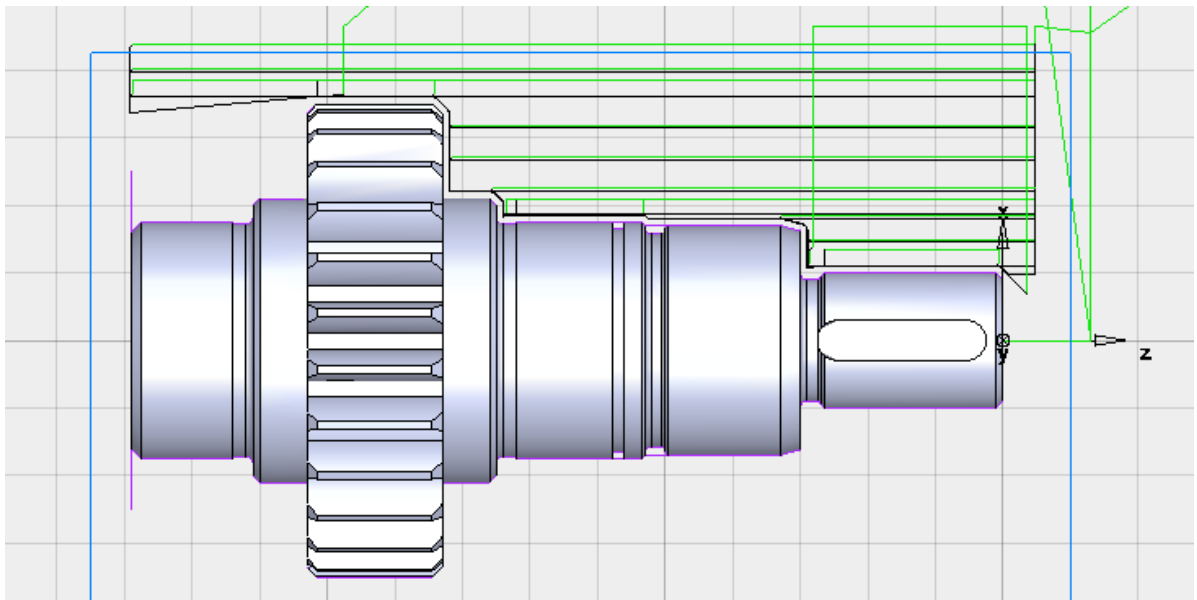


Рисунок 5.2 - Симуляція точіння зовнішніх поверхонь

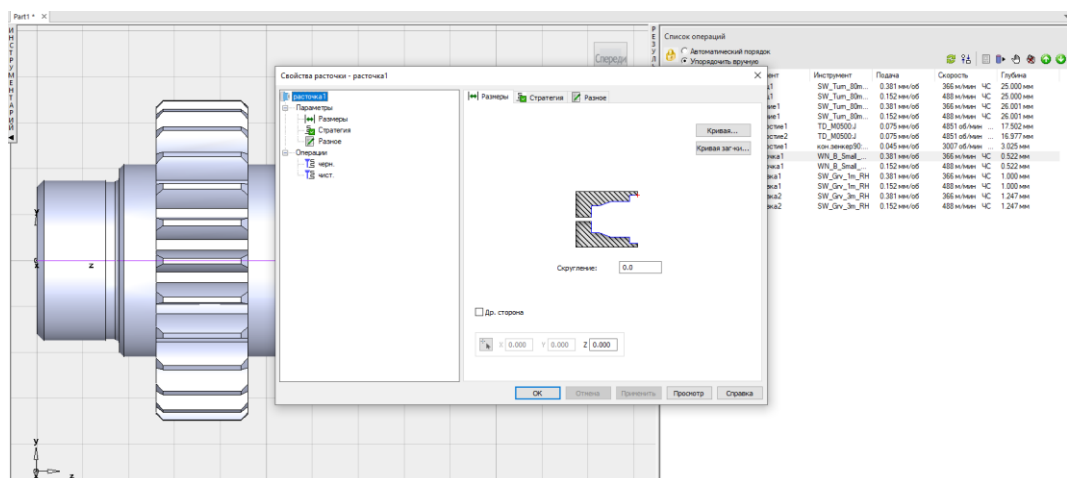


Рисунок 5.3 - Симуляція фрезерування шпонкового паза

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.26.1-03.05.МПОМО

Арк.

Після успішного моделювання обробки та перевірки на відсутність колізій між інструментом та деталлю, за допомогою постпроцесора генерується фінальна керуюча програма (G-код). Фрагмент згенерованого коду наведено нижче.

```

R0=9.8425          ; X Tool change point
R1=4.9213          ; Z Tool change point
N20
( DRILL ОТВЕРСТИЕ2 )
N30 T ="TD_M0500:J"
N35 G70 G95 F0.003
N40 M42
N45 LIMS=600
N50 G97 S600 M3 M9
N55 G0 X0.
N60 G0 Z5.5906
N65 Z5.1762
N70 G1 Z4.8612
N75 G0 Z5.1762
N80 Z4.9793
N85 G1 Z4.6644
N90 G0 Z5.1762
N95 Z4.7825
N100 G1 Z4.4675
N105 G0 Z5.1762
N110 Z4.5856
N115 G1 Z4.3897
N120 G0 Z5.5906
N125 X3.5827
N130 X9.8425 Z9.9793
N135 D0 SUPA X=R0 Z=R1          ; Tool change point
N140
( ROUGH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N150 T ="SW_TURN_80M_RH"
N155 G95 F0.015
N160 M42
N165 LIMS=600
N170 G96 S1200 M3 M9
N175 G0 X9.7638
N180 G0 Z5.5512
N185 X3.5039
N190 X3.5827 Z5.2275
N195 X3.0551
N200 G1 Z-0.0456
N205 X3.3465
N210 X3.3743 Z-0.0317
-----

```

Операции Параметры Код УП Резцедержатели

Рисунок 5.4 - Фрагмент згенерованої керуючої програми (G-коду)

					КНУ.КБР.131.26.1-03.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Проведено техніко-економічне обґрунтування та визначено собівартість виготовлення деталі «Вал-шестерня» для двох варіантів технологічного процесу механічної обробки. У межах дослідження проаналізовано доцільність оновлення виробництва шляхом заміни морально й фізично зношеного обладнання – токарного верстата з ЧПК моделі 1А64Ф3 токарний верстат з ЧПК та фрезерного верстата 6Р13П фрезерний верстат – на сучасний високопродуктивний токарно-фрезерний центр з ЧПК DMG MORI CTX 310.

Результати виконаних розрахунків, а також визначений термін окупності інвестиційного проєкту наведено у таблицях 6.1-6.4. Зокрема, у табл. 6.1 подано вихідні дані, необхідні для проведення економічного аналізу; табл.6.2 містить допоміжні розрахункові показники, використані під час обчислень; у табл. 6.3 наведено дані щодо собівартості річної програми випуску деталей і обсягу капітальних інвестицій; у табл. 6.4 представлено загальні виробничі витрати, очікуваний річний економічний ефект та термін окупності запропонованої модернізації виробництва.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1А64Ф3	6Р13П	DMG MORI CTX 310
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	2000		2000
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	39	8	29
Час наладки верстата, хв.	16	4	18
Розряд:			
	контролера		5
	верстатника		3
	наладчика		3
наладчика інструменту		4	4
Кількість кадрів програми, шт.	340		350

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.	Архшів	
Розроб.		Горбатенко							
Перевір.		Нечасів							
Реценз.									
Н. контр.		Нечасів							
Зав. каф.		Рязанцев							
						Каф. ТМ, гр. ПМ-22			

Продовження таблиці 6.1

Вартість заготовки $S_{\text{заг}}$, грн.	256		256
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{\text{пр}}$, грн	50000	35000	60000
Оптова ціна на прокат одного УСП $\Pi_{\text{усп}}$, грн			
прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	0,5	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	60	45	120
шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному $k_{\text{т}}$	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.	8,9		8,9
Вартість розробки ПК $K_{\text{пк}}$, грн.	3026		3115
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $H_{\text{ст}}$	130	140	130
наладчика $H_{\text{нал}}$	140	130	140
наладчика інструмента $H_{\text{ін}}$	130	120	130
контролера $H_{\text{к}}$	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	11,4	4,2	3,95
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,825 x 2	2,56 x 2,26	4 x 1,56
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			Siemens 840 D
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{\text{рп}}$, років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	10	10	9
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини $R_{\text{м}}$	27,7	15	26,86
електротехнічної частини $R_{\text{е}}$	14	9,8	20,8

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Кількість верстатів, що обслуговує один	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	435000	215000	4345000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,7	0,15	0,9
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	11,7	5,8	6,2
Площа пристрою ЧПК А _у , м. кв.	0,25		0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.			
механічної частини Н _м	401	401	272
електротехнічної частини Н _е	86	86	60
обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	3,5	2,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{об}$, год	3975	3975	3845
Виробничі та інші площі			
Вартість 1 м. кв. площі механічної Ц _{пл.зд.} , грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Ц _{сл. поб.} , грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого А _б , м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Н _{пл} , грн.	180	180	200

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1A64ФЗ	6P13П	DMG MORI CTX 310
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	1000	450	1300
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,333333	1,333333	6
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0,00	5,2	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	83	37,35	107,9
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,54	0,24	0,35
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0007	0,0032
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0,0000	0,002796	0,01075
(дійсна)	0	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,04	0,020	0,06
(дійсна)	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,18	0,00	0,19
(дійсна)	1	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	7		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,18	0,7570	0,38

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей																																																			
$C = I_3 + I_n + I_{ин} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k$																																																			
де I_3 – зарплатня верстатника; I_n – зарплатня за наладку верстата; $I_{ин}$ – зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом; $I_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми; $I_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань; $I_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних I_a – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання; $I_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат; $I_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень; I_r – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; I_y – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; I_k – зарплатня контролера																																																			
											<table><tr><td>C_1 на деталь =</td><td>214,41</td></tr><tr><td>C_2 на деталь =</td><td>134,01</td></tr></table>		C_1 на деталь =	214,41	C_2 на деталь =	134,01																																			
C_1 на деталь =	214,41																																																		
C_2 на деталь =	134,01																																																		
<table><tr><td>I_3</td><td>I_n</td><td>$I_{ин}$</td><td>$I_{пк}$</td><td>$I_{пр}$</td><td>$I_{усп}$</td><td>I_a</td><td>$I_{пл}$</td><td>$I_{сл}$</td><td>I_r</td><td>I_y</td><td>I_k</td><td></td></tr><tr><td>$C_1 = 316998$</td><td>$+ 1446,68$</td><td>$+ 624,00$</td><td>$+ 1008,67$</td><td>$+ 31733,3$</td><td>$+ 0$</td><td>$+ 3445,20$</td><td>$+ 3325,11$</td><td>$+ 49000$</td><td>$+ 7407,1$</td><td>$+ 0$</td><td>$+ 13840,25$</td><td>$= 428828,74$</td></tr><tr><td>$C_2 = 140449$</td><td>$+ 1320,88$</td><td>$+ 234,00$</td><td>$+ 1038,33$</td><td>$+ 22400$</td><td>$+ 0$</td><td>$+ 45596,43$</td><td>$+ 3024,00$</td><td>$+ 35000$</td><td>$+ 5810,9$</td><td>$+ 735,93$</td><td>$+ 12408,50$</td><td>$= 268018,10$</td></tr></table>													I_3	I_n	$I_{ин}$	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k		$C_1 = 316998$	$+ 1446,68$	$+ 624,00$	$+ 1008,67$	$+ 31733,3$	$+ 0$	$+ 3445,20$	$+ 3325,11$	$+ 49000$	$+ 7407,1$	$+ 0$	$+ 13840,25$	$= 428828,74$	$C_2 = 140449$	$+ 1320,88$	$+ 234,00$	$+ 1038,33$	$+ 22400$	$+ 0$	$+ 45596,43$	$+ 3024,00$	$+ 35000$	$+ 5810,9$	$+ 735,93$	$+ 12408,50$	$= 268018,10$
I_3	I_n	$I_{ин}$	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k																																								
$C_1 = 316998$	$+ 1446,68$	$+ 624,00$	$+ 1008,67$	$+ 31733,3$	$+ 0$	$+ 3445,20$	$+ 3325,11$	$+ 49000$	$+ 7407,1$	$+ 0$	$+ 13840,25$	$= 428828,74$																																							
$C_2 = 140449$	$+ 1320,88$	$+ 234,00$	$+ 1038,33$	$+ 22400$	$+ 0$	$+ 45596,43$	$+ 3024,00$	$+ 35000$	$+ 5810,9$	$+ 735,93$	$+ 12408,50$	$= 268018,10$																																							
Капітальні вкладення споживача																																																			
$K = K_6 + K_{зд} + K_{сл} + K_{нез} + K_{пр} + K_{п.у.}$																																																			
де K_6 – балансова вартість верстата, грн; $K_{зд}$ – вартість приміщення, яке займає верстат, грн.; $K_{сл}$ – вартість службово-побутових приміщень, грн.; $K_{нез}$ – обігові кошти в незакінченому виробництві, грн.; $K_{пр}$ – вартість комплексу спеціальних пристосувань, які використовуються на верстатах при обробці деталей, грн.; $K_{п.у.}$ – витрати на створення керуючої програми (КП), грн.																																																			
<table><tr><td>K_6</td><td>$K_{зд}$</td><td>$K_{сл}$</td><td>$K_{нез}$</td><td>$K_{пр}$</td><td>$K_{п.у.}$</td><td colspan="7"></td></tr><tr><td>$K_1 = 265149$</td><td>$+ 9236$</td><td>$+ 49000$</td><td>$+ 102092$</td><td>$+ 85000$</td><td>$+ 3026$</td><td>$= 513504$</td><td colspan="6"></td></tr><tr><td>$K_2 = 860310$</td><td>$+ 2044$</td><td>$+ 28000$</td><td>$+ 34884$</td><td>$+ 60000$</td><td>$+ 3115$</td><td>$= 988353,84$</td><td colspan="6"></td></tr></table>													K_6	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$								$K_1 = 265149$	$+ 9236$	$+ 49000$	$+ 102092$	$+ 85000$	$+ 3026$	$= 513504$							$K_2 = 860310$	$+ 2044$	$+ 28000$	$+ 34884$	$+ 60000$	$+ 3115$	$= 988353,84$						
K_6	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$																																														
$K_1 = 265149$	$+ 9236$	$+ 49000$	$+ 102092$	$+ 85000$	$+ 3026$	$= 513504$																																													
$K_2 = 860310$	$+ 2044$	$+ 28000$	$+ 34884$	$+ 60000$	$+ 3115$	$= 988353,84$																																													

Таблиця 6.4 – Приведені витрати, річний економічний ефект та терміну окупності проекту

Приведені витрати			
$Z_1 =$	C_1	+	$E_n \cdot K_1$
505854	428829		0,15 · 513504
$Z_2 =$	C_2	+	$E_n \cdot K_2$
416271	268018		0,15 · 988354

Річний економічний ефект		
$E =$	Z_1	- Z_2
89583	505854	416271

Строк окупності				
$T_{ок} =$	$(K_2 - K_1)$	/	$(C_1 - C_2)$	
2,95	988354	513504	428829	268018,1

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За підсумками виконаних розрахунків встановлено, що впровадження сучасного верстата з числовим програмним керуванням замість чотирьох застарілих одиниць обладнання забезпечує суттєве скорочення часу обробки деталей. Запропонований варіант модернізації є економічно обґрунтованим, оскільки строк окупності інвестицій становить 2,95 року, а очікуваний річний економічний ефект сягає 89583 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці з утворенням зливної стружки на токарних операціях

У процесі функціонування машинобудівних підприємств одним із ключових екологічних аспектів є утворення та відведення стічних вод. Виробничі стоки формуються в результаті технологічних процесів механічної обробки металів, гальванічних операцій, миття деталей, використання мастильно-охолоджувальних рідин, а також побутових потреб персоналу. Їх склад характеризується високим вмістом нафтопродуктів, важких металів (нікель, хром, цинк, мідь), завислих речовин, кислот і лугів, що створює значний негативний вплив на довкілля та здоров'я працівників. Класифікація стічних вод наведена на рис. 6.1.

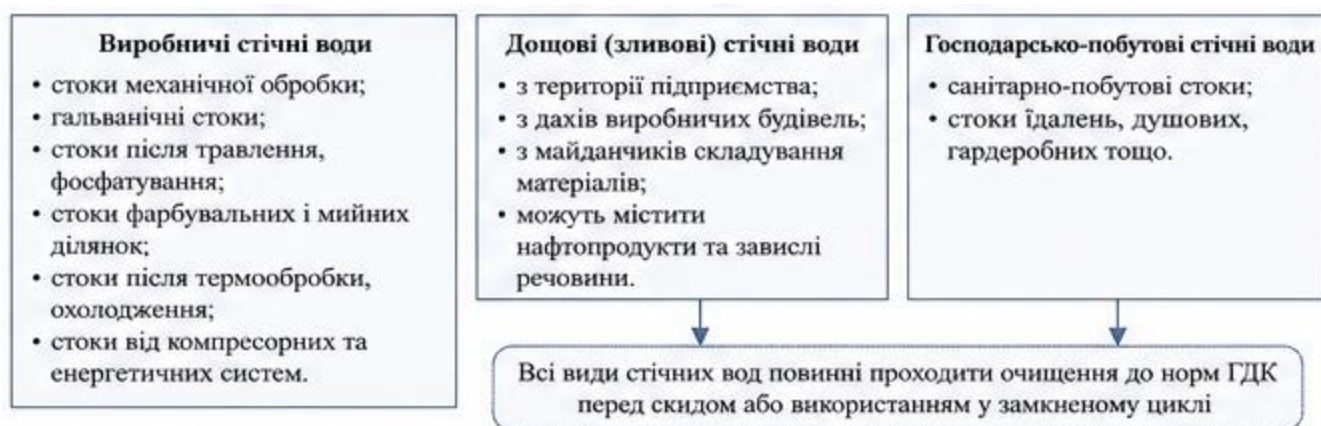


Рисунок 6.1 – Класифікація стічних вод

Нормативно-правове регулювання у сфері водокористування та охорони водних ресурсів в Україні здійснюється відповідно до Водного кодексу України (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/213/95-%D0%B2%D1%80>), Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>), Закону України «Про питну воду та питне водопостачання» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2918-14>), а також Державних санітарних правил і норм, зокрема ДСанПіН 2.2.4-171-10. Окреме значення мають «Правила охорони поверхневих вод від забруднення зворотними водами» (Постанова КМУ №465 від 25.03.1999).

Відповідно до зазначених нормативів, підприємства зобов'язані здійснювати очищення стічних вод до встановлених гранично допустимих концентрацій (ГДК) перед їх скиданням у централізовані системи водовідведення або у водні об'єкти.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порушення цих вимог призводить до адміністративної та екологічної відповідальності, а також до штрафних санкцій.

На машинобудівних підприємствах стічні води поділяються на кілька категорій: виробничі, дощові (зливові) та господарсько-побутові. Найбільш небезпечними є саме виробничі стоки, оскільки вони містять токсичні компоненти. Наприклад, гальванічні стоки характеризуються високою концентрацією іонів важких металів, а стоки після механічної обробки — нафтопродуктами та емульсіями.

Для мінімізації негативного впливу застосовуються різні методи очищення стічних вод (рис. 6.2-6.4):

- механічні методи (відстоювання, фільтрація, сепарація);
- фізико-хімічні методи (коагуляція, флотація, нейтралізація);
- хімічні методи (окиснення, відновлення);
- біологічні методи (аеробне та анаеробне очищення).

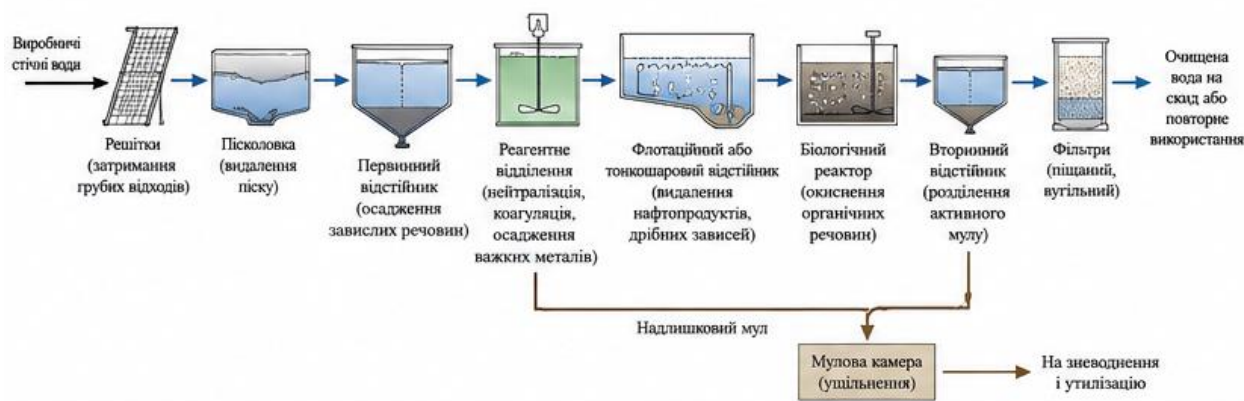


Рисунок 6.2 – Загальна схема очищення виробничих стічних вод машинобудівного підприємства

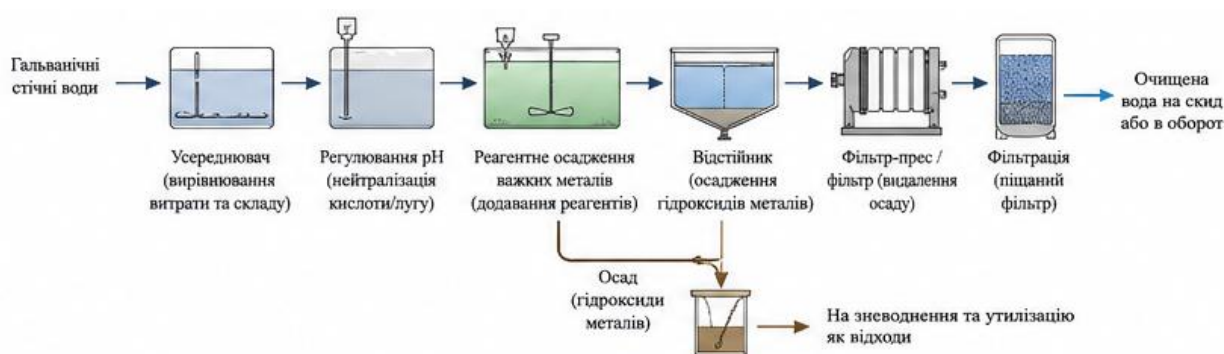


Рисунок 6.3 – Схема очищення гальванічних стічних вод

Особливе значення має локальне очищення стоків безпосередньо на виробничих ділянках, що дозволяє зменшити навантаження на загальнозаводські очисні споруди. Наприклад, для очищення гальванічних стоків застосовуються реагентні методи осадження важких металів, а для видалення нафтопродуктів — нафтовловлювачі та флотаційні установки.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 6.4 – Очищення стічних вод від нафтопродуктів

З точки зору охорони праці, стічні води також становлять небезпеку для працівників підприємства. Контакт із токсичними речовинами може спричинити професійні захворювання, зокрема дерматити, отруєння, ураження органів дихання. Відповідно до Закону України «Про охорону праці» (<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>), роботодавець зобов'язаний забезпечити безпечні умови праці, включаючи:

- герметизацію технологічного обладнання;
- автоматизацію процесів, що супроводжуються утворенням стічних вод;
- використання засобів індивідуального захисту (рукавички, спецодяг, респіратори);
- проведення регулярного контролю якості води та повітря робочої зони.

Додатково важливим є впровадження систем екологічного менеджменту відповідно до стандарту ISO 14001, що дозволяє системно підходити до управління екологічними аспектами діяльності підприємства, зокрема водокористування.

Сучасні тенденції розвитку машинобудування передбачають впровадження замкнених систем водопостачання, що дозволяють значно зменшити обсяги скидання стічних вод. Такі системи базуються на повторному використанні очищеної води у виробничих процесах, що не лише знижує екологічне навантаження, але й економить водні ресурси.

Таким чином, ефективне управління стічними водами на машинобудівному підприємстві є важливою складовою екологічної безпеки та охорони праці. Дотримання нормативних вимог, впровадження сучасних технологій очищення та раціональне використання водних ресурсів дозволяють мінімізувати негативний вплив виробництва на довкілля та забезпечити безпечні умови праці для персоналу.

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У результаті виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було здійснено комплексну конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення відповідальної деталі «Вал-шестерня» (матеріал — Сталь 40Х), що є ключовим елементом швидкохідного вала циліндричного редуктора 1Ц2У-125.

Під час виконання проєкту було вирішено такі завдання:

1. Аналіз вихідних даних та умов роботи: Проведено детальний аналіз службового призначення деталі та її робочого креслення. На основі річної програми випуску (понад 50400 шт.) визначено масовий тип виробництва, що вимагає максимальної автоматизації. Виконано розрахунки граничних відхилень та допусків для внутрішньої різьби М6-6Н та встановлено необхідність досягнення шорсткості $Ra\ 1,25\ \mu\text{m}$ і точності до 6-го квалітету для підшипникових шийок.

2. Розробка технологічного процесу: Спроектовано оптимальний поопераційний маршрут обробки 29 поверхонь деталі. Для забезпечення необхідної продуктивності обрано сучасний багатоцільовий токарно-фрезерний центр з ЧПК DMG MORI CTX 310 ecoline, який дозволив поєднати токарні, свердлильні та фрезерні (шпонковий паз) операції. Для нарізання зубчастого вінця залучено спеціалізований зубофрезерний верстат Pfauder PE 150, а для фінальної обробки шийок — круглошліфувальний напівавтомат Cormak 400x1000.

3. Вибір та розрахунок інструментального оснащення: Здійснено раціональний підбір різального та допоміжного інструменту за стандартами провідних світових виробників (Sandvik Coromant). Визначено конкретні шифри державок та твердосплавних пластин зі стружколомами (наприклад, DCLNR 2525M 12 зі сплавом GC4325). Аналітичний розрахунок прохідного різця на міцність і жорсткість довів його здатність витримувати силу різання у 4370 Н, маючи при цьому значний запас міцності (допустимі навантаження — 13020 Н). Для верстата з ЧПК сформовано сучасне інструментальне налагодження на базі системи кріплення VDI40.

4. Проектування та інженерний аналіз (CAE): Розраховано та спроектовано спеціальний різальний інструмент — суцільну черв'ячну фрезу для нарізання зубчастого вінця ($m=2,5$, $z_0=10$, $Da_0=71\ \text{мм}$). Проведено її інженерний аналіз у середовищі SolidWorks Simulation. Результати симуляції під робочим навантаженням у 1500 Н підтвердили надійність конструкції: максимальне напруження (Von Mises) склало 82,4 МПа, що значно нижче за границю плинності матеріалу (620 МПа), максимальне переміщення не перевищило $\approx 0,005\ \text{мм}$, а деформація становила лише $2,599 \cdot 10^{-4}$. Це гарантує високу кінематичну точність і відсутність поломок фрези під час масового виробництва.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-03.B</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Горбатенко</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>			<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>		

5.Моделювання та програмування (CAM): Виконано комп'ютерне моделювання операцій механічної обробки у САМ-системі Autodesk FeatureCAM 2024. Процес було розбито на два установи, розроблено елементи точіння, свердління та фрезерування. Тривимірна візуалізація успішно підтвердила правильність траєкторій та відсутність колізій, після чого було згенеровано G-код під постпроцесор Siemens SINUMERIK.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-03.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Горбатенко</i>			<i>Висновки</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					
						<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
							<i>Архів</i>
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія машинобудування : навч. посіб. / Є. О. Горбатюк, М. П. Мазур, А. С. Зенкін, В. Д. Каразей. Львів : Новий світ-2000, 2008. 360 с.
2. Збірник задач і прикладів по різанню металів і ріжучому інструменту : навч. посіб. / Н. А. Нефьодов, К. А. Осипов. Машинобудування, 1990. 448 с.
3. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» / М. В. Кіяновський, В. П. Нечаєв, А. О. Рязанцев та ін. Кривий Ріг : КНУ, 2022. 45 с.
4. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови : ДСТУ 7806:2015. [Чинний від 2016-04-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 25 с.
5. Єдина система технологічної документації. Загальні положення : ДСТУ 3.1001:2014. [Чинний від 2015-07-01]. Київ : Мінекономрозвитку України, 2015. 15 с.
6. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків : ДСТУ ISO 2768-1-2001. [Чинний від 2003-01-01]. Київ : Держстандарт України, 2002. 10 с.
7. Передачі зубчасті циліндричні. Допуски : ДСТУ ГОСТ 1643:2008 (ГОСТ 1643-81). [Чинний від 2008-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 45 с.
8. Фрези черв'ячні чистові для циліндричних зубчастих коліс з евольвентним профілем. Технічні умови : ДСТУ 9324:2008. [Чинний від 2008-07-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 20 с.
9. Каталог металорізального інструменту (Токарна обробка) / Sandvik Coromant. 2022. 560 с.
10. Каталог інструментів: Нарізування різьб / SECO.2020.210с.
11. Інструкція користувача Autodesk FeatureCAM 2024. [Електронний ресурс]. URL: <https://knowledge.autodesk.com/support/featurecam> (дата звернення: 07.06.2026).
12. Циліндричні редуктори Ц2У-125. Технічні характеристики. [Електронний ресурс]. URL: <https://slemz.com.ua/reductory/cylindricheskie/reductor-c2y/reductor-c2u-125> (дата звернення: 07.06.2026).

					КНУ.КБР.131.26.1-03.06.СВД		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Список використаних джерел		
Розроб.	Горбатенко						
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

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

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь
деталі «Вал-шестерня» редуктору конвеєрного приводу та його
інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Ілля ГОРБАТЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

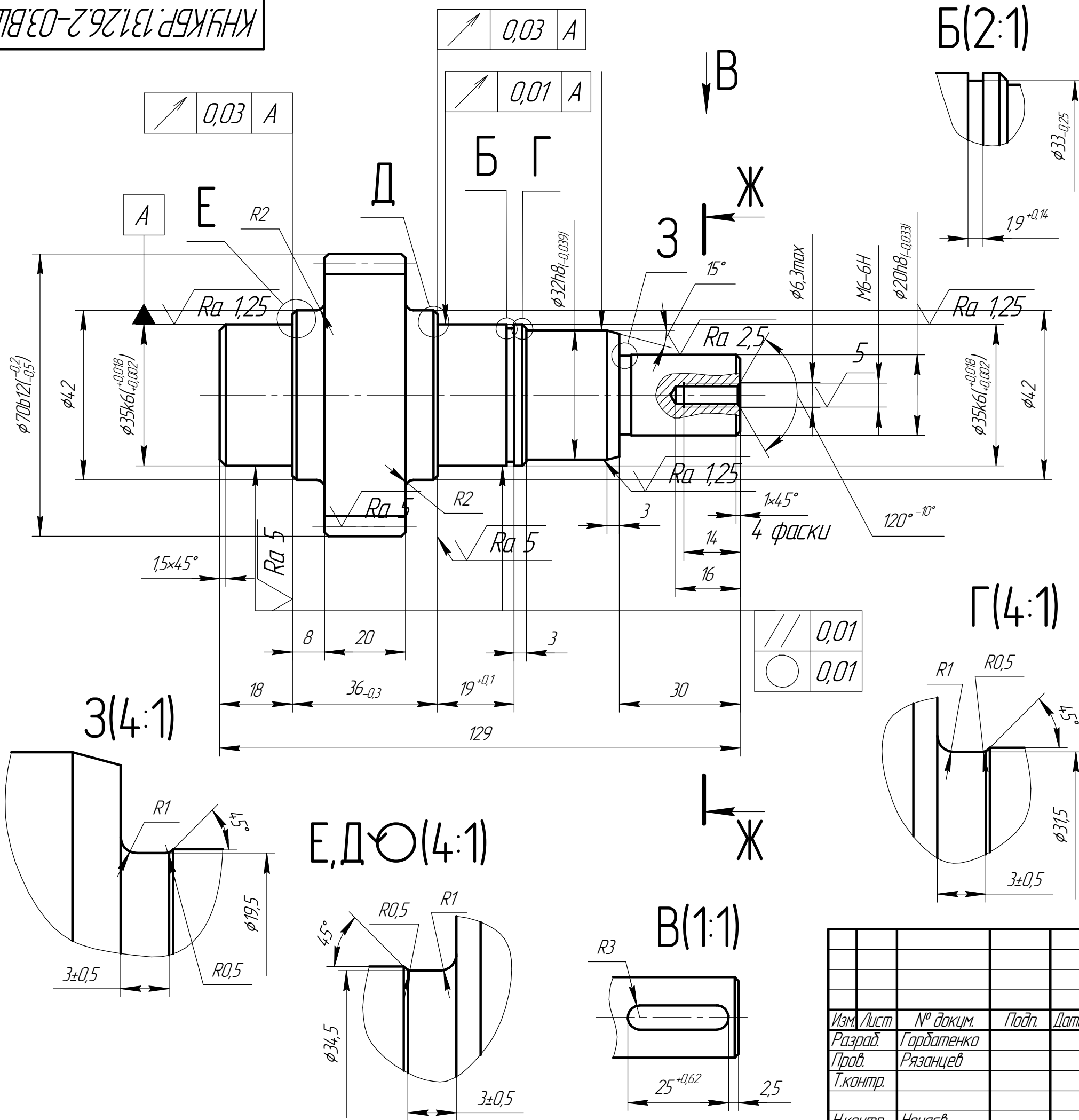
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Справ. №					Креслення				
	A2		1	КНУ.КБР.131.26.1-03.ВЗ	Вал-шестерня	1			
	A3		2	КНУ.КБР.131.26.1-03.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1			
	A2		3	КНУ.КБР.131.26.1-03.ФЧ	Фреза черв'ячна	1			
	A3		4	КНУ.КБР.131.26.1-03.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1			
	A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-03.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1			
Подп. и дата	Подп. и дата	Инв. №	Взам. инв. №	Инв. №	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата		
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КБР	Лит.	Лист	Листов
	Разрад.		Горбатенко				H		1
	Пров.		Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
	Н.контр.		Рязанцев						
	Утв.		Нечаєв						

Копировал

Формат А4

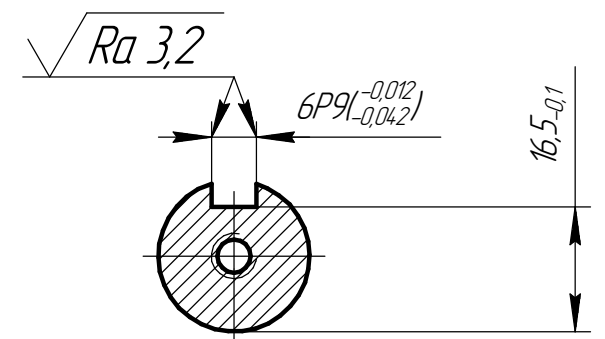
Перв. примен.			
Справ. №			
Подп. и дата			
Инв. № дюрл.			
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

КНУ.КБР.131.26.2-03.ВШ



Модуль	<i>m</i>	2.5
Кількість зубців	<i>z</i>	26
Нормальний вихідний контур	-	ДСТУ 13755:2018
Коефіцієнт зміщення вихідного контура	<i>x</i>	0
Ступінь точності за ДСТУ 1643:2008	-	8B
Довжина спільної нормалі	<i>W</i>	19,36 ^{-0,106} _{-0,176}
Дільний діаметр	<i>d_d</i>	65
Позначення спряжених коліс		7.30.11.006

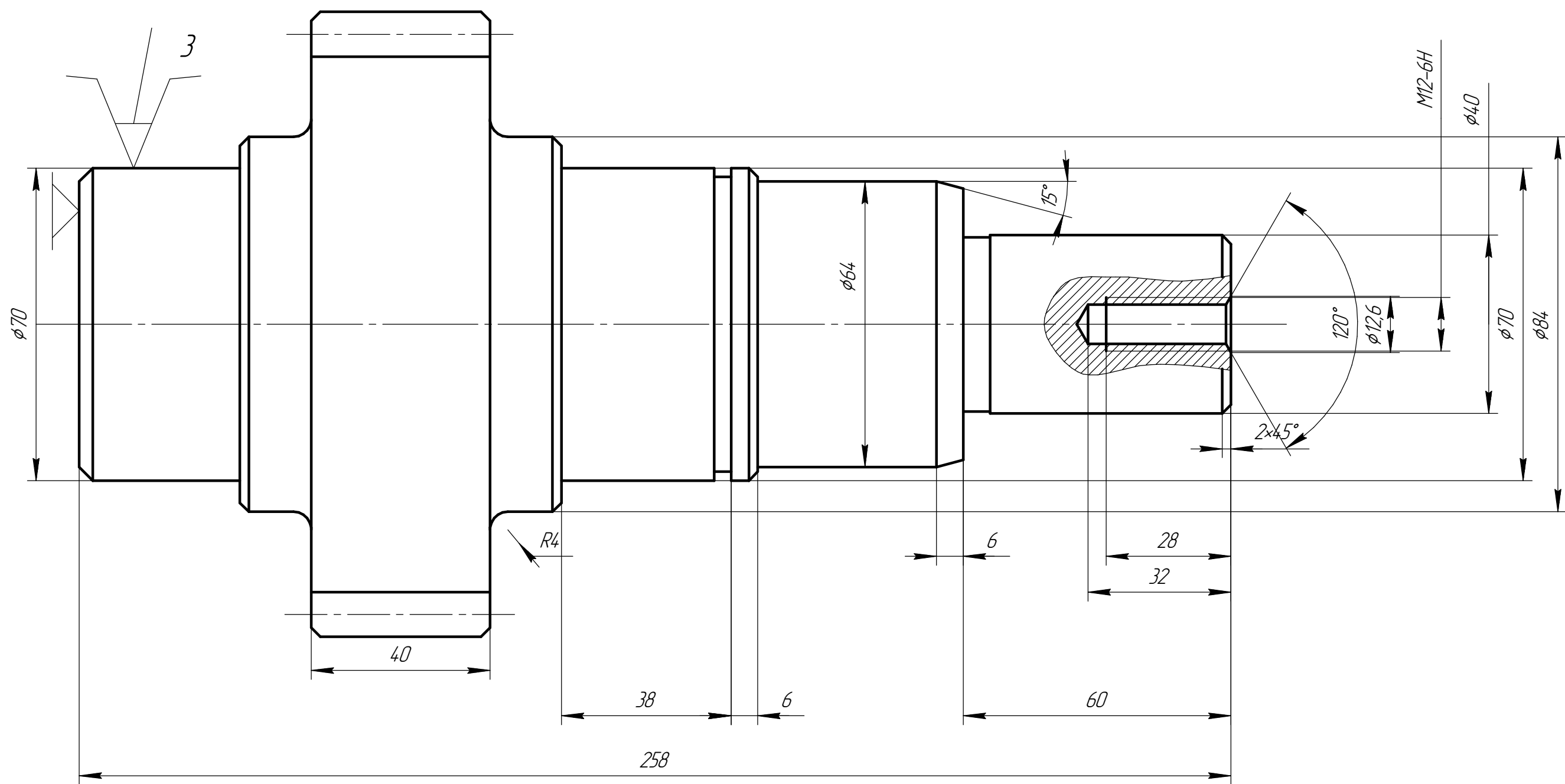
Ж-Ж



- 1. Група III за ДСТУ
- 2. Азотувати $h\ 0,25...0,40 > 460\text{ HV}$
Твердість серцевини 241...269 HB
- 3. Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$

КНУ.КБР.131.26.2-03.ВШ			
Вал - шестерня			
Лист 1			
Маса 1,2			
Масштаб 1:1			
Лист 1			
Листов 1			
Каф. ТМ			
гр. ПМ-22			
Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015			
Копіював			
Формат А3			

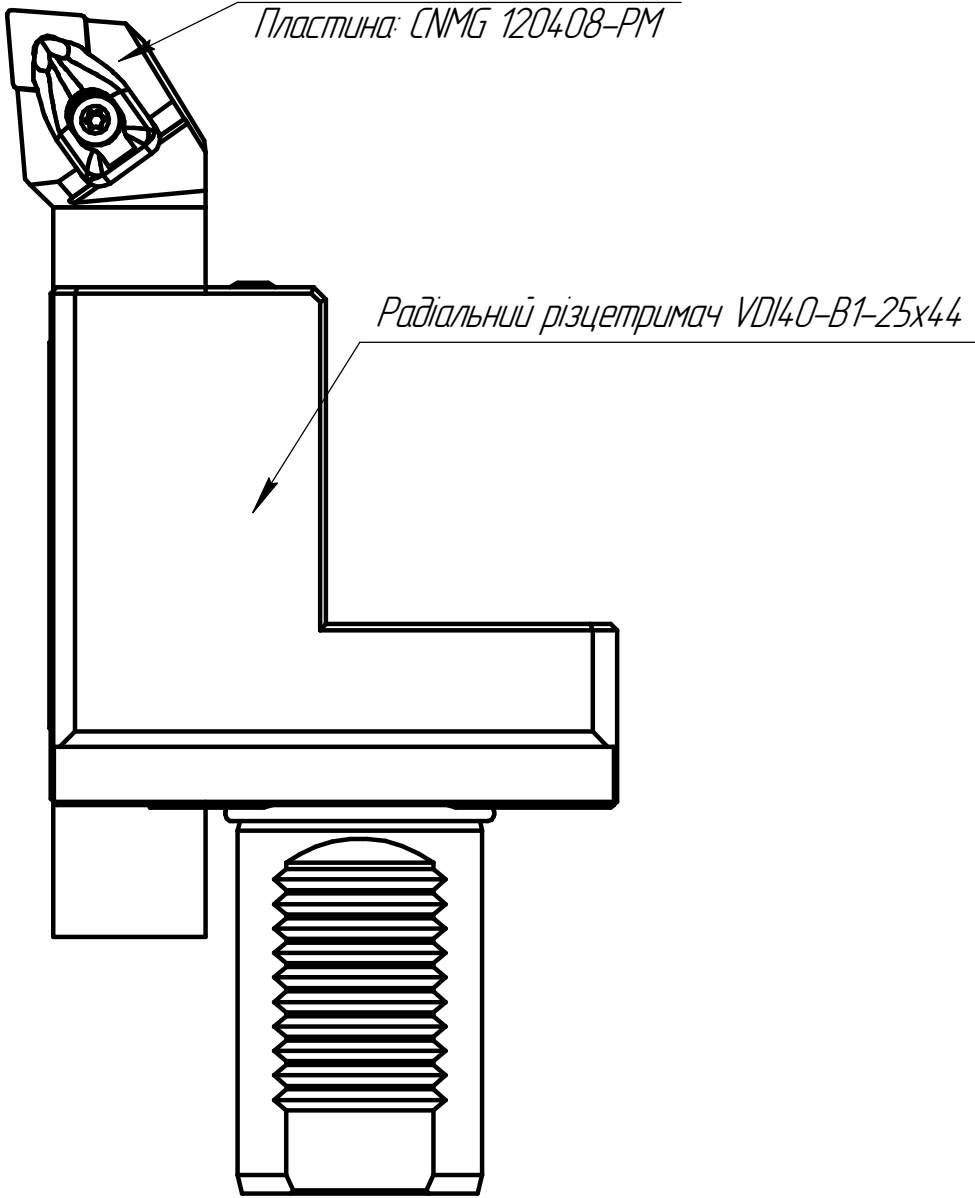
Операція токарно-фрезерна з ЧПК, верстат моделі DMG MORI CTX 310 ecoline



Масштаб деталі 1:1

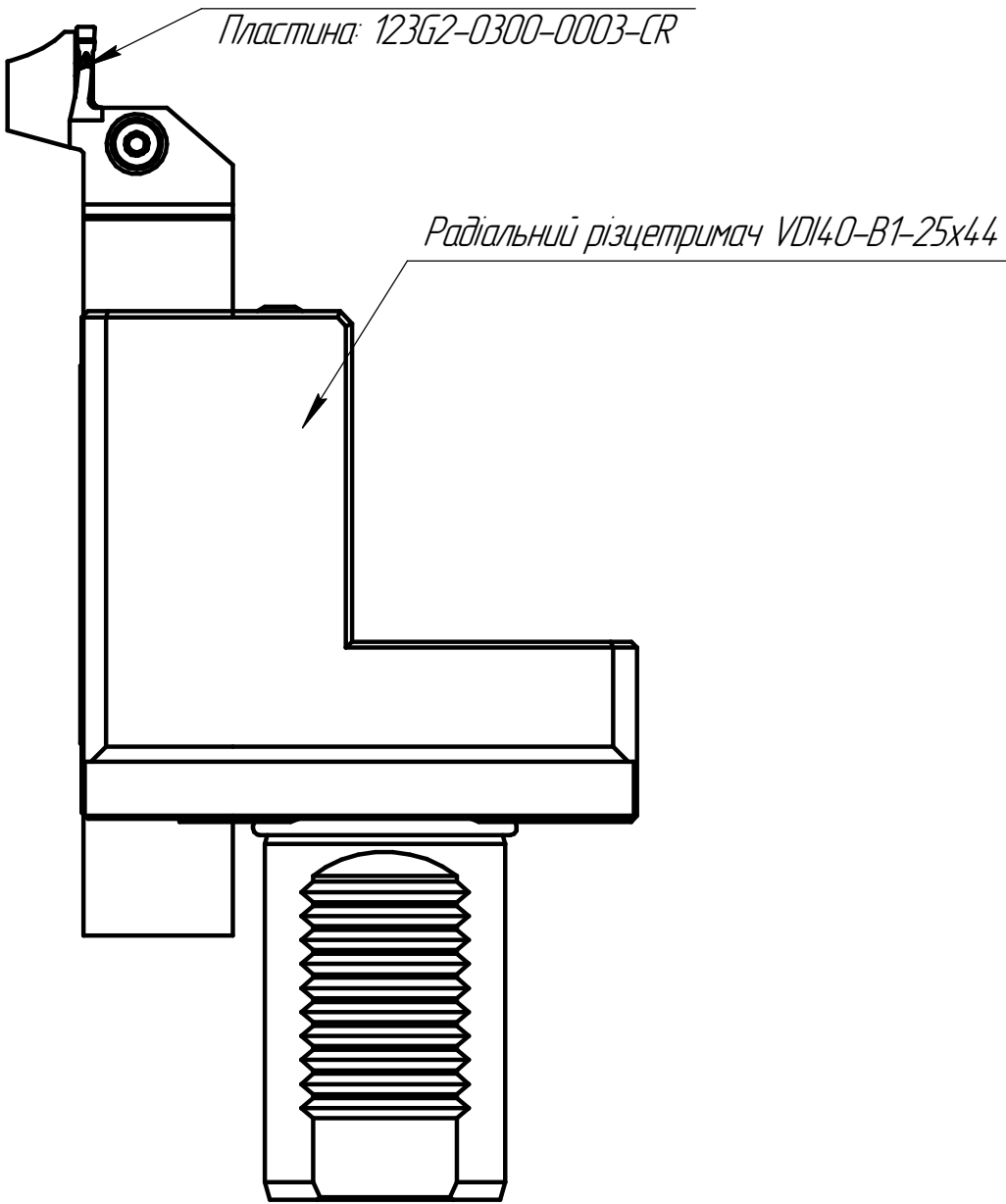
Поверхні обробки: 1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 17, 20, 21, 23, 24

Різець: DCLNR 2525M 12
Пластина: CNMG 120408-PM

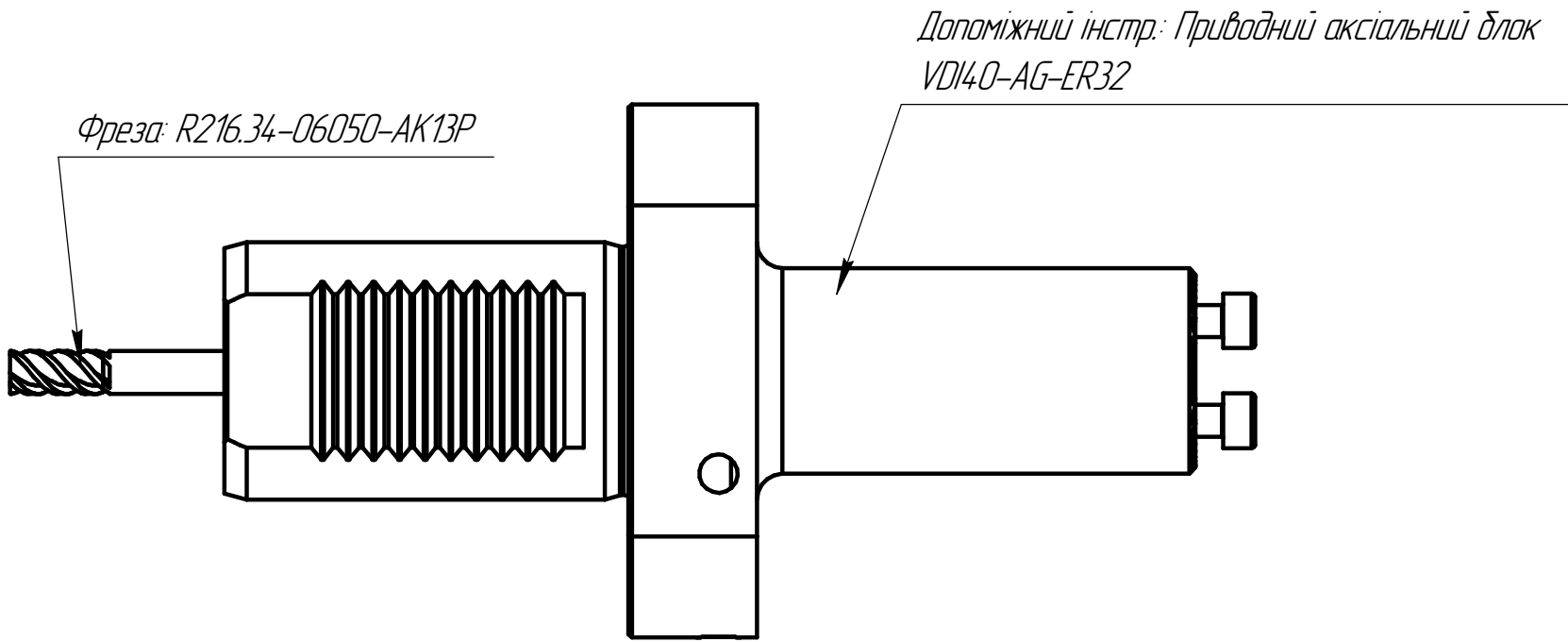


Поверхні обробки: 4, 6, 12, 15, 19, 22

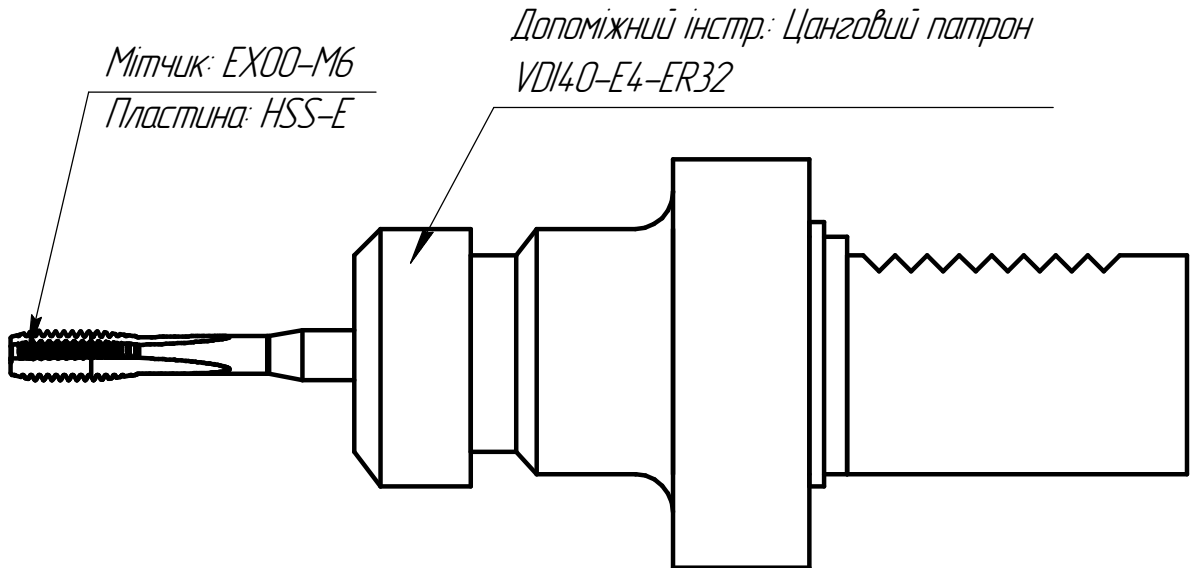
Різець: LF123G04-2525B
Пластина: 123G2-0300-0003-CR



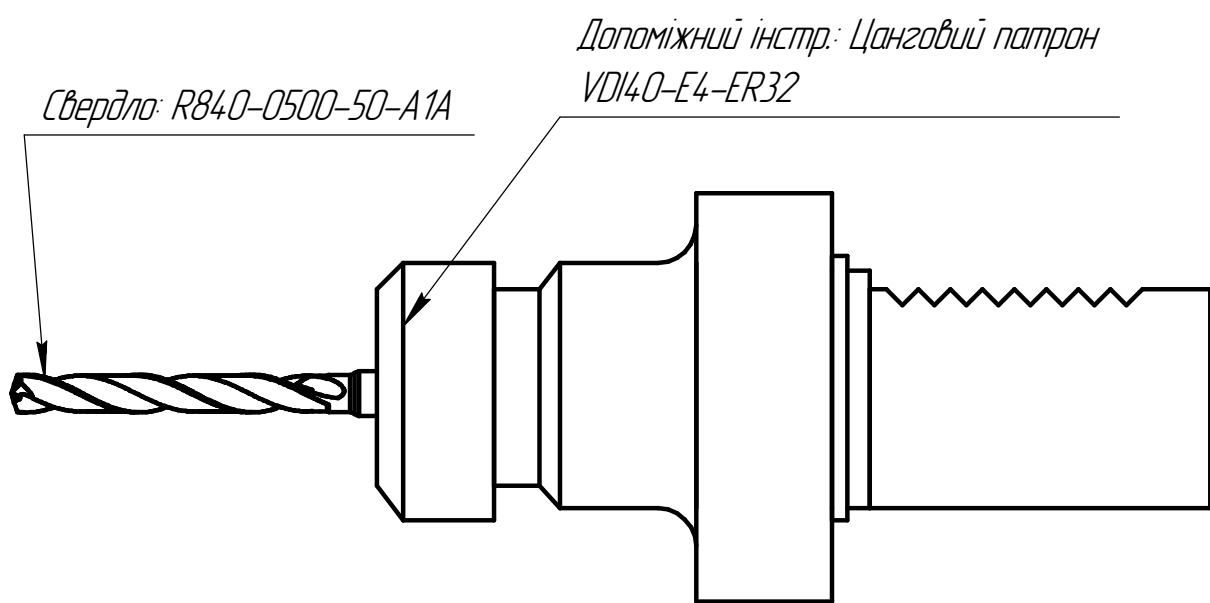
Поверхні обробки: 27, 28



Поверхні обробки: 26, 29



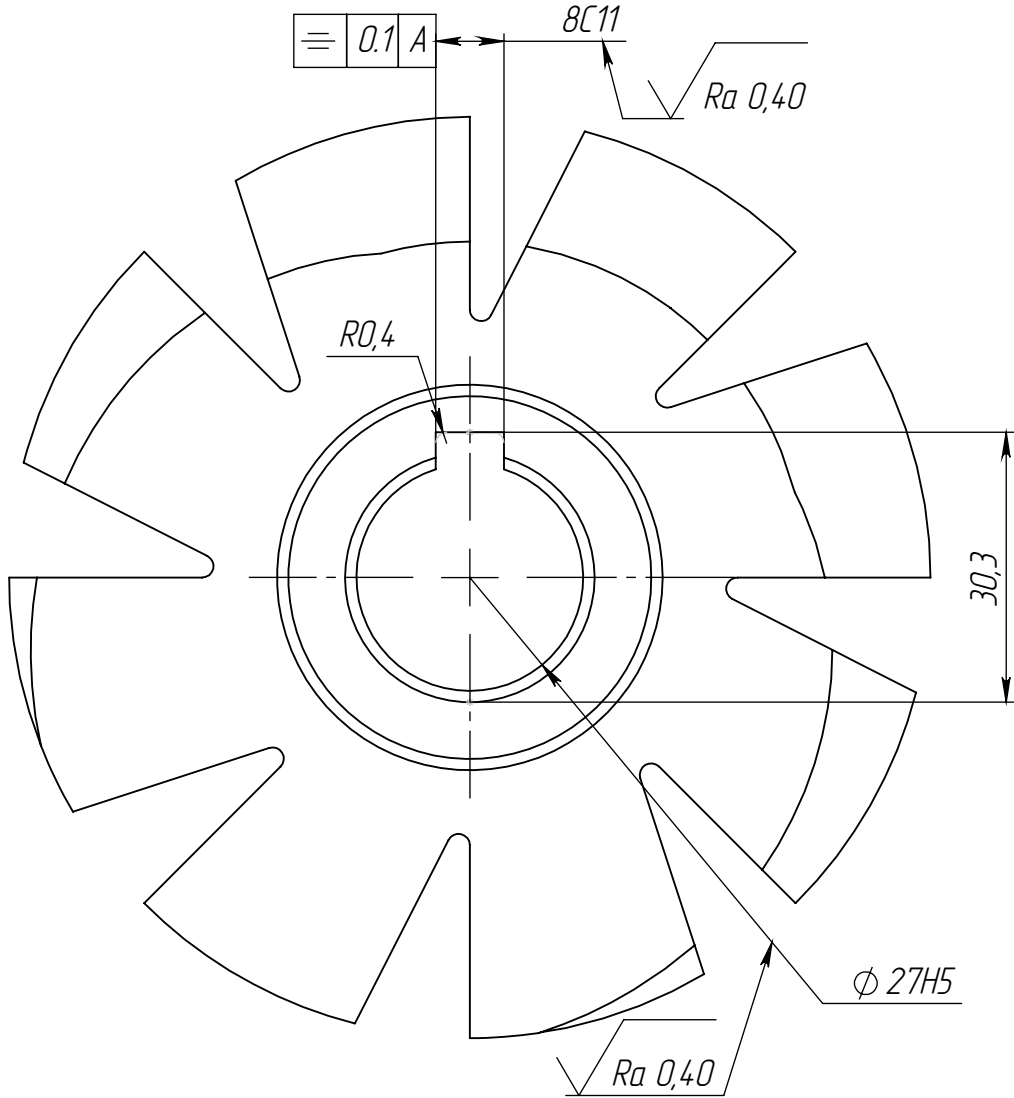
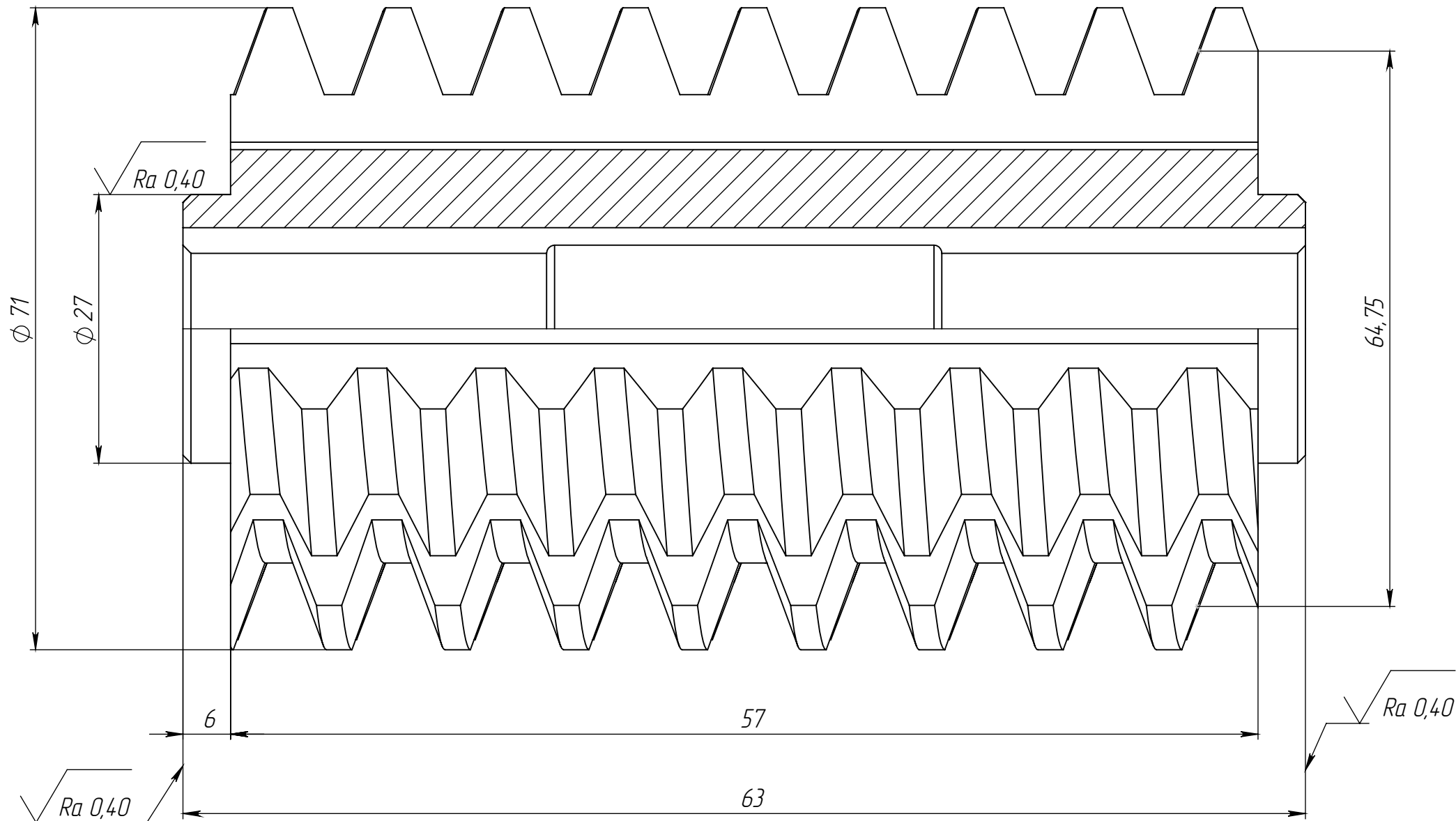
Поверхні обробки: 26, 29



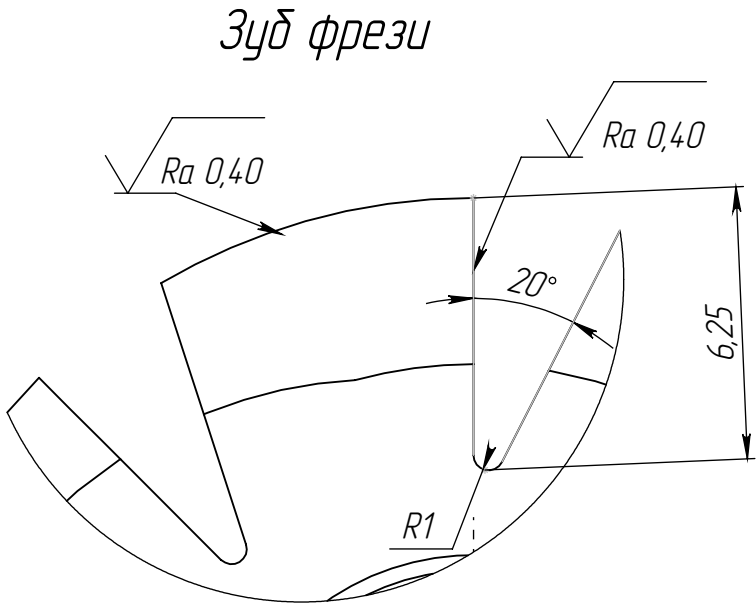
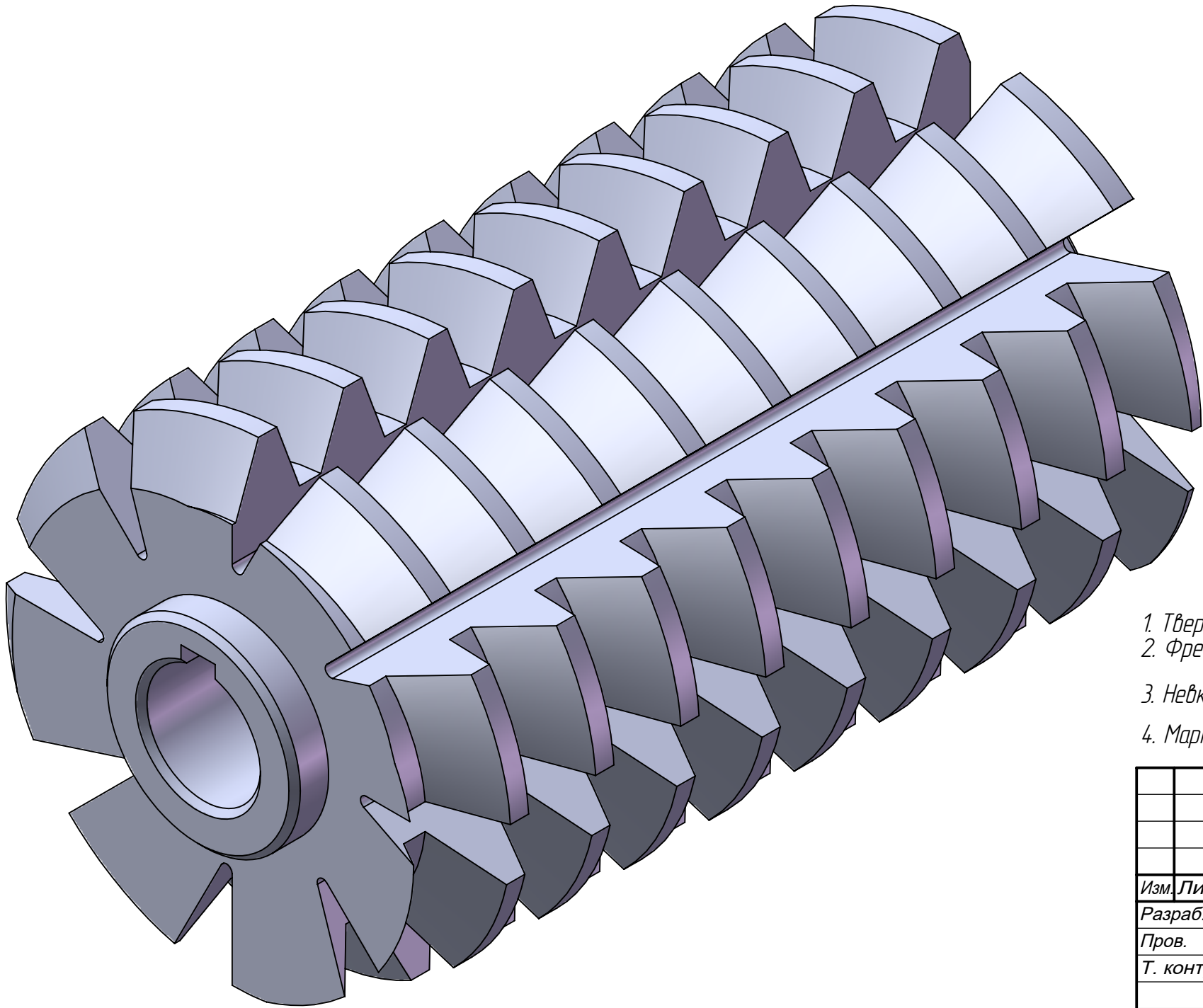
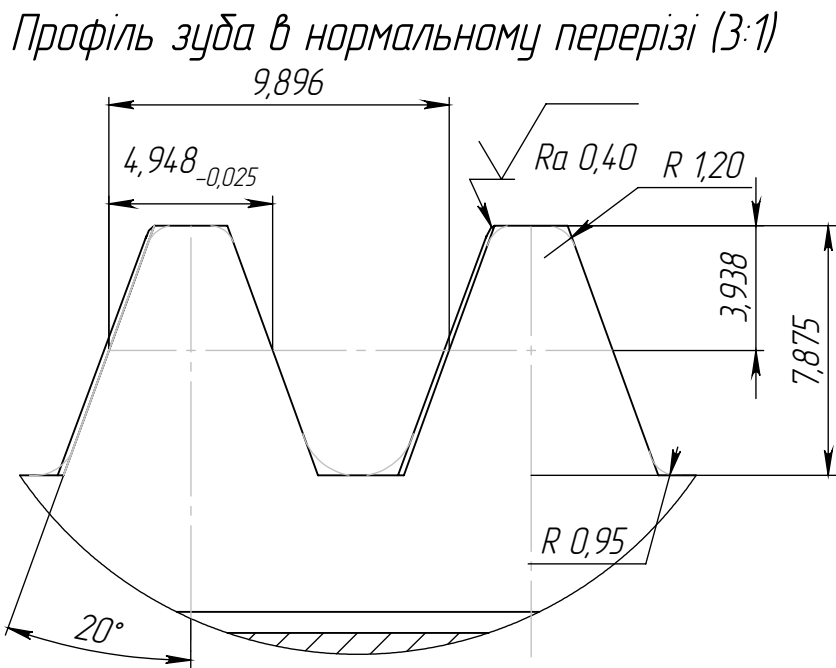
Верстат моделі DMG MORI CTX 310 ecoline

Інструмент	Пластина	Матеріал	Доп. інструмент
Прохідний різець DCLNR 2525M 12	CNMG 120408-PM 	Сталь GC4325	VDI40-B1-25x44
Канавковий різець LF123G04-2525B	123G2-0300-0003-CR 	Сталь 1125	VDI40-B1-25x44
Свердло R840-0500-50-A1A	-	Сталь 1220	VDI40-E4-ER32
Мітчик EX00-M6	-	HSS-E	VDI40-E4-ER32
Кінцева фреза R216.34-06050-AK13P	-	Сталь 1620	VDI40-AG-ER32

КНУ.КБР.131.26.2-03.ІН				Лист	Маса	Масштаб
Інструментальне налагодження				1,2	1,1	
				Лист	Листів	1
				Каф. ПМ гр. ПМ-22		
				Формат А1		



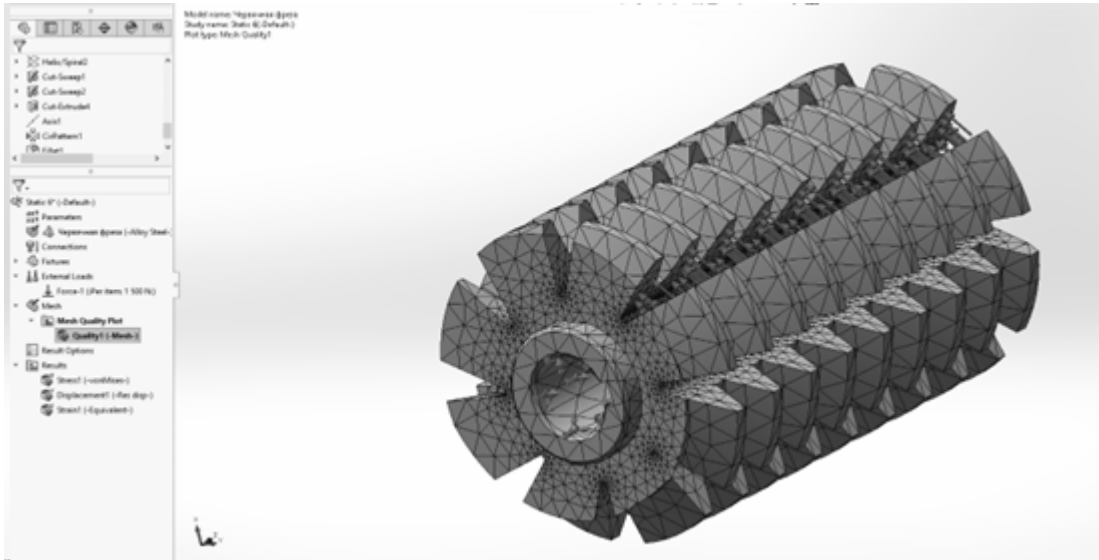
Назва параметра	Позначення	Дані
Модуль	m	3,15 мм
Число заходів	z_0	1 (одназахідна)
Напрямок гвинтової лінії	–	Правий
Вид витка	–	Евольвентний
Кут профілю вихідного контуру	α	20°
Розрахунковий крок	p_0	9,896 мм
Хід гвинтової лінії витка	p_{x0}	9,896 мм
Діаметр дільний	d_0	71,35 мм
Кут підйому витка на дільному циліндрі	σ	2°32′
Число зубів (стружкових канавок)	z	12
Крок гвинтових канавок	H_k	5085,4 мм (напрямок лівий)
Товщина зуба по хорді	s_{01}	4,948 мм



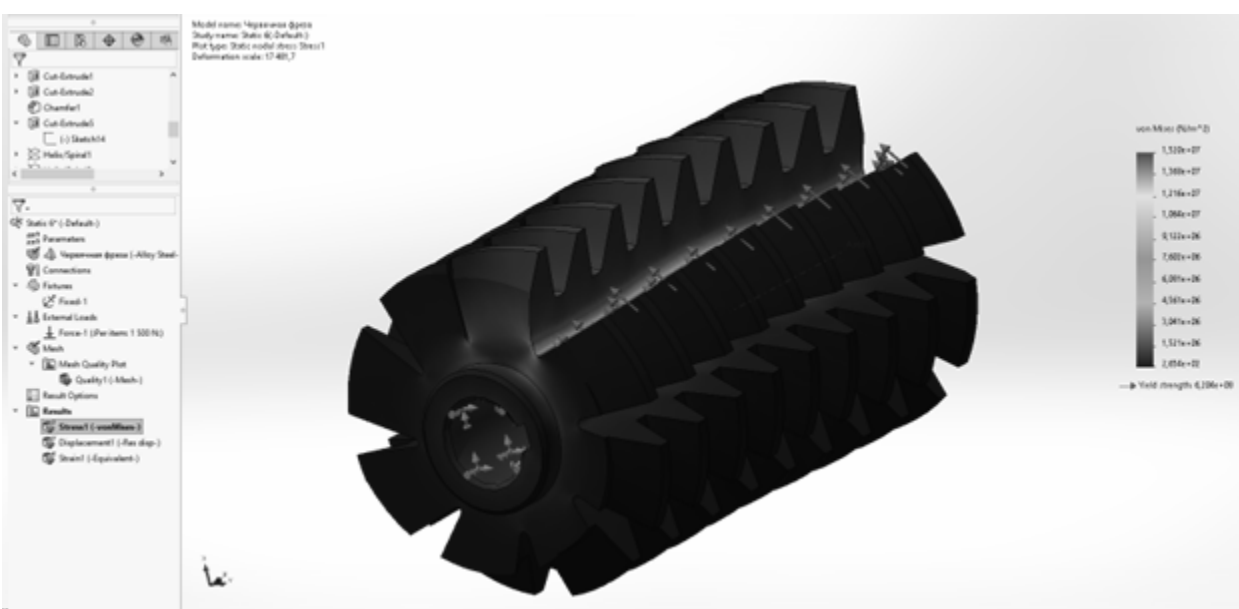
- Твердість: 63..66 HRC.
- Фреза класу точності В за ДСТУ 9324:2008.
- Невказані граничні відхилення розмірів: H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$.
- Маркувати: m 2,5; 20°; P6M5.

КНУ.КБР.131.26.2-03.ЧВ			
Черв'ячна фреза	Лит.	Масса	Масштаб
	11,85	1:1	
Р6М5 ISO 11054	Лист	Листов	
	Каф. ТМ гр. ПМ-22		

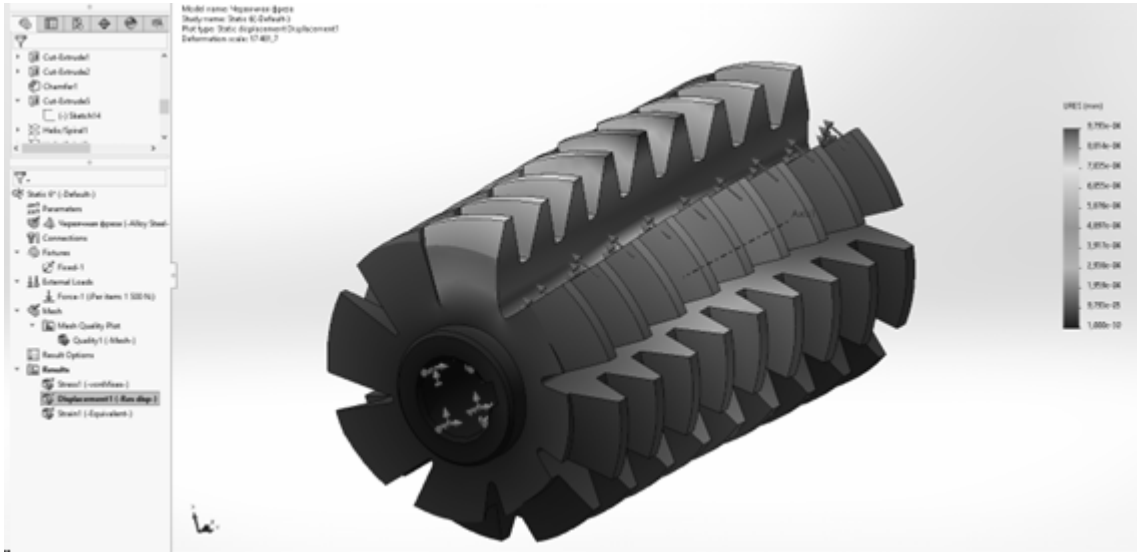
КНУ.КБР.131.26.2-03.АСР1



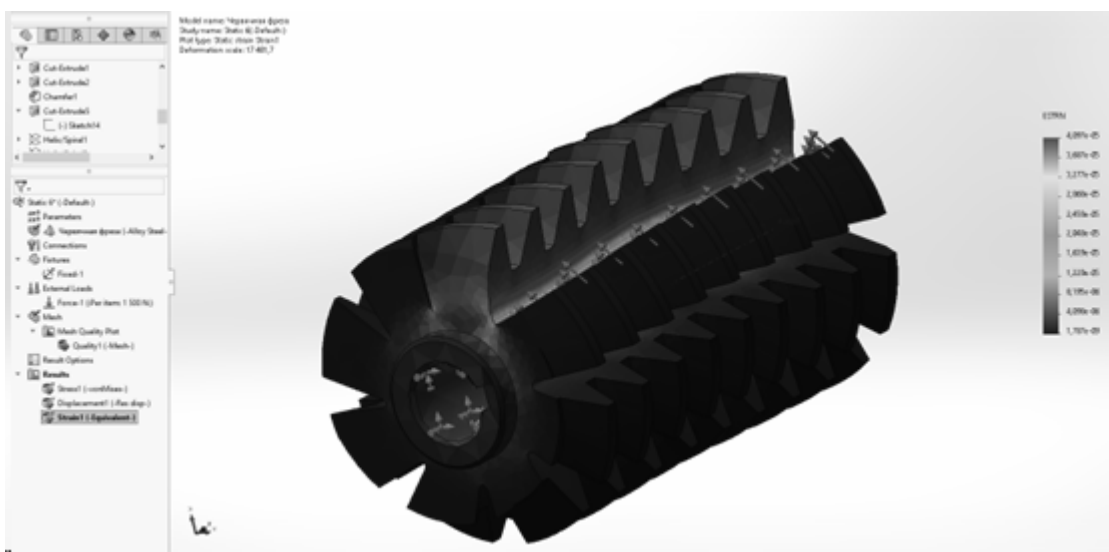
3D модель з сіткою кінцевих елементів



Дослідження деформація



Дослідження переміщення

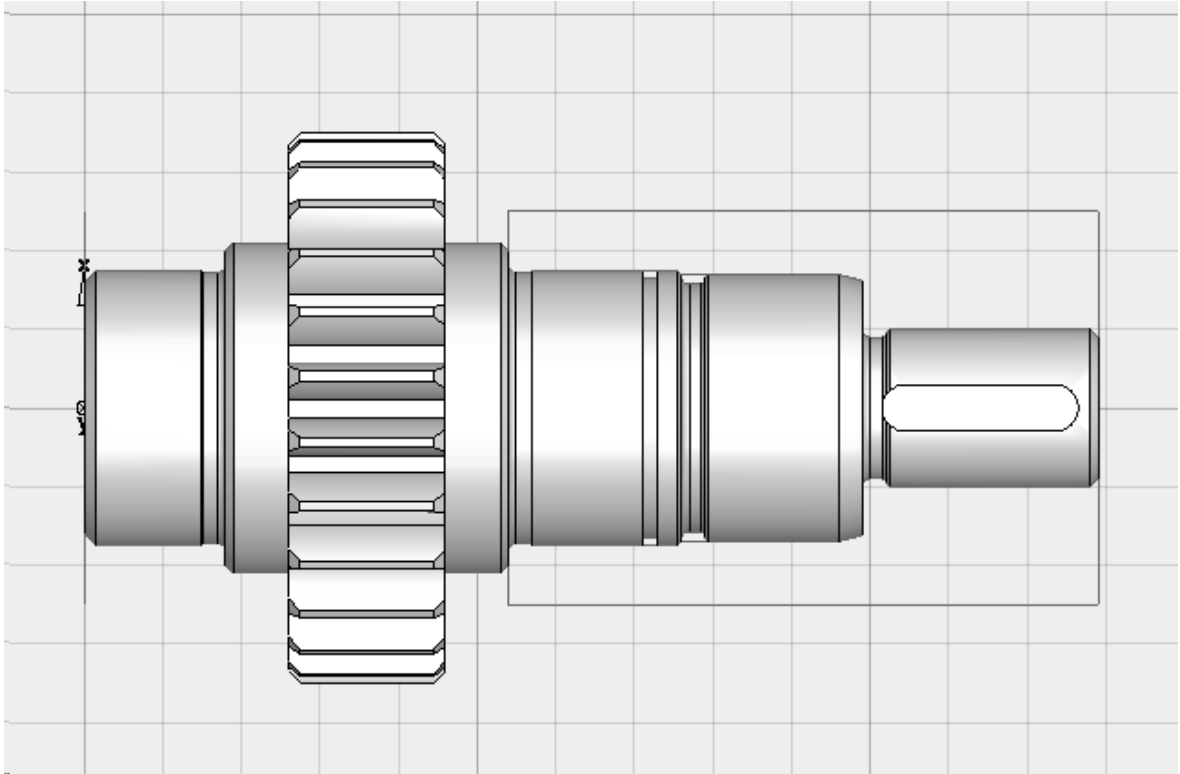


Дослідження навантаження

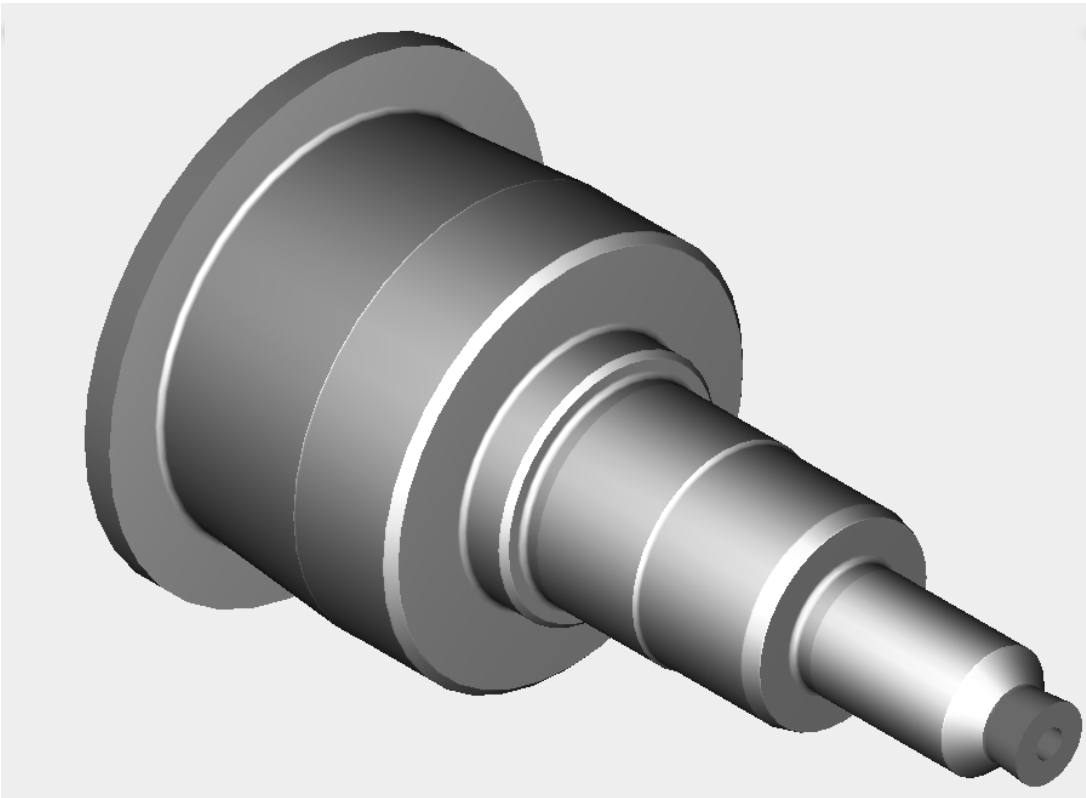
					КНУ.КБР.131.26.2-03.АСР1			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Горбатенко						1,2	1:1
Пров.	Рязанцев					Лист	Листов	1
Т.контр.								
Н.контр.	Нечаев							
Утв.	Рязанцев							

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

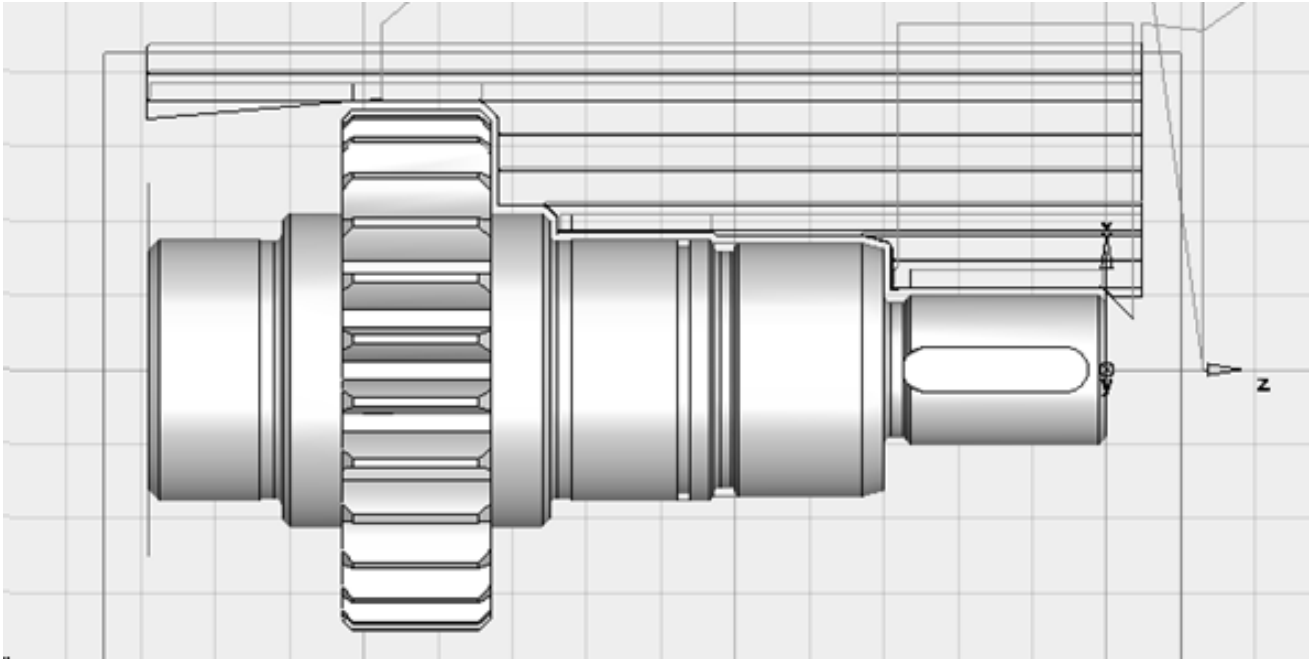
КНУ.КБР.131.26.2-03.МПМО



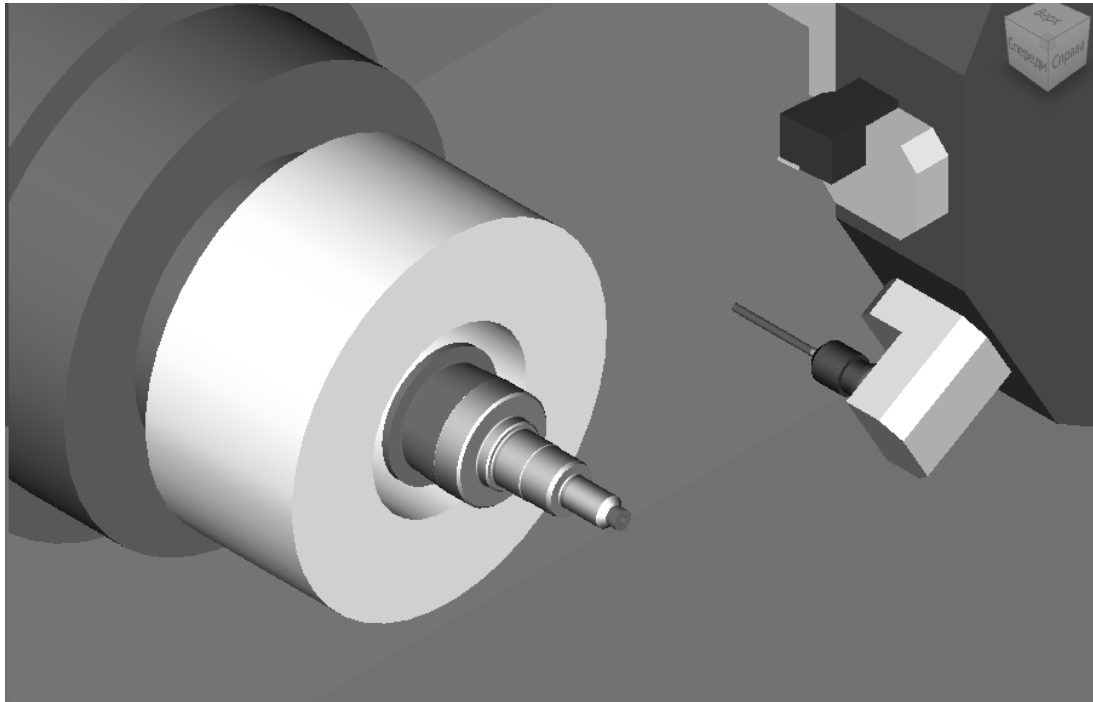
Импорт 3d модели у FeatureCAM



Результат обработки



Траектория перемещений инструмента



Симуляция обработки на верстате

					КНУ.КБР.131.26.2-03.МПМО				
					Модельовання процесорізаельної механічної обробки	Лит.	Масса	Масштаб	
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата				1,2	1:1	
Разраб.	Горбатенко								
Пров.	Рязанцев								
Т.контр.						Лист	Листов	1	
Н.контр.	Нечасев								
Утв.	Рязанцев								