

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: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал-шестерня» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22ск
Скупченко Є.М.

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

Кривий Ріг
2025 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: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал-шестерня» та обґрунтування параметрів різального
інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22ск

(підпис)

Єгор СКУПЧЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

м. Кривий Ріг
2025 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-22ск Скупченка Єгора Максимовича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал-шестерня» та обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

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

Затверджена наказом по КНУ № _____ від «__» _____ 2025 р.

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «__» _____ 2025 р.

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

4. Зміст пояснювальної записки: 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами. 4. Проектування та інженерний аналіз різального інструменту. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Вал. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Фреза черв'ячна. 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	
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	
3.	Призначення об'єкту виробництва	
4.	Аналіз технологічності деталі.	
5.	Креслення деталі (А1-А4).	
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	
11.	Креслення спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	
13.	Вибір допоміжних інструментів.	
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального (А1-А2)	
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	
18.	Висновки	
19.	Оформлення РПЗ	
20.	Попередній захист	

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2025 р.

Завдання видав керівник КБР

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти

/Скупченко Є.М./

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної бакалаврської роботи містить: 66 сторінки, 70 рисунків, 13 таблиць, 5 листів графічної частини.

Метою роботи є розробка оптимальної конструкторсько-технологічної схеми виготовлення вала-шестерні редуктора ГК-1300-35, а також обґрунтування параметрів різального інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем.

Об'єктом дослідження - процес виготовлення вала-шестерні редуктора ГК-1300-35.

Предметом дослідження - розробка конструкторсько-технологічної схеми виробництва цієї деталі та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням CAD/CAM/CAE систем.

У сучасній індустрії, особливо в області машинобудування, конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталей є важливим етапом, спрямованим на досягнення оптимальних технічних характеристик та ефективного виробництва. Однією з ключових деталей у багатьох механізмах є вал-шестерня редуктора. Дослідження, присвячене конструкторсько-технологічній підготовці виробництва цієї деталі, є актуальним та потребує глибокого аналізу.

Вали-шестерні відіграють важливу роль у передачі руху в редукторах, які знаходять широке застосування у гідравлічних системах, автомобільній промисловості, механічних передачах тощо. Підвищення продуктивності, надійності та ефективності таких систем потребує постійного вдосконалення деталей, включаючи вали-шестерні. Враховуючи швидкі темпи технологічного розвитку, пошук оптимальних параметрів виготовлення стає важливим завданням для інженерів та виробників.

Аналіз, розробка та оптимізація процесу виготовлення валів-шестерень є ключовими аспектами даного дослідження.

Під час розробки були використані елементи систем автоматизованого проектування (САПР), включаючи програмне забезпечення КОМПАС-3D, SolidWorks та FeatureCAM. Було проведено інженерний аналіз спеціального різального інструменту для визначення критичних складових у конструкції. Цей аналіз був проведений за допомогою засобів SolidWorks у модулі Simulation.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.Р				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Скупченко							
Перевір.		Рязанцев					1	1	
						Каф. ТМ Гр. ПМ-22ск			
Н. Контр.		Нечаєв							
Затверд.		Рязанцев							

ABSTRACT

The explanatory note to the bachelor's qualification work contains: 66 pages, 70 figures, 13 tables, 5 sheets of graphic materials.

Purpose of the work: development of an optimal design and technological scheme for manufacturing the gear-shaft of the reducer GK-1300-35, as well as justification of the cutting tool parameters using CAD/CAM/CAE systems.

Object of research: the manufacturing process of the gear-shaft of the reducer GK-1300-35.

Subject of research: development of the design and technological scheme for the production of this part and justification of the cutting tool parameters using CAD/CAM/CAE systems.

In modern industry, especially in the field of mechanical engineering, design and technological preparation for the manufacture of parts is an important stage aimed at achieving optimal technical characteristics and efficient production. One of the key components in many mechanisms is the gear-shaft of the reducer. Research dedicated to the design and technological preparation for the production of this part is relevant and requires in-depth analysis.

Gear-shafts play an important role in motion transmission within reducers, which are widely used in hydraulic systems, the automotive industry, mechanical transmissions, and more. Improving the productivity, reliability, and efficiency of such systems requires continuous improvement of components, including gear-shafts. Considering the rapid pace of technological development, the search for optimal manufacturing parameters becomes an important task for engineers and manufacturers.

The analysis, development, and optimization of the gear-shaft manufacturing process are key aspects of this research.

During the development, elements of computer-aided design (CAD) systems were used, including KOMPAS-3D, SolidWorks, and FeatureCAM software. An engineering analysis of the special cutting tool was performed to identify critical components in the structure. This analysis was carried out using SolidWorks tools in the Simulation module.

					<i>КНУ.КБР.131.25.2-09.Р</i>	Арк.
						2
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі	
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	9
1.2 Призначення об'єкта виробництва, характеристика будови, принцип роботи, кінематичні та силові ланцюги редуктора	10
1.3 Розрахунок міцності шпонкового з'єднання	12
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу та можливих замін	14
2.2 Аналіз якості поверхні	15
2.3 Технічний контроль робочого креслення	17
2.4 Розробка технологічного процесу обробки та вибір обладнання	17
3 Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами	
3.1 Вибір ріжучого інструменту для обробки поверхонь	25
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	32
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	33
3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	34
3.5 Комплексне налагодження інструментального оснащення для технологічної обробки деталі	37
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	38
4.2 Оцінка технічних характеристик спеціалізованого ріжучого інструменту	43
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, Постпроцесора	47
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	47
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	56
6.2. Екологія виробництва та охорона праці	64
Висновки	65
Список використаних джерел	66

					<i>КНУ.КБР.131.25.02-09.3</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ЗМІСТ</i>		
Розроб.		Скупченко					
Перевір.		Рязанцев					
Н. Контр.		Нечаєв					
Затверд.		Рязанцев			Лім. Арк. Акрушів		
					1 1		
					Каф. ТМ Гр.ПМ-22ск		

ВСТУП

Машинобудування є ключовою ланкою промисловості, від розвитку якої залежить економічна стабільність та конкурентоспроможність країни на міжнародній арені. Сучасні виробничі системи висувають все вищі вимоги до якості продукції, зниження її собівартості та скорочення термінів виготовлення. Досягти цього можна лише завдяки впровадженню передових технологій, модернізації обладнання та застосуванню автоматизованих систем проектування.

Зростаючий попит на ефективні та надійні механізми стимулює розвиток машинобудівної галузі, особливо у сфері розробки та виробництва редукторів. Редуктори використовуються в багатьох галузях — від важкого машинобудування до високоточних приладів, і саме від їхньої якості залежить ефективність роботи кінцевого обладнання.

Особливе місце серед деталей редукторів займають вали-шестерні, що поєднують у собі функції передавання руху та перерозподілу навантажень. Виготовлення такої деталі вимагає не лише високої точності, а й ґрунтовної конструкторсько-технологічної підготовки, що враховує особливості матеріалів, режимів обробки та умов експлуатації.

Завдяки розвитку CAD/CAM/CAE систем, таких як КОМПАС-3D, SolidWorks, FeatureCAM, інженери отримали змогу значно підвищити якість розробки деталей, скоротити цикл підготовки виробництва та забезпечити високий рівень автоматизації проєктних та виробничих процесів. Метою даної роботи є розробка оптимальної технології виготовлення вала-шестерні редуктора ГК-1300-35, вибір інструментального забезпечення, розрахунок параметрів різального інструменту та моделювання процесів обробки з використанням сучасного програмного забезпечення. Результати цієї роботи можуть бути використані на практиці для підвищення ефективності виробництва та якості готової продукції.

					<i>КНУ.КБР.131.25.02-09.В</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>ВСТУП</i>		
Розроб.		Скупченко					
Перевір.		Рязанцев					
Н. Контр.		Нечаєв					
Затверд.		Рязанцев					
					Літ.	Арк.	Акрушів
						1	1
					Каф. ТМ Гр. ПМ-22ск		

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

В даній кваліфікаційній бакалаврській роботі розглядається деталь вал-шестерня, яка входить до складу редуктора ГК-1300-35.

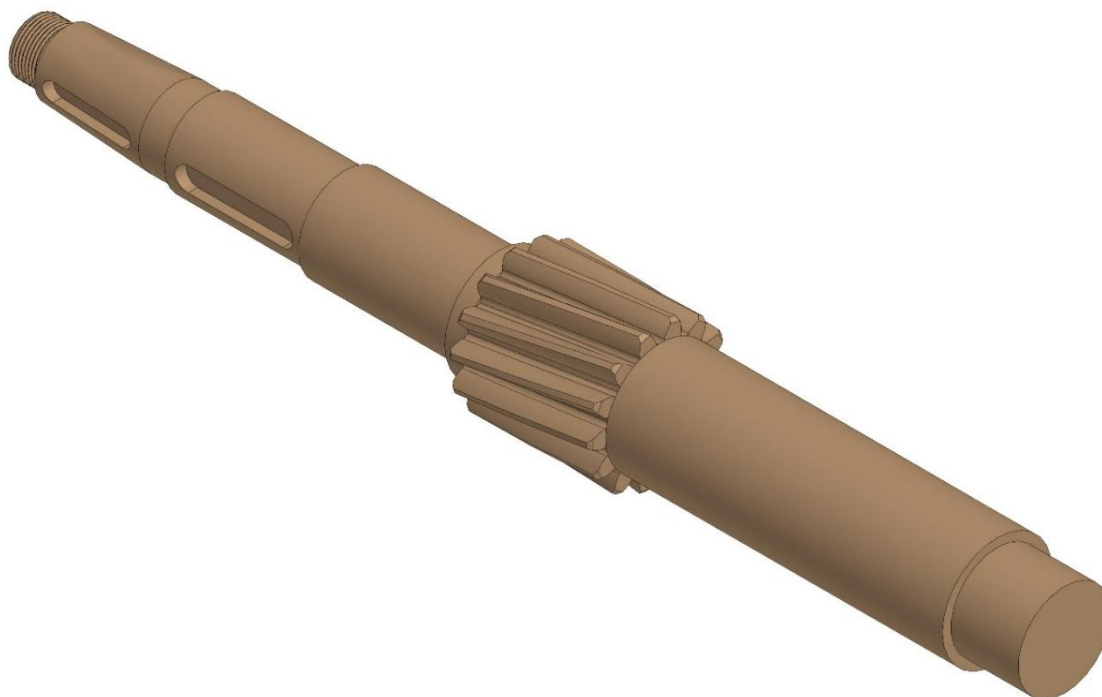


Рисунок 1 – Вал-шестерня

Вихідними даними для розробки є:

- Робоче креслення вала-шестерні;
- Загальні креслення вузла (швидкохідного вала) для розуміння умов роботи деталі;
- Річна програма випуску — 1500 штук;
- Матеріал деталі — сталь 20ХН3А за ДСТУ 7806:2015;
- Виробничі можливості — використання металообробних верстатів з ЧПК та застосування CAD/CAM/CAE систем для підготовки виробництва.

					<i>КНУ.КБР.131.25.2-09.01.АСПМ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ		
Розроб.		Скупченко					
Перевір.		Рязанцев					
Н. Контр.		Нечаєв					
Затверд.		Рязанцев					
					Лім.	Арк.	Акрушів
						9	5
					Каф. ТМ гр. ПМ-22ск		

Основною метою роботи є розробка ефективної конструкторсько-технологічної схеми виготовлення вала-шестерні, яка забезпечить високу точність, необхідну міцність та довговічність деталі при оптимальних виробничих витратах.

При аналізі вихідних даних враховуються:

- умови експлуатації деталі;
- вимоги до якості поверхонь;
- особливості матеріалу та необхідність термообробки;
- економічні показники (собівартість, тривалість виготовлення);
- можливість використання стандартного та спеціального інструменту;
- застосування систем CAD/CAM/CAE для розробки креслень, моделювання процесу та генерації керуючих програм.

Реалізація цього завдання потребує комплексного підходу — від аналізу службового призначення та вибору конструктивних рішень до розрахунку параметрів різального інструменту та перевірки результатів за допомогою інженерного аналізу.

Для досягнення мети дослідження необхідно вирішити такі завдання:

- Провести огляд сучасних технологій та підходів до виготовлення валів-шестерень, визначити їх переваги та недоліки.
- Розробити конструкторсько-технологічний маршрут виготовлення вала-шестерні редуктора ГК-1300-35 з урахуванням особливостей деталі.
- Розрахувати та обґрунтувати оптимальні режими обробки і параметри ріжучого інструменту з використанням CAD/CAM/CAE систем.
- Виконати віртуальне тестування розробленої технології та інструменту за допомогою комп'ютерного моделювання, підтвердивши ефективність запропонованих рішень.

1.2 Призначення об'єкта виробництва, характеристика будови, принцип роботи, кінематичні та силові ланцюги редуктора

Редуктор ГК-1300-35 призначений для зниження частоти обертання та збільшення крутного моменту, що передається від електродвигуна до робочого механізму. Він є важливим елементом у приводних системах, де необхідно забезпечити точність, надійність і ефективність передачі руху. Такий тип редукторів широко застосовується в машинобудівних установках, гірничій промисловості, металургії та інших галузях, що потребують потужного та стабільного обертового моменту.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.01.АСПМ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2 – Редуктор ГК-1300-35

Вал-шестерня є одним із ключових елементів конструкції редуктора. Вона виконує подвійне призначення:

- передає обертальний рух від високошвидкісного вала до наступного ступеня редуктора;
- одночасно працює як зубчаста передача, яка бере участь у зниженні частоти обертання.

З конструктивної точки зору вал-шестерня складається з тіл обертання (основного вала) і зубчастої частини, що має зовнішнє зубчасте зачеплення. На валі передбачені шпоночні канавки або шліци для кріплення інших елементів, а також посадкові поверхні під підшипники. Конструкція забезпечує високу жорсткість і стійкість до динамічних навантажень.

Принцип роботи редуктора ґрунтується на передачі крутного моменту через послідовність зубчастих коліс, розташованих на вал-шестернях. Високошвидкісний вал, що з'єднаний з електродвигуном, передає обертальний рух на вал-шестерню, яка, у свою чергу, передає його на повільнохідний вал. Таким чином досягається значне зниження частоти обертання при одночасному збільшенні крутного моменту.

Кінематичні ланцюги редуктора включають у себе:

					КНУ.КБР.131.25.2-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- високошвидкісний вал,
- вал-шестерню,
- повільнохідний вал,
- підшипникові вузли,
- корпусні деталі.

Загалом кінематична схема виглядає наступним чином:

[Електродвигун] → [Швидкохідний вал] → [Вал-шестерня] →
[Проміжний вал] → [Тихохідний вал] → [Виконавчий механізм]

Силові ланцюги формуються шляхом передачі навантажень від ведучого вала через зубчасте зачеплення вал-шестерні на наступні ступені редуктора. При цьому вал-шестерня зазнає дії крутного моменту, згинальних і радіальних сил, що потребує використання високоміцних матеріалів та точного виготовлення з мінімальними відхиленнями.

1.3 Розрахунок міцності шпонкового з'єднання

Надійність шпонкового з'єднання визначається його здатністю витримувати робоче навантаження без пошкоджень. Для цього перевіряють шпонку за двома основними критеріями: на стискання (зминання) та на зсув. Виконаємо необхідні розрахунки для шпонки, що встановлюється на ділянці Ø98 вала-шестерні.

Початкові дані:

- Діаметр вала, де розташовано шпонковий паз: $d=98$ мм
- Матеріал вала: сталь 20ХН3А
- Матеріал шпонки: сталь 45
- Матеріал маточини (зубчастого колеса): сталь 40Х
- Обертаючий момент: $T=2000$ Н·м
- Довжина маточини: $l=136$ мм

На основі отриманих даних необхідно виконати підбір шпонки та здійснити перевірку її міцності на стискання та зсув.

Для діаметра вала $d=98$ мм за стандартом СТ СЄВ 189-75 визначаємо габаритні розміри призматичної шпонки:

$$b=28 \text{ мм}, h=16 \text{ мм}, K=3,0$$

Робочу довжину шпонки приймаємо такою ж, як і довжина маточини, тобто:

$$l_p=136$$

					КНУ.КБР.131.25.2-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Міцність на стискання визначаємо за формулою:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 * T}{d * l_p * K}$$

Обчислюємо:

$$\sigma_{зм} = \frac{2 * 2000}{0,098 * 0,136 * 3} \approx 100 \text{ МПа}$$

Допустиме значення за матеріалом:

$$[\sigma_{зм}] = 130 \dots 180 \text{ МПа}$$

Умова виконується

Перевірка на зсув виконується за формулою:

$$\tau_{зр} = \frac{2 * T}{d * l_p * b}$$

Обчислюємо:

$$\tau_{зр} = \frac{2 * 2000}{0,098 * 0,136 * 0,028} \approx 10,7 \text{ МПа}$$

Допустимі значення:

$$[\tau_{зр}] = 70 \dots 100 \text{ МПа}$$

Умова виконується

Обрана шпонка 28×16×136 мм при діаметрі вала 98 мм здатна безпечно витримувати крутний момент 2000 Н·, забезпечуючи запас міцності як за умовами стискання, так і за умовами зсуву. З'єднання є надійним і придатним для експлуатації.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу та можливих замін

Деталь «Вал-шестерня» є одним з ключових елементів кінематичної схеми редуктора ГК-1300-35. Її основне призначення — передача крутного моменту від високошвидкісного вала до проміжного вала редуктора із одночасним зниженням частоти обертання. Під час роботи деталь сприймає складні навантаження, включаючи крутильні, згинальні та контактні, а також піддається впливу циклічних навантажень та зношування в зоні зубчастого зачеплення.

Для виготовлення валу-шестерні прийнято сталь 20ХН3А (ДСТУ 7806:2015), яка є цементованою сталлю з гарним поєднанням твердості поверхні та в'язкості сердцевини. Цей матеріал широко застосовується у виробництві зубчастих коліс і валів, що працюють під навантаженням.

Як альтернативні варіанти можуть використовуватись сталі 18ХГТ, 20Х2Н4А, що мають подібні характеристики, або 30ХГСА для деталей, які потребують підвищеної міцності. Остаточний вибір залежить від умов експлуатації, доступності матеріалу на підприємстві та вартості сировини.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 20ХН3А за ДСТУ 7806:2015

Елемент	Вміст %
Вуглець (C)	0.17-0.24
Кремній(Si)	0.17-0.37
Марганець(Mn)	0.30-0.70
Хром (Cr)	0.9-0.12
Нікель (Ni)	2.8-3.2
Сірка (S)	До 0.035
Фосфор (p)	До 0.035
Купрум (Cu)	До 0.03

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 20ХН3А

Сортамент	Розмір,мм	σ_b ,МПа	σ_T ,МПа	δ_5 ,%	Ψ ,%	KCU,КДж/м ²	Термообр.
Пруток	Ø15	930	735	12	55	1080	Загартування та відпуск

					КНУ.КБР.131.25.2-09.02.ТПВД								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Скупченко			ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ				Літ.	Арк.	Акрушіє		
Перевір.		Рязанцев									14	11	
									Каф. ТМ гр. ПМ-22ск				
Н. Контр.		Нечаєв											
Затверд.		Рязанцев											

2.2 Аналіз якості поверхні

Деталь «Вал-шестерня» має низку поверхонь, кожна з яких має своє функціональне призначення і відповідні вимоги до точності обробки та якості. Найбільш відповідальними є поверхні зубчастого зачеплення, які потребують високої точності профілю (7–8-й клас точності) та низької шорсткості (R_a 0,8–1,6 мкм). Такі характеристики забезпечують плавність роботи передачі та знижують втрати на тертя.

Посадкові поверхні під підшипники також належать до високоточних елементів. Для них встановлюються жорсткі розмірні допуски (квалітет 7–8) та шорсткість R_a 0,8–1,6 мкм. Це необхідно для забезпечення правильного розподілу навантажень у підшипниковому вузлі та уникнення надмірного зносу.

Менш відповідальні ділянки (наприклад, середня частина валу, ділянки з різьбленням або торці) можуть мати грубішу обробку з шорсткістю до R_a 12,5 мкм, оскільки вони не зазнають безпосереднього впливу навантажень у процесі експлуатації.

Таблиця 2.3 – Тех. Методи обробки поверхонь деталі

№П	Розмір, мм	Шорсткість R_a , мкм	Допуск, ІТ	Технологічні методи обробки
1	2	3	4	5
1, 20	1125	12,5	h14	Чорнове підрізання торців
2	M64	12,5 3,2	8g	Чорнове точіння Нарізання різьби
23	Ø58, b=6	12,5 6,3 3,2 1,6	h14	Чорнове точіння канавки Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
3	L=130	12,5	h14	Чорнове підрізання торців
4	Ø77	12,5 6,3 3,2 1,6	k6	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
5	Ø90	12,5 6,3 3,2 1,6	k6	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
6	L=165	12,5	h14	Чорнове підрізання торців
7	Ø98	12,5 6,3 3,2 1,6	k6	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування

Продовження таблиці 2.3

8	L=179	3,2	h14	Чорнове підрізання торців
1	2	3	4	5
9	Ø110	12,5 6,3 3,2 1,6	h14	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння
10,19	Ø110	12,5 6,3 3,2 1,6	h14	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
24	Ø109, b=1	12,5 6,3 3,2 1,6	h14	Чорнове точіння канавки Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
11	L=21	12,5 6,3 3,2	h14	Чорнове підрізання торців Напівчистове підрізання торців Чистове підрізання торців
12,17	Ø130	12,5	h12	Чорнове точіння
13	L=170	12,5 6,3 3,2	h9	Чорнове підрізання торців Напівчистове підрізання торців Чистове підрізання торців
15	Ø167,42	12,5 6,3 3,2	h9	Чорнове точіння Напівчистове точіння Чистове точіння
16	L=300	12,5	h12	Чорнове підрізання торців
18	L=80	12,5 6,3 3,2	h14	Чорнове підрізання торців Напівчистове підрізання торців Чистове підрізання торців
25	Ø109, b=1	12,5 6,3 3,2 1,6	h14	Чорнове точіння канавки Напівчистове точіння Чистове точіння Шліфування
26	L=2*45°	12,5	h14	Знімання фаски
21	b=9 r=11	6,3 1,6 0,6	k6	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове Фрезерування чистове
22	b=13 r=14	6,3 1,6 0,6	k6	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове Фрезерування чистове
27,28,29	R=2	6,3 1,6	h14	Чорнове точіння галтелі Чистове точіння галтелі

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Перед початком розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня» було проведено всебічний аналіз робочого креслення.

Основна мета технічного контролю — переконатися, що креслення містить усі необхідні дані для організації виробництва, а також відповідає чинним стандартам та нормативам.

Було перевірено:

- правильність зазначення розмірів та їх взаємозв'язків;
- відповідність зазначених полів допусків та посадок вимогам ДСТУ ISO 286;
- наявність вказівок щодо класів точності та шорсткості поверхонь згідно з ДСТУ 25142:2015;
- коректність нанесення технічних умов та вимог, включаючи допуски форми, розташування, концентричності, співвісності тощо;
- повноту специфікації матеріалу деталі та твердості після обробки.

За результатами технічного контролю встановлено, що креслення є повністю придатним для використання у виробничому процесі. Усі необхідні параметри вказані, обмеження допусків та шорсткості відповідають функціональному призначенню поверхонь, а посадки забезпечують належну якість збирання. Додаткових уточнень або змін до креслення не потребується.

2.4 Розробка технологічного процесу обробки та вибір обладнання

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Вал-шестерня» враховуються конструктивні особливості, вимоги до точності й шорсткості, а також можливості сучасного обладнання. Оптимальний маршрут обробки, вказаний в таблиці 2.3, дозволяє забезпечити необхідну якість при мінімальних витратах часу та ресурсів.

Перший етап — чорнове й чистове точіння всіх діаметрів. Це виконується на токарному центрі LEADWELL LTC-25iXXL, тому що цей універсальний верстат здатний обробити вал повністю, без потреби перестановки на інше обладнання. На ньому також проводиться нарізання різьб — все в одній установці, що зменшує час на переналагодження.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.02.ТПВД	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.1. – Токарний центр LEADWELL LTC-25iXXL

Таблиця 2.4 – Характеристики LEADWELL LTC-25iXXL

Характеристики	Значення
Макс. діаметр, що провертається, над станиною, мм	Ø 670
Макс. діаметр обробки, мм	Ø 450
Макс. довжина обробки, мм	1520
Хід по осі X, мм	225+25
Хід по осі Z, мм	1550
Максимальна частота шпинделя, об/хв	3500
Потужність приводу шпинделя, кВт	18,5
Тип торця шпинделя	A2-8
Діаметр прутка, мм	Ø 77
Розмір патрона	254 "
Прискорена подача по осі X, м/хв	15/20
Кількість позицій	12
Перетин різця, мм	25
Габарити верстата, мм	4625 x 1930 x 2140
Маса верстата, кг	8100

Далі, для обробки шпоночних пазів ми використовуємо фрезерний обробний центр Haas VF-2SS. Ми обираємо його, тому що він дозволяє точно фрезерувати деталі середнього розміру та забезпечує чисту й рівну обробку пазів.



Рисунок 2.2 – Фрезерний верстат Haas VF-2SS

Таблиця 2.5 – Характеристики Haas VF-2SS

Параметри	Значення
1	2
Робочий стіл	
Поверхня столу X x Y	356 * 914мм
Розмір Т-подібних пазів	16мм*3
Максимальна вага встановлюваної деталі	680кг
Робочі переміщення	
Переміщення по осі X, мм	762
Переміщення по осі Y, мм	406
Переміщення по осі Z, мм	508
Відстань між повернею стола та торцем шпинделя	102-610

Продовження таблиці 2.5

1	2
Швидкість позиціонування осі	
Прискорені переміщення по осях X, Y	35,6 м/хв
Прискорені переміщення по осі Z	35,6 м/хв
Максимальна швидкість подачі під час різання	21,2 м/хв
Шпиндель	
Конус шпинделя	ISO 40/Вт
Макс. шв. об. Шпинделя	12000 об/хв
Тип привода	прямий
Потужність двигуна шпинделя	22,4 кВт
Максимальний крутний момент /при 2 000 об/хв/.	122 Нм

Операції з нарізання зубців шестерні виконуються на спеціалізованому зубофрезерному верстаті Gleason-Pfauter P400. Цей верстат потрібен, бо тільки спеціальне зубообробне обладнання забезпечує правильну геометрію зубців, яка критично важлива для передачі обертового моменту.



Рисунок 2.3 – Зубофрезерний верстат Gleason-Pfauter P400

Таблиця 2.6 – Характеристики Gleason-Pfauter P400

Характеристики	Значення
Максимальний діаметр заготовки: мм	400
Максимальний модуль :	6
Діаметр столу : мм	400
Мінімальна кількість зубів:	4
Борний стіл: мм	90
Вага верстата: кг	6200
Приблизні розміри: мм	2400 x 1650 x 2400

Фінальним етапом є шліфування. Посадкові місця під підшипники ми шліфуємо на універсальному круглошліфувальному верстаті Studer S33, бо він дає високу точність і чистоту обробки.



Рисунок 2.4 – Круглошліфувальний верстат Studer S33

Таблиця 2.7 – Характеристики Studer S33

Характеристики	Значення
Максимальний діаметр виробу, що встановлюється, мм	349
Відстань між центрами верстата - РМЦ, мм	650
Максимальний діаметр шліфування, мм	349
Висота центрів, мм	175
Діаметр шліфувального круга, мм	508
Частота обертів шліфувального круга, об/хв	3 200
Максимальне переміщення столу, мм	285
Швидкість переміщення столу (ДО), мм/хв	10000

Зубчасті поверхні обробляємо на зубошліфувальному верстаті Reishauer RZ 260, бо тільки зубошліфування дозволяє досягти необхідної точності профілю й знизити шум при роботі редуктора.



Рисунок 2.5 – Зубошліфувальний верстат Reishauer RZ 260

					КНУ.КБР.131.25.2-09.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Таблиця 2.8 – Характеристики Reishauer RZ 260

Характеристики	Значення
Ширина колеса:	160 мм
Кут спіралі:	48 °
Тип вхідного струму:	трифазний
Вага заготовки (макс.):	50 кг
Довжина подачі вісь X:	245 мм
Довжина подачі вісь Y:	220 мм
Довжина подачі вісь Z:	180 мм
Швидкість подачі вісь X:	15 м/хв
Швидкість подачі вісь Y:	7 м/хв
Швидкість подачі вісь Z:	7 м/хв
Частота обертання шліфувального круга:	5 555 об/хв
Отвір шліфувального круга:	160 мм
Діаметр шліфувального круга:	275 мм
Діаметр шестерні:	260 мм
Загальна вага:	15 800 кг
Ширина шліфувального круга:	160 мм
Довжина затиску:	490 мм
Частота обертання шпинделя заготовки (макс.):	1 600 об/хв

Після того як проведено ретельний аналіз і обґрунтовано вибір усього комплексу верстатного обладнання, яке необхідне для обробки даної заготовки, постає наступне важливе завдання — правильно розподілити призначення кожного обраного верстата, визначивши, яка саме поверхня деталі буде оброблятися на кожному з них. Це дозволяє забезпечити чітку послідовність операцій та узгодженість усіх етапів технологічного процесу.

Таблиця 2.9 – Вибір верстатів для обробки заготовки «Вал-шестерня»

Номер поверхні	Операція	Верстат
1	2	3
1,3,6,8,11,13,16,18,20	Чорнове підрізання торця	LEADWELL LTC-25iXXL
11,13,18	Напівчистове підрізання торця	LEADWELL LTC-25iXXL
11,13,18	Чистове підрізання торця	LEADWELL LTC-25iXXL
2,4,5,7,9,10,12,14,17,19	Чорнове точіння	LEADWELL LTC-25iXXL
4,5,7,9,10,15,19	Напівчистове точіння	LEADWELL LTC-25iXXL
4,5,7,9,10,15,19	Чистове точіння	LEADWELL LTC-25iXXL
4,5,7,10,19	Шліфування	Studer S33
21,22	Чорнове фрезерування пазу	Haas VF-2SS
21,22	Напівчистове фрезерування	Haas VF-2SS
21,22	Чистове фрезерування пазу	Haas VF-2SS
23,24,25	Чорнове точіння канавки	LEADWELL LTC-25iXXL
23,24,25	Чорнове шліфування канавки	Studer S33
23,24,25	Напівчистове шліфування канавки	Studer S33
23,24,25	Чистове шліфування канавки	Studer S33
26	Чорнове точіння фаски	LEADWELL LTC-25iXXL
27,28,29	Точіння галтелі	LEADWELL LTC-25iXXL
14	Чорнове фрезерування зубів	Gleason-Pfauter P400
14	Напівчистове фрезерування	Gleason-Pfauter P400
14	Чистове фрезерування зубів	Gleason-Pfauter P400
14	Шліфування зубів	Reishauer RZ 260

3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір ріжучого інструменту для обробки поверхонь

У процесі виготовлення деталі «Вал-шестерня» використовується комплекс ріжучих інструментів, що забезпечують обробку зовнішніх і внутрішніх поверхонь, а також зубчастої частини. Підбір інструменту здійснювався з урахуванням форми поверхонь, режимів обробки, вимог до точності та шорсткості, а також відповідно до рекомендацій міжнародних стандартів і каталогів провідних виробників. Дані по вибору типу інструменту занесено до таблиці 3.1

Таблиця 3.1

№ поверхні	Найменування операції	Тип інструменту
1,3,6,8,11,13,16,18,20	Чорнове підрізання торця	Підрізний різець
4,5,7,9,10,12,15,17,19	Чорнове точіння	Прохідний різець
4,5,7,9,10,12,15,17	Напівчистове точіння Чистове точіння	Прохідний різець
26,27	Точіння фасок	Прохідний різець
23,24,25	Точіння канавок	Канавочний різець
2	Нарізання різьби	Різець для нарізання різьби
21,22	Фрезерування пазів	Фреза пазова
4,5,7,9,10,12,15,17,19	Шліфування	Шліфувальний круг
23,24,25	Шліфування канавок	Шліфувальний круг
14	Фрезерування зубчастого вінця	Черв'ячна фреза
28,29,30	Точіння галтелі	Фасонний різець

					<i>КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ		
Розроб.		Скупченко					
Перевір.		Рязанцев					
Н. Контр.		Нечаєв					
Затверд.		Рязанцев			Літ. Арк. Акрушів 25 133 Каф. ТМ Гр. ПМ-22ск		

З урахуванням властивостей матеріалу деталі, характеру обробки та обладнання, підібрано різучі інструменти із відповідними геометричними параметрами та матеріалами, що виробляються як вітчизняними, так і зарубіжними компаніями. Всі дані наведено в таблиці 3.2.

Позиції 1,3,6,8,11,13,16,18,20

Чорнове підрізання торця:

- Державка: PCLNR 3232M12 [3 с. А17]

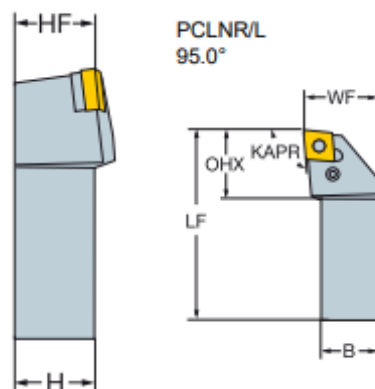


Рисунок 3.1 - Державка PCLNR 3232P12

Геометричні параметри: B=32 H=32 LF=150 WF=32 HF=125

- Пластина: CNMG 12 04 08-PM, марка 4335 [3 с. А16]

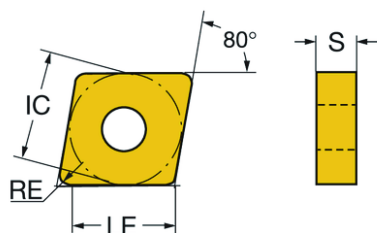


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG 12 04 08-PM, марка

Геометричні параметри: IC=12.7; RE= 0.8; LE=12.9; $\lambda=-6^\circ$;

$\gamma=-6^\circ$; $\phi=80^\circ$

Позиції 4,5,7,9,10,12,15,17,19

Чорнове точіння:

- Державка: PCLNR 3232M12 [3 с. А17]

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

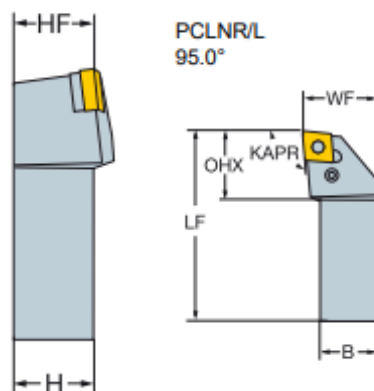


Рисунок 3.1 - Державка PCLNR 3232P12

Геометричні параметри: B=32 H=32 LF=150 WF=32 HF=125

- Пластина: CNMG 12 04 08-PM, марка 4335 [3 с. A16]

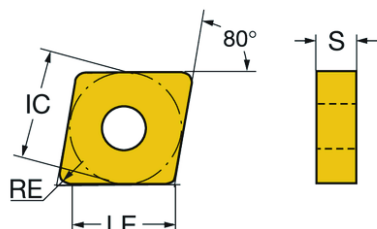


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG 12 04 08-PM, марка

Геометричні параметри: IC=12.7; RE= 0.8; LE=12.9; $\lambda=-6^\circ$;

$\gamma=-6^\circ$; $\phi=80^\circ$

Позиції 4,5,7,9,10,12,15,17,19,26,27

Напівчистове та чистове точіння:

- Державка: PDJNR 2020K15 [3 с. A17]

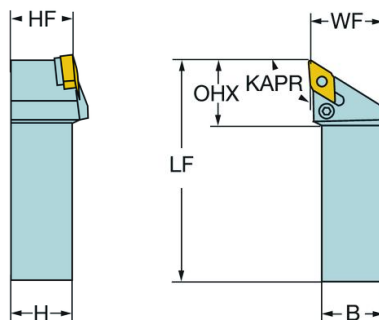


Рисунок 3.3 – Державка PDJNR 2020K15

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ

Арк.

27

Геометричні характеристики: $B=20$, $H=20$, $LF=125$ $WF=25$ $HF=20$

- Пластина: DNMG 150604-PM [3 с. A14]

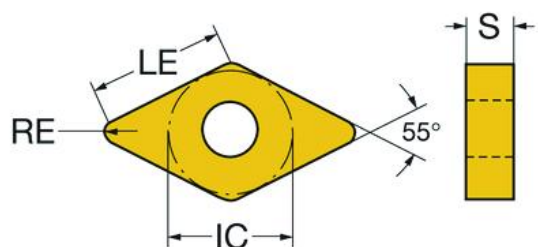


Рисунок 3.4 – Пластина DNMG 150604-PM

- Геометричні параметри: $LE=15.1$, $RE=0.39$, $IC=12.7$; $\lambda=-0^\circ$;
 $\gamma=0^\circ$; $\phi=55^\circ$

Позиції 23,24,25

Точіння канавок:

- Державка: RLF123H13-2020BM [3 с. B7]

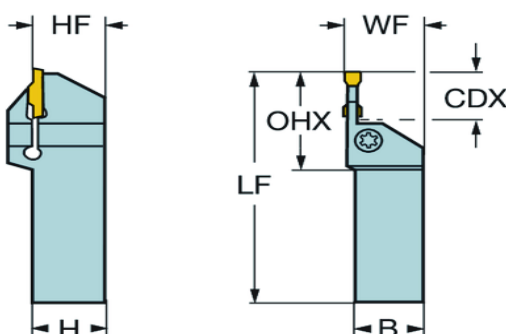


Рисунок 3.5- Державка RLF123H13-2020BM

Геометричні параметри: $B=20$ $H=20$ $LF=125$ $WF=21$ $HF=20$

- Пластина: N123H2-0400-0004-GF

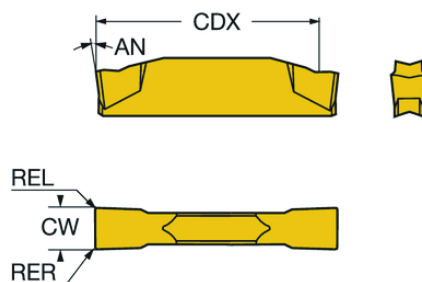


Рисунок 3.6 – Пластина N123H2-0400-0004-GF

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Геометричні параметри: $W=4.0$; $RE=0.4$; $L=22$

Позиція 2

Нарізання різьби:

- Державка 266RFG-2525-16 [3 с. C16]

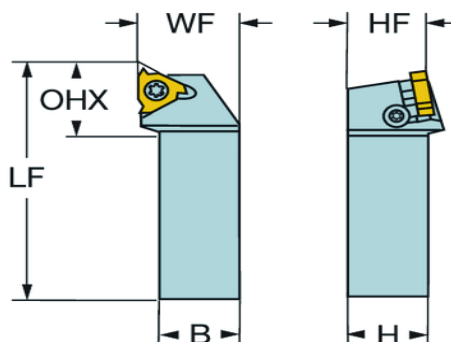


Рисунок 3.7 – Державка 266RFG-2525-16

Геометричні параметри: $B=25$ $H=25$ $LF=150$ $WF=32$ $HF=25$

- Пластина 266RG-16MM04A160M [3 с. C8]

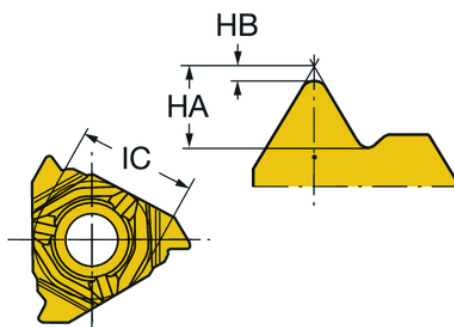


Рисунок 3.8 – Пластина 266RG-16MM04A160M

Геометричні параметри: $HA=0.75$, $HB=0.15$; $P=4.0$; $Re=0.2$; $\varphi=60^\circ$

Позиція 21

Фрезерування пазів:

- Фреза R216.33-25040-AJ25U H10F [3 с. D15]

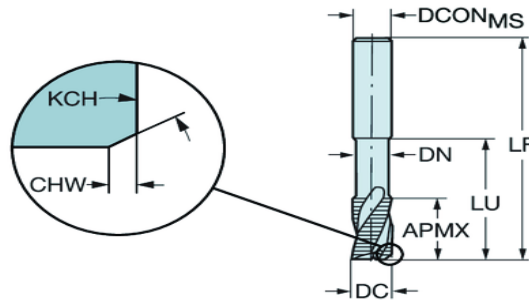


Рисунок 3.9 – Фреза R216.33-25040-AJ25U H10F

Геометричні параметри: DC=25; KCH=55°; LU= 75; APMX=25;
CHW=1; DCON=25;

Позиція 22

Фрезерування пазів:

- Фреза R216.33-25040-AJ20U H10F [3 с. D15]

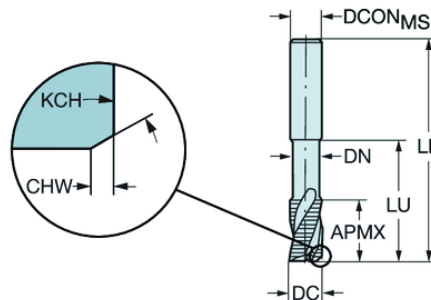


Рисунок 3.9 – Фреза R216.33-25040-AJ20U H10F

Геометричні параметри: DC=20; KCH=55°; LU= 70; APMX=20;
CHW=1; DCON=20;

Поверхні 4,5,7,9,10,12,15,17,19

Шліфування циліндричних поверхонь

- Круг шліфувальний 14A F60-CP 400×50×203 ДСТУ 2424-83 [6 с.2]

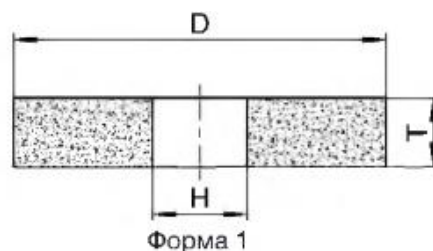


Рисунок 3.10 – Шліфувальний круг 14A F60-CP 400×50×203

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Геометричні параметри: $D=400$; $T=50$; $H=203$;

Поверхні 23,24,25

Шліфування канавок

- Круг шліфувальний 25А F80-CP 125×10×32 форма 12 ДСТУ 2424-83[6 с.17]

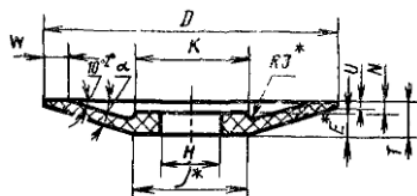


Рисунок 3.11 - Шліфувальний круг 25А F80-CP 125×13×32

Геометричні параметри: $D=125$; $T=13$; $H=32$; $K=50$;

Поверхня 28,29,30

Точіння галтелі

- Державка : SL-SCLCL-32-09HP

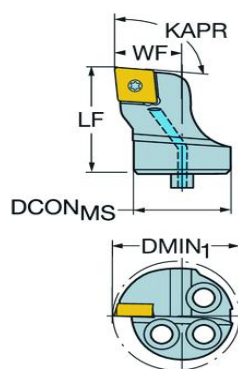


Рисунок 3.12 - Державка : SL-SCLCL-32-09HP

Геометричні параметри: $KARP=95^\circ$; $LF=32$; $WF=22$;

- Пластина: RCMT 09 T3 00-M0 4325

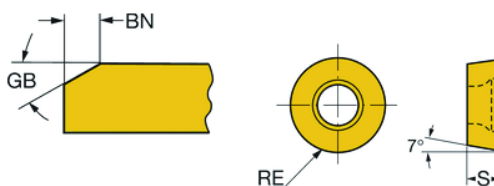


Рисунок 3.13 – Пластина RCMT 09 T3 00-M0 4325

Геометричні параметри: $Re=4.76$; $\alpha=7^\circ$; $S=3.96$; $GB=15^\circ$

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Таблиця 3.2 - Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№ Пов	Тип інструмента	Матеріал різучої частини інструменту	Матеріал державки інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1,3,6,8,11,13,16,18,20	Токарний прохідний різець	Твердий сплав GC4225, CVD	Сталь 40X	CNMG 12 04 08: $\gamma = -6^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $\kappa = 95^\circ$ $r_\Sigma = 0,8$ мм
4,5,7,9,10,12,15,17,19	Токарний прохідний різець	Твердий сплав GC1115, PVD	Сталь 40X	CCMT 09T3 04: $\gamma = 6^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\kappa = 95^\circ$, $r_\Sigma = 0,4$ мм
4,5,7,9,10,12,15,17,26,27	Токарний прохідний різець	Твердий сплав GC4225	Сталь 40X	DCMT 11T3: $\kappa = 55^\circ$, $r_\Sigma = 0,4$ мм
23,24,25	Канавковий різець	Твердий сплав PVD TiAlN	Сталь 40X	MGMN300-G: ширина 3 мм, $\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 5^\circ$, прямокутна форма
2	Різбовий різець	Твердий сплав 1135, PVD	Сталь 40X	266RG- 16MM04A160M: профіль 60° , глибина до 2 мм
21	Фреза для пазів (R11)	Твердий сплав H10F	Сталь 38XH3MA	R216.33-25040-AJ25U: D = 25 мм, ширина паза до 11 мм, z = 4
22	Фреза для пазів (R14)	Твердий сплав H10F	Сталь 38XH3MA	R216.33-20040-AJ20U: D = 20 мм, ширина паза до 14 мм
4,5,7,9,10,12,15,17,19	Шліфувальний круг (поверхні)	Абразив: 14A	-	Форма 1, D = 400 мм, T = 50 мм, H = 203 мм, V = 35 м/с
23,24,25	Шліфувальний круг (канавки)	Абразив: 25A	-	Форма 12, D = 125 мм, T = 10 мм, H = 32 мм, V = 35 м/с
28,29,30	Фасонний різець	Твердий сплав GC4325, CVD	Сталь 40X	RCMT 09T3: IC = 9,525 мм, s = 3,969 мм, $r_\Sigma = 4,76$ мм, $\kappa = 95^\circ$, $\alpha = 7^\circ$

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для оцінки міцності та жорсткості різального інструменту використовується прохідний різець PCLNR 3232 P12 із пластиною CNMG 120408, що застосовується для чергової обробки валу.

Вихідні дані:

- Розміри державки: $b=h=32\text{мм}$
- Довжина державки: $L=150\text{мм}$
- Вильот державки: $l=10\text{ мм}$
- Глибина різання: $t=3\text{ мм}$
- Подача: $S=0,5\text{ мм/об}$
- Швидкість різання: $V=150\text{ м/хв}$
- Матеріал заготовки: сталь 20ХН3А, $\sigma_{\text{в}}=850\text{ МПа}$
- Матеріал державки: сталь 40Х, $\sigma_{\text{тек}}=650\text{ МПа}$, $E=2\cdot 10^5\text{ МПа}$

1. Визначення сили різання

За емпіричною формулою:

$$P_z = 9.81 * C_{Pz} * t^{X_{Pz}} * S^{Y_{Pz}} * V^{L_{Pz}}$$

де:

- $C_{Pz}=350$
- $X_{Pz}=0,15$
- $Y_{Pz}=0,45$
- $K_{Pz}=1$

$$P_z = 9.81 * 350 * 3^{0.15} * 0.5^{0.45} * 150 = 3547\text{Н} = 355(\text{Кгс})$$

2. Перевірка державки на міцність

Допустиме напруження:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_t}{n} = \frac{650}{3} = 216\text{Мпа}$$

Граничне допустиме навантаження:

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{b * h^2 * [\sigma]}{6l} = \frac{32 * 32^2 * 216}{6 * 10} = \frac{1350000}{60} = 22558\text{Н}$$

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Отже: $P_z = 3547 < P_{z \text{ доп}} = 22585$, то міцність забезпечена

3. Перевірка на жорсткість

Момент інерції:

$$J = \frac{b * h^3}{12} = \frac{32^4}{12} = 87381 \text{ mm}^4$$

$$P_{z \text{ жорст}} = \frac{3fEJ}{L^3} = \frac{3 * 0.1 * 2 * 10^5 * 87381}{10^3} = 5243 \text{ Н}$$

Отже: $P_z = 3547 < P_{z \text{ жорст}} = 5243$, то жорсткість досягнута

Висновок: Прохідний різець PCLNR 3232 P12 з пластиною CNMG 12 04 08 відповідає вимогам міцності та жорсткості при прийнятих параметрах обробки (чернове точіння).

3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Для забезпечення надійного кріплення основних ріжучих інструментів у процесі обробки необхідно правильно підібрати типорозмір допоміжного інструменту. Допоміжні інструменти включають у себе державки, тримачі, оправки, цанги, фланці, патрони та інші елементи, які забезпечують монтаж інструменту на верстаті з необхідною жорсткістю, точністю та зручністю обслуговування.

Позиції 1,4,3,5,6,7,8,9,11,12,13,15,16,17,18,19,20,28,29,30

Різцетримач для токарних операцій - 9 D1.50.32 DIN 69880 [4 с.49]

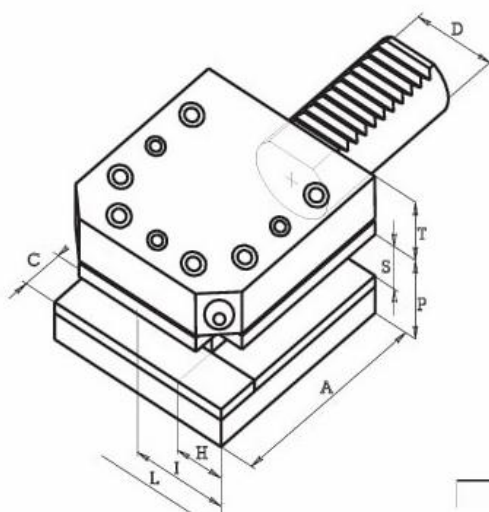


Рисунок 3.14 – Різцетримач 9 D1.50.32 DIN 69880

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри: $D=50$; $S=32/25$; $P=60$; $T=35$; $L=105$; $I=50$;
 $H=24$; $A=85$; $C=25$;

Позиції 2,4,5,7,9,10,12,15,17,19,23,24,25,26,27

Різцетримач для токарних операцій - 9 D1.40.25 DIN 69880 [4 с.49]

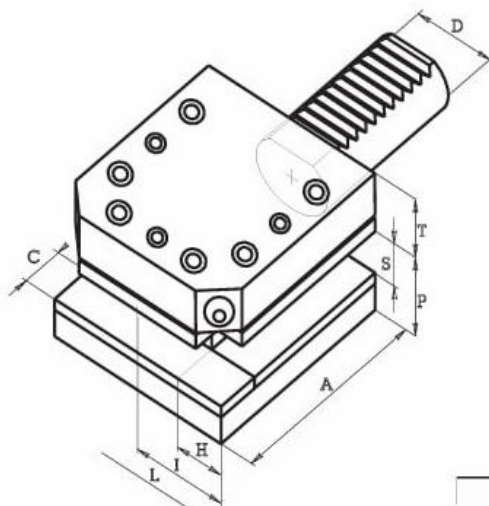


Рисунок 3.15 – Різцетримач 9 D1.40.25 DIN 69880

Геометричні параметри: $D=40$; $S=25/20$; $P=48$; $T=32$; $L=90$; $I=42,5$;
 $H=22$; $A=72$; $C=22$;

Позиції 21

Фрезерна операція – Оправка Weldon SK40×25 [5 с.3]

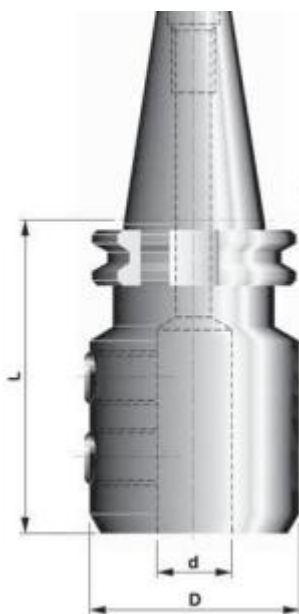


Рисунок 3.16 - Оправка Weldon SK40×25, L=100 мм

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Геометричні параметри: SK40, d=25; D=65; L=100

Позиції 22

Фрезерна операція – Оправка Weldon SK40×20 [5 с.3]

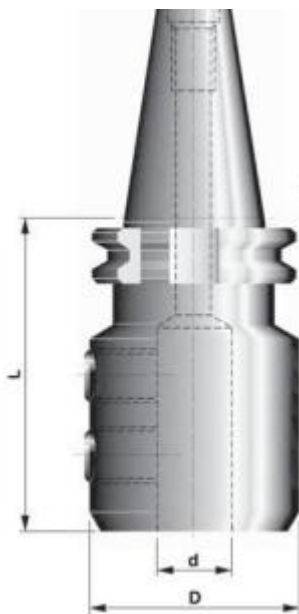


Рисунок 3.16 - Оправка Weldon SK40×20, L=100 мм

Геометричні параметри: SK40, d=20; D=52; L=100

Таблиця 3.3 – Структура інструментального комплексу

Найменування операцій	№ Пов	Металорізальний вестат	Ріжучий інструмент	Допоміжний інструмент
1	2	3	4	5
Точіння чорнове	1,3,4,5,6,7,8, 9,10,11,12, 13,15,16,17, 18,19,20	LEADWELL LTC-25iXXL	PCLNR 3232M12	9 D1.50.32 DIN 69880
Точіння чистове	4,5,7,9,10, 12,15,17,26, 27	LEADWELL LTC-25iXXL	PDJNR 2020K15	9 D1.40.25 DIN 69880
Фрезерування	21	Haas VF-2SS	R216.33-25040-AJ20U H10F	Weldon SK40×20
Фрезерування	22	Haas VF-2SS	R216.33-25040-AJ25U H10F	Weldon SK40×25

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ

Арк.

36

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
Нарізання різьби	2	LEADWELL LTC-25iXXL	266RFG- 2525-16	9 D1.40.25 DIN 69880
Точіння канавок	23,24,25	LEADWELL LTC-25iXXL	RLF123H13- 2020BM	9 D1.40.25 DIN 69880
Точіння галтелей	28,29,30	LEADWELL LTC-25iXXL	SL-SCLCL- 32-09HP	9 D1.50.32 DIN 69880

3.5 Комплексне налагодження інструментального оснащення для технологічної обробки деталі

Інструментальне налагодження представляє собою комплекс ріжучих та допоміжних інструментів, які встановлюються на обладнання згідно із технологічною операцією.

Розробка системи інструментального оснащення та налагодження для токарної операції на верстаті LEADWELL LTC-25iXXL.

Інструментальний комплекс сформовано на основі даних таблиць 3.1 та 3.2 згідно з вимогами обраної технологічної операції. Узагальнена інформація наведена в таблиці 3.3.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Для здійснення операції зубошліфування на заготівці типу вал-шестерня, було розроблено спеціалізований інструмент — черв'ячну фрезу, яка забезпечує потрібну точність та якість обробленої поверхні. Обробка виконується на високоточному верстаті Reishauer RZ 260, який передбачає застосування інструменту з жорстко регламентованими геометричними параметрами.

Основні вхідні дані:

- Модуль нарізки: $m = 10$ мм
- Кут профілю: $\alpha = 20^\circ$
- Число заходів: $z_n = 12$
- Кількість зубів: $Z = 14$
- Матеріал оброблюваної деталі: Сталь 20ХН3А, ДСТУ 7806:2015
- Матеріал інструменту: Сталь Р6М5, ДСТУ 7944:2015
- Твердість фрези після термообробки: 63–66 HRC
- Ступінь точності виготовлення: IT14 / h14

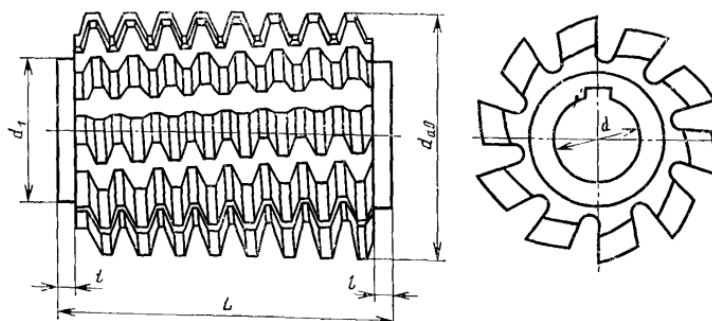


Рисунок 4.1 – Параметри черв'ячної фрези

Обираємо нашою фрезою 2510-4055 АА ДСТУ 9324-80

Основні конструктивні параметри фрези згідно з кресленням:

- Модуль нарізки: $m = 10$ мм
- Довжина фрези: $L = 180$ мм

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Скупченко			ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ			Літ.	Арк.	Акрушіє	
Перевір.		Рязанцев								38	9
								Каф. ТМ зр. ПМ-22ск			
Н. Контр.		Нечаєв									
Затверд.		Рязанцев									

- Зовнішній діаметр: $d_a = 160$ мм
- Посадковий отвір: $d = 60$ мм
- Ширина буртика: $b = 6$ мм
- Діаметр буртика: $d_1 = 90$ мм
- Кількість стружкових канавок: $z_0 = 12$
- Радіус фаски на торці: $R = 3$

Визначення основних геометричних параметрів фрези

4.1.1. Для встановлення габаритних розмірів фрези виконаємо розрахунок зовнішнього діаметра за наступною формулою:

$$d_{a0} \geq 2H_k + 2p + d$$

де:

- d — діаметр посадкового отвору,
- H_k — глибина стружкової канавки,
- p — розмір корпусної частини, приймаємо $p = 0,3 \cdot d$.

Розрахунок посадкового отвору:

Величину посадкового отвору d визначимо в межах:

$$d = (0,2 - 0,45)d_{a0}$$

Приймаючи $d_{a0} = 180$ мм, отримаємо:

$$d = 0,33 \cdot 180 = 59,4 \text{ мм}$$

Приймаємо $\varnothing 60$ мм за ISO 2490:2007.

Розрахунок корпусної частини:

$$p = (0,25 - 0,3) \cdot d$$

$$p = 0,3 \cdot 60 = 18 \text{ мм}$$

Виконуємо обчислення глибини стружкової канавки черв'ячної фрези за формулою:

$$H_k = h_0 + k + r$$

де:

- h_0 — повна висота профілю зуба;
- r — радіус заокруглення дна канавки (приймається рівним 3 мм);
- k — величина затилування зуба.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

4.1.2 Підбираємо розміри нормального профілю черв'ячної фрези

На основі креслення визначаємо основні геометричні параметри профілю зубів у нормальному перерізі:

- Крок профілю зуба: $P_n0=15,708$ мм
- Товщина зуба: $S_n0=7,854$ мм
- Висота профілю зуба: $h_0=25$ мм
- Висота головки зуба: $h_{a0}=3,8$ мм
- Висота ніжки зуба: $h_{f0}=21,2$ мм
- Радіус заокруглення головки зуба: $R=3$ мм
- Радіус заокруглення впадини зуба: $R_1=3,8$ мм
- Кут профілю: $\alpha=20^\circ$

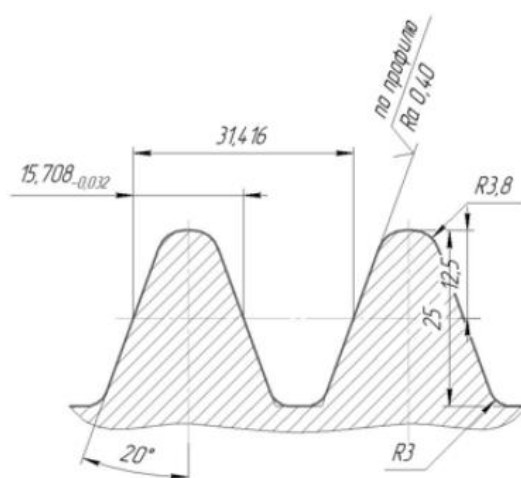


Рисунок 4.2 – Профіль зубів черв'ячної фрези

4.1.3 Розміри профілю черв'ячної фрези в осьовому перерізі

На основі креслення визначено такі параметри профілю зуба в осьовому перетині:

- Загальна висота зуба: 38,5 мм
- Кут передньої поверхні: 22°
- Кут затилування: $5^\circ 56' 50''$
- Радіус заокруглення у п'яті зуба: $R = 2,5$ мм
- Довжина фаски: 10 мм
- Глибина під фаску: 12 мм
- Шорсткість поверхні: $Ra 0,40$

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Зуб фрези

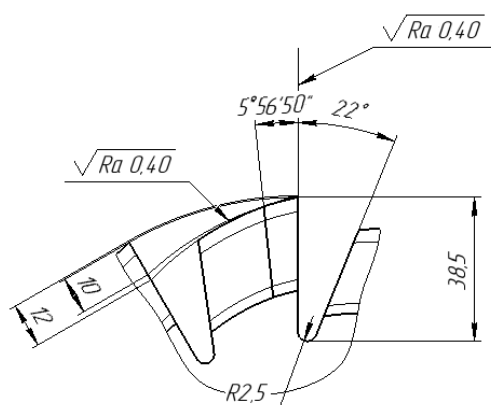


Рисунок 4.3 – Профіль зуба в осьовому перетині

Розрахунок величини затилування

Затилування зуба черв'ячної фрези визначаємо за формулою:

$$k = \frac{\pi \cdot d_{a0}}{z_u} \cdot \operatorname{tg} \alpha_v$$

де:

- $d_{a0}=160$ мм - зовнішній діаметр фрези,
- $z_0=12$ - кількість стружкових канавок,
- $\alpha_v=12^\circ$ - величина заднього кута в перерізі

$$k = \frac{3,14 \cdot 180}{12} \cdot \operatorname{tg} 12^\circ = 10 \text{ мм}$$

Розрахунок повної висоти профілю зуба

$$h_0 = h_0' + h_0''$$

$$h_0 = 3,8 + 21,2 = 25 \text{ мм}$$

Глибина стружкової канавки

$$H_k = h_0 + k + r$$

де:

- $h_0=25$ мм

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

- $k=10$ мм
- $r=3$ мм

$$H_k = 25 + 10 + 3 = 38 \text{ мм}$$

Виконаємо перевірку:

$$d_{a0} \geq 2 \cdot H_k + 2 \cdot p + d$$

Підставляємо:

$$180 \geq 2 \cdot 38 + 2 \cdot 18 + 60$$

$$180 \geq 172$$

Умова виконується. Розрахунок фрезу виконується вірно

4.1.4 Довжину фрези можна розраховуємо за формулою:

$$L = 2 \left[\frac{h_1}{\sin 2\alpha_u} (1 + \sin^2 \alpha_u) + S_u \right]$$

Висота нарізного зуба:

$$h_1 = 2,25m - \Delta y \cdot m$$

$$h_1 = 2,25 \cdot 10 - 0,1 \cdot 10 = 21,5 \text{ мм}$$

Вихідна товщина зуба по ділильному колу:

$$S_{u \text{ вих}} = \frac{\pi \cdot m}{2} - \Delta S_u = \frac{3,14 \cdot 10}{2} - 0,5 = 15,2 \text{ мм}$$

Повна товщина зуба:

$$S_u = S_{u \text{ усх}} + 2 \cdot \xi \cdot m \cdot \text{tg} \alpha_d$$

$$S_u = 15,2 + 2 \cdot 0,5 \cdot 10 \cdot \tan 20^\circ \approx 15,2 + 10 \cdot 0,3640 = 18,84 \text{ мм}$$

Довжина фрези L:

$$L = 2 \left[\frac{21,5}{0,3168} (1 + 0,0435) + 18,84 \right] = 179 \text{ мм}$$

Приймаємо $L=180$.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

4.1.5 Розрахуємо розміри профілю зубів у нормальному перерізі

Розрахунок осьового кроку:

$$P_{x0} = \frac{P_{n0}}{\cos \gamma_m} = \frac{17,708}{0,9962} = 15,77 \text{ мм}$$

Розрахунок середнього діаметра:

$$d_{cp} = d_{a0} - 2 \cdot h_0 - 2 \cdot \sigma \cdot k = 180 - 2 \cdot 25 - 2 \cdot 0,2 \cdot 10 = 126 \text{ мм}$$

Кут підйому витка:

$$\sin \gamma = \frac{m \cdot z_3}{d_{cp}} = \frac{6 \cdot 1}{126} = 4^{\circ}53'$$

Кут нахилу стружкових канавок:

$$\gamma = \lambda = 0,042 = 2^{\circ}41'$$

Хід гвинтової канавки:

$$P_z = \pi \cdot d_{cp} \cdot \operatorname{ctg} \gamma = 3,14 \cdot 126 \cdot \cot(2^{\circ}24') = 9444 \text{ мм}$$

Закруглення на головці зуба:

$$P_{eu} = \frac{C}{1 - \sin \alpha_d} = \frac{0,25 \cdot 10}{1 - 0,342} = 3,8 \text{ мм}$$

4.2 Оцінка технічних характеристик спеціалізованого ріжучого інструменту

Для перевірки працездатності розробленої черв'ячної фрези проведено інженерний аналіз у SolidWorks Simulation. Дослідження охоплює оцінку напружень, переміщень і навантажень.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

У симуляцію завантажено 3D-модель фрези з параметрами: зовнішній діаметр 180 мм, модуль 10 мм, 12 канавок, довжина 180 мм. Матеріал — власно створена бібліотека сталі Р6М5. Після призначення умов закріплення та навантаження, програма дозволяє виявити критичні зони та оцінити міцність конструкції.

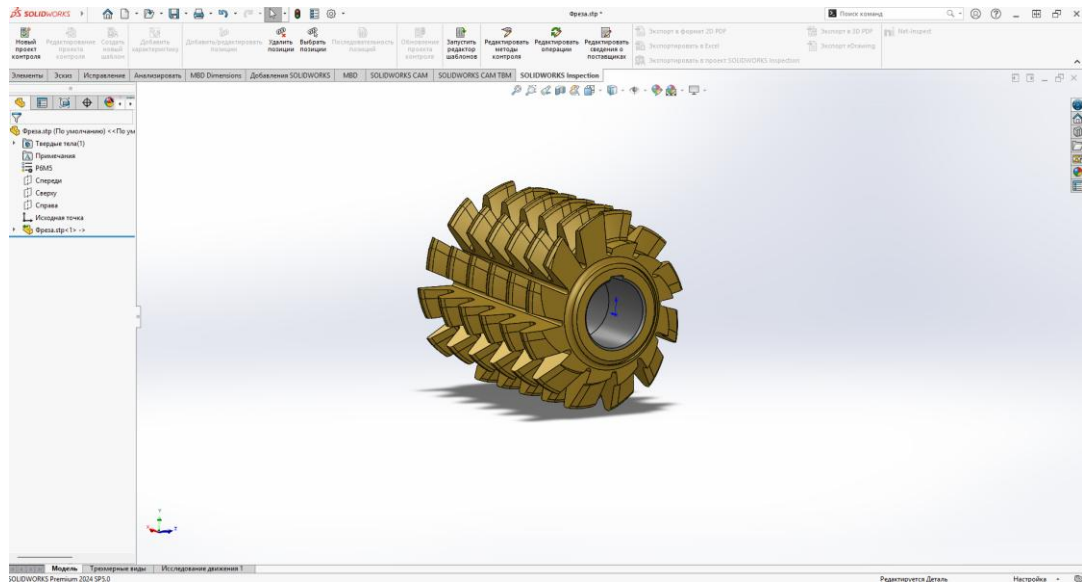


Рисунок 4.4 – Створена модель в середовищі SolidWorks

Наступним кроком потрібно було зафіксувати деталь, та виставити напрямки прикладання сил, щоб була можливість провести аналіз за допомогою симуляцій

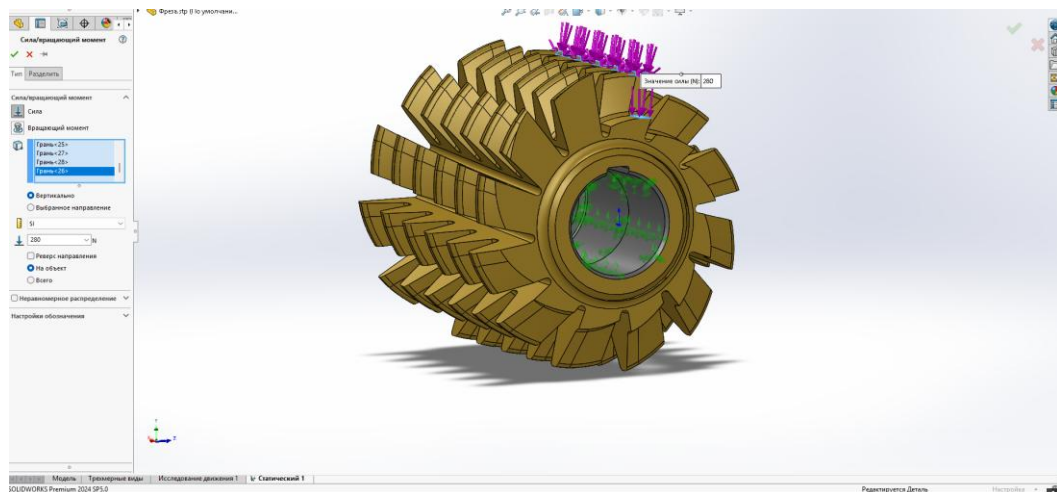


Рисунок 4.5 – Підготовка моделі до симуляцій

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ

Арк.

44

Після було створено сітку кінцевих елементів, щоб на її основі створити епюри

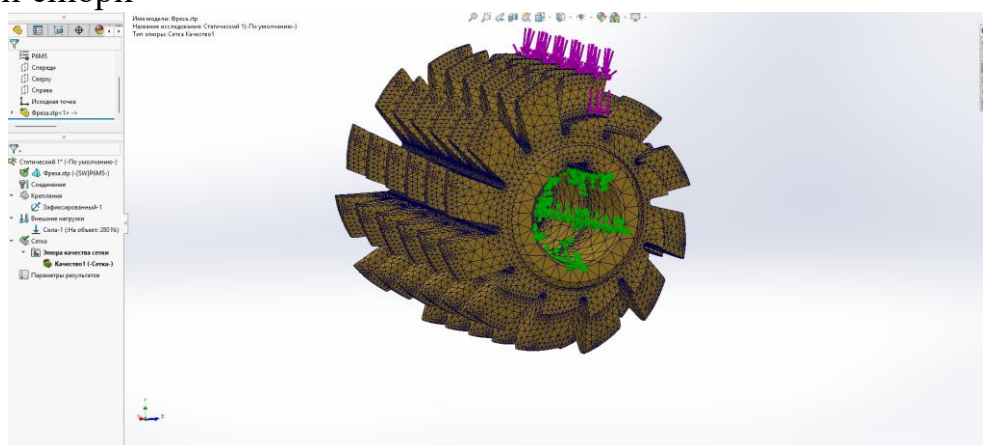


Рисунок 4.6. – Створення сітки для подальшого аналізу

Після запускаємо симуляцію, та можемо бачити створені епюри: «Напруження», «Деформація», «Переміщення»

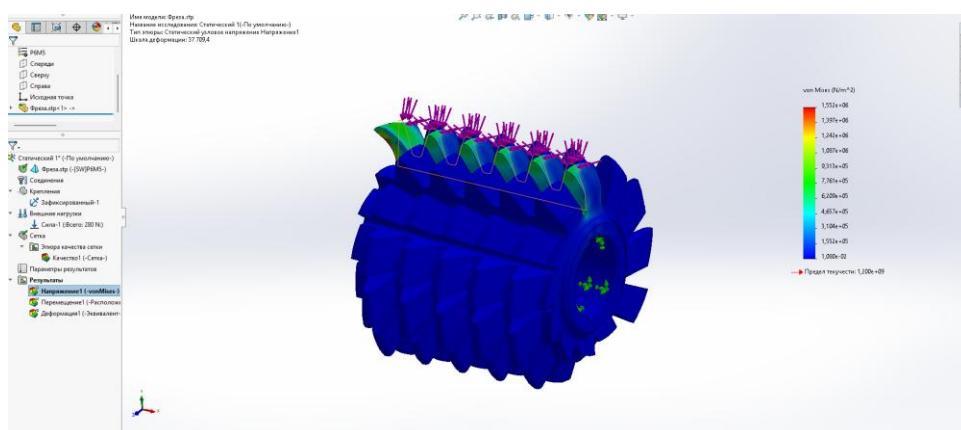


Рисунок 4.7 – Епюра «Навантаження»

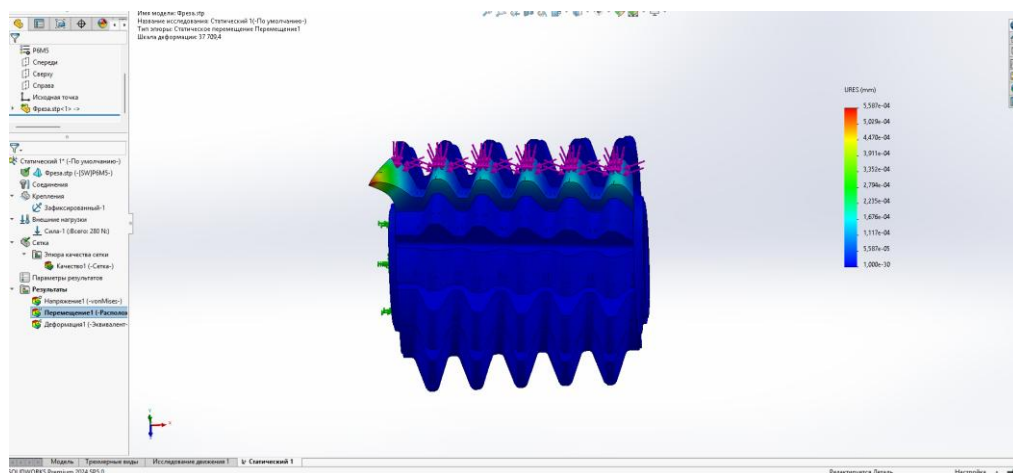


Рисунок 4.8 – Епюра «Переміщення»

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ

Арк.

45

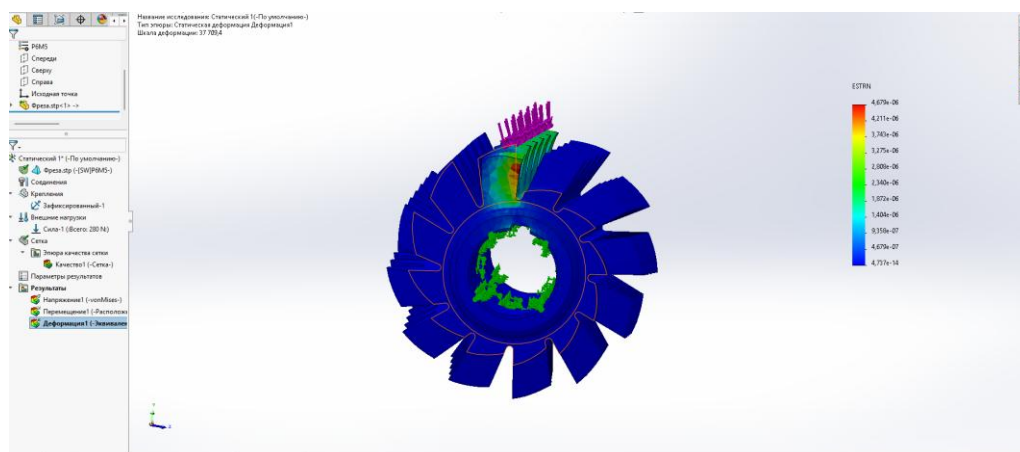


Рисунок 4.9 – Епюра «Деформація»

Після проведення симуляції у SolidWorks Simulation були отримані дані, які відображають поведінку фрези під дією навантаження. В аналізі «Напруження» вдалося визначити зони з максимальними силовими впливами, що дозволяє оцінити загальну стійкість інструмента.

Режим «Переміщення» показав зміну положення ріжучих елементів відносно вихідної геометрії, а аналіз «Деформації» виявив ділянки, де спостерігається локальний вигин матеріалу. Так ми можемо бачити, що найбільшу роботу виконує ріжуча частина інструменту, тому ми навіть можемо спостерігати зміщення ріжучих кромek.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Розробимо керуючу програму на токарну обробку вал-шестерні за два установи.

Обробка здійснюється на токарному верстаті з ЧПК LEADWELL LTC-25iXXL. Даний верстат обладнаний системою Fanuc. Програмування процесу обробки виконується в САМ-системі FeatureCAM. Опції постпроцесора наведені на рисунку 5.1.

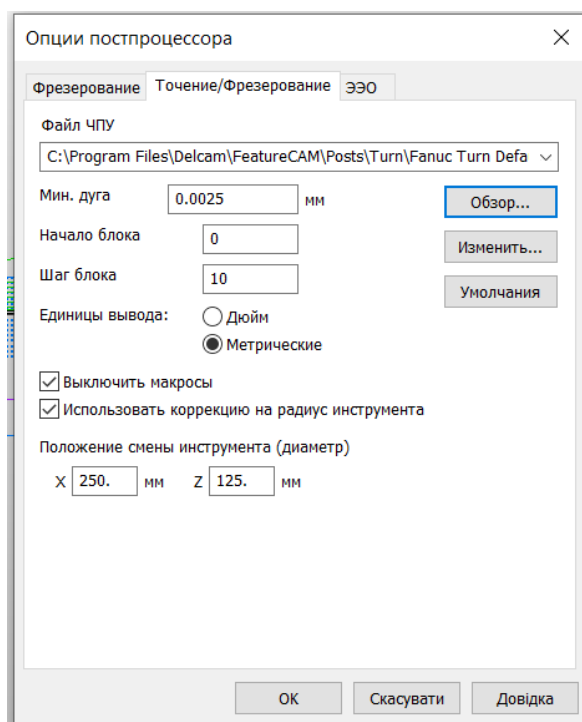


Рисунок 5.1 – Опції постпроцесора

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Розміри заготовки визначаємо виходячи з припусків на механічну обробку і стандартних діаметрів прокату: призначаємо припуск на максимальний діаметр 10 мм, на торці – по 2,5 мм. Звідки розміри заготовки: Ø180 мм, L = 1130 мм.

Імпортуємо в проєкт модель деталі для пришвидшення розробки керуючої програми за рахунок автоматизації створення керуючих кривих та елементів. Результат наведено на рисунку 5.2.

					<i>КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Скципченко</i>			<i>Моделювання та програмування операцій механічної обробки</i>		
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					
					Лім. Арк. Акрушів 47 9 Каф. ТМ гр. ПМ-22ск		
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Затверд.		<i>Рязанцев</i>					

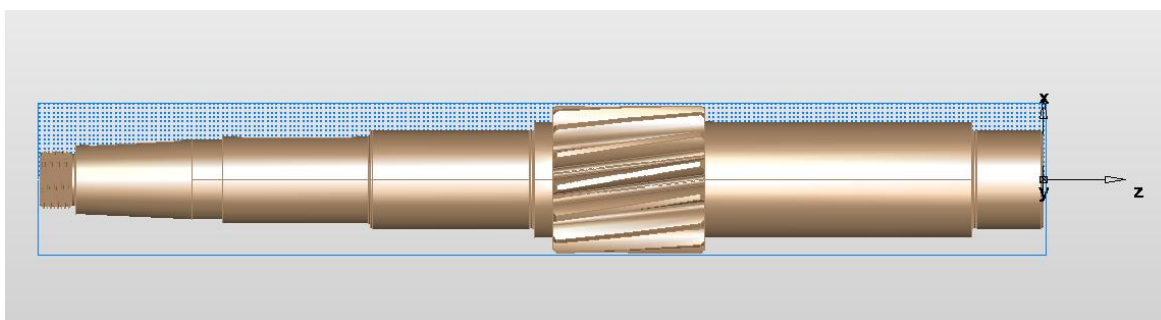


Рисунок 5.2 – Імпорт деталі у Autodesk FeatureCAM

Розробляємо операції першого установа:

- 1) підрізання торця;
- 2) точіння зовнішніх поверхонь з припуском на шліфування з підрізанням фасок;
- 3) прорізання канавки.

Вікно створення нового інструменту зображено на рисунку 5.3., результат обробки – на рис. 5.4, траєкторії переміщень інструментів – рис. 5.5.

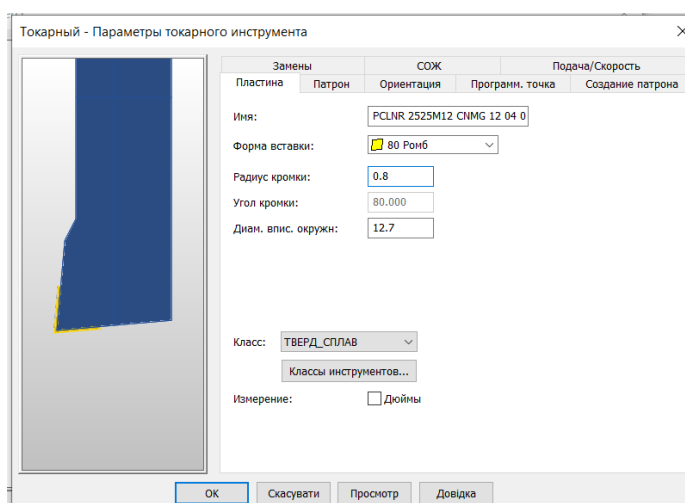


Рисунок 5.3 – Створення нового інструменту

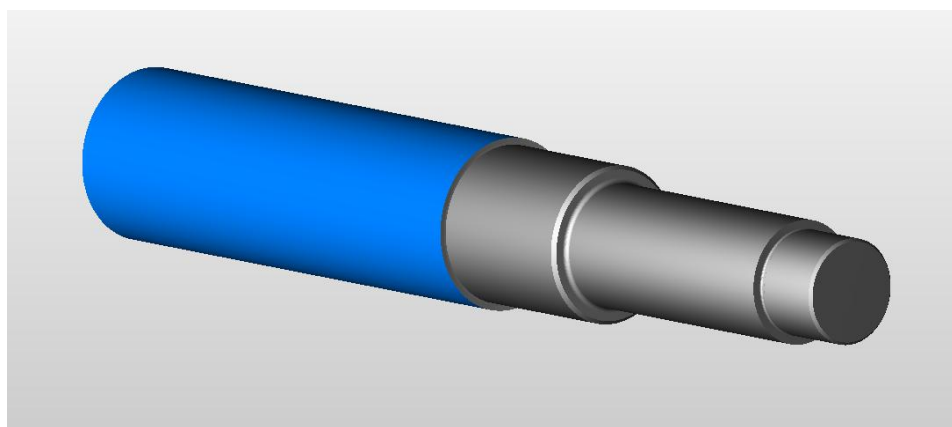


Рисунок 5.4 – Результат обробки першого установа

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО

Арк.

48

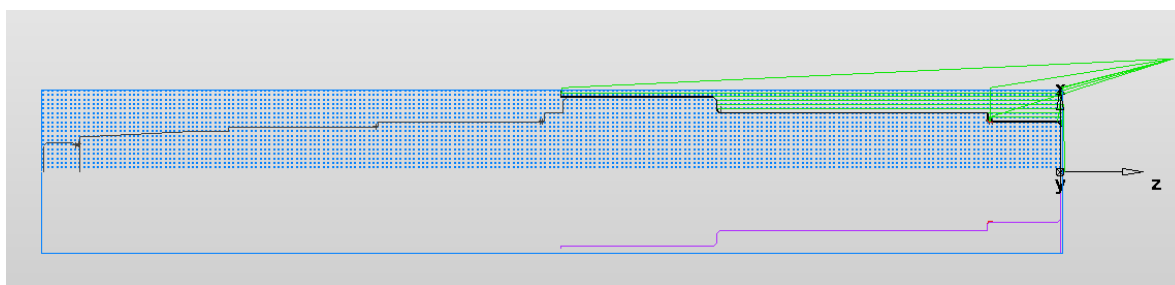


Рисунок 5.5 – Траєкторії переміщень інструментів на першому установі

Розробляємо операції другого установу:

- 1) підрізання торця;
- 2) точіння зовнішніх поверхонь з припуском на шліфування з підрізанням фасок;
- 3) прорізування канавок;
- 4) нарізання різьблення.

Результат обробки другого установу наведено на рис. 5.6, траєкторії переміщень інструментів – рис. 5.7, перелік створених операцій з режимами різання – рис. 5.8.

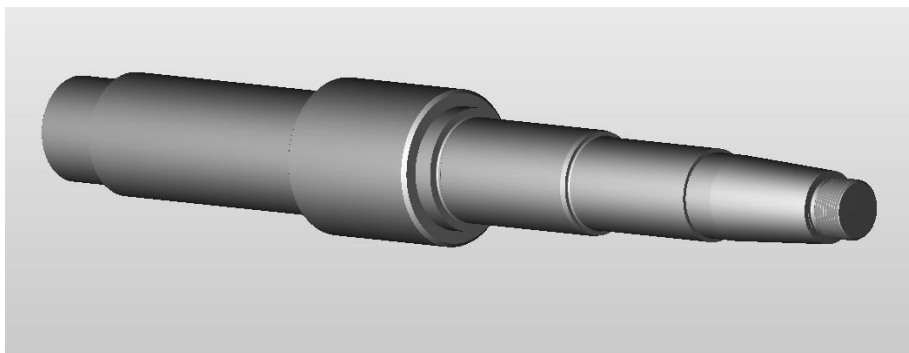


Рисунок 5.6 – Результат обробки другого установу



Рисунок 5.7 – Траєкторії переміщень інструментів на другому установі

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО

Арк.

49

С	Операция	Элемент	Инструмент	Подача	Скорость	Глубина
→	черн. прох...	торець1	* PCLNR 252...	0.381 мм/об	171 м/мин	90.000 мм
	черн. прох...	точіння1	PCLNR 252...	0.381 мм/об	171 м/мин	32.500 мм
	чист.	точіння1	* PDJNR 202...	0.152 мм/об	247 м/мин	32.500 мм
	черн. прох...	канавка1	* RLF123H13...	0.381 мм/об	171 м/мин	3.000 мм
	с_остановом	с_останово...				
	черн. прох...	торець2	PCLNR 252...	0.381 мм/об	171 м/мин	90.000 мм
	черн. прох...	точіння2	PCLNR 252...	0.381 мм/об	171 м/мин	56.000 мм
	чист.	точіння2	* PDJNR 202...	0.152 мм/об	247 м/мин	56.000 мм
	черн. прох...	канавка2	* RLF123H13...	0.381 мм/об	171 м/мин	3.000 мм
	черн. прох...	канавка3	* RLF123H13...	0.381 мм/об	171 м/мин	3.000 мм
	резьба	різьба1	266RFG-252...	4.000 мм/об	840 об/мин	3.031 мм
	Результаты					

Рисунок 5.8 – Перелік створених операцій

Розробимо симуляцію обробки на верстаті – на рис. 5.10, 5.11.

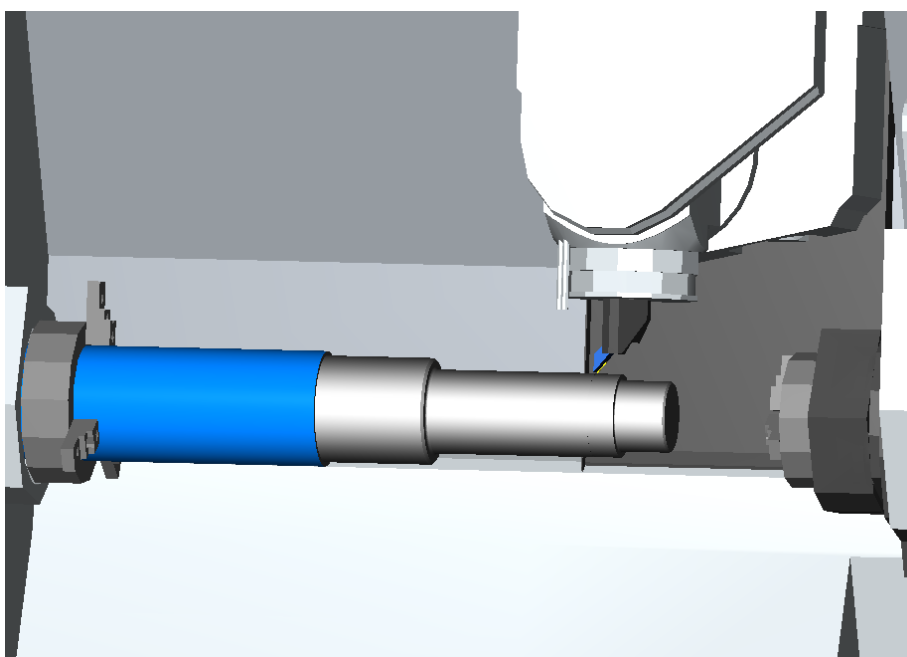


Рисунок 5.9 – Симуляція обробки на верстаті першого установка

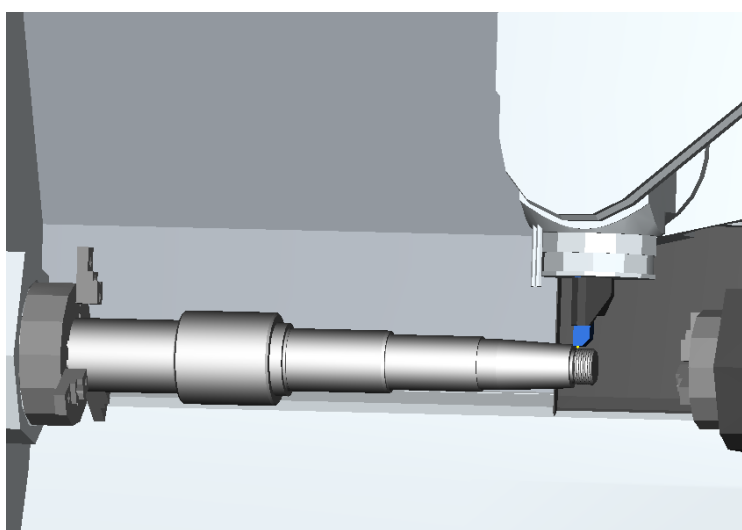


Рисунок 5.10 – Симуляція обробки на верстаті другого установка

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО

Арк.

50

Після моделювання обробки генеруємо керуючу програму, фрагмент якої наведено на рис. 5.12. Для скорочення кількості кадрів користуємось токарними циклами повздовжнього багатопрохідного точіння G71.

Загальна кількість кадрів – 216. Машинний час обробки – 1 год 12 хв.

```

%
O0001 (Val-shesternya)
N20 G21 G40
N30 G28 U0
N40 G28 W0
(ROUGH FACE)
N60 T101
N70 G50 S3000
N80 G96 S170 M4
N90 G0 X186.0 Z0. M8
N100 G1 X0. F0.381
N110 Z2.5
N120 X0.707 Z2.854
N130 G0 Z5.5
(ROUGH TURN)
N150 G0 X180.0 Z3.0
N160 G50 S3000
N170 G96 S170
N180 G0 X180.0 Z3.0 M8
N190 X186.0
N200 G71 U5.0 R0.5
N210 G71 P220 Q330 U1.0 W0.5 F0.381
N220 G1 X105.0 F0.152
N230 Z0.
N240 X111.0 Z-3.0
N250 Z-78.0
N260 G2 X115.0 Z-80.0 R2.0 F0.381
N270 G1 X130.0
N280 Z-375.0
N290 G2 X140.0 Z-380.0 R5.0
N300 G1 X157.231
N310 X165.231 Z-384.0
N320 Z-553.0
N330 X170.0
N340 G0 X186.0
N350 G28 U0

```

Рисунок 5.11 – Фрагмент згенерованої керуючої програми

Додатково перевіримо створену керуючу програму у програмному забезпеченні CIMCO Edit. Траєкторії переміщень інструментів першого установу наведено на рис. 5.13, другого – 5.14, твердотільна верифікація – 5.15.

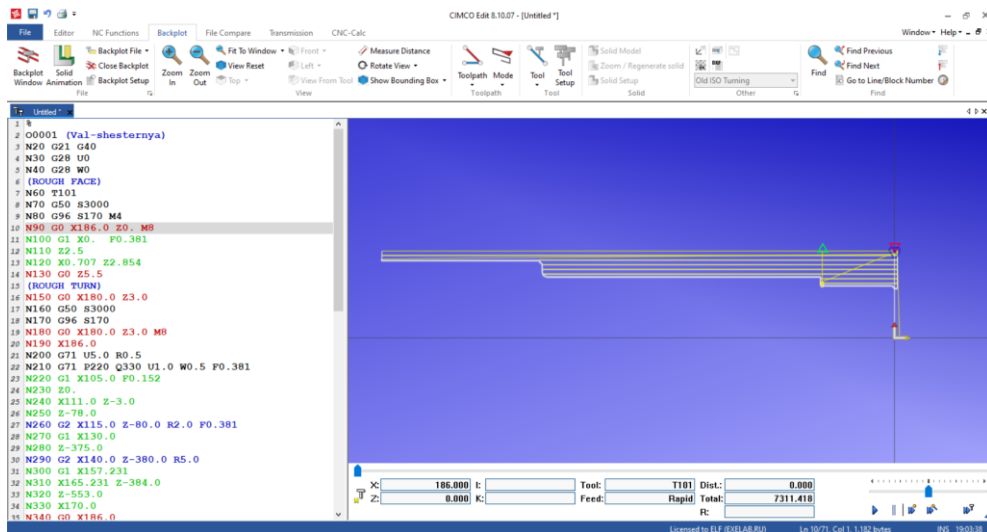


Рисунок 5.12 – Траєкторії переміщень інструментів першого установу у CIMCO Edit

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО

Арк.

51

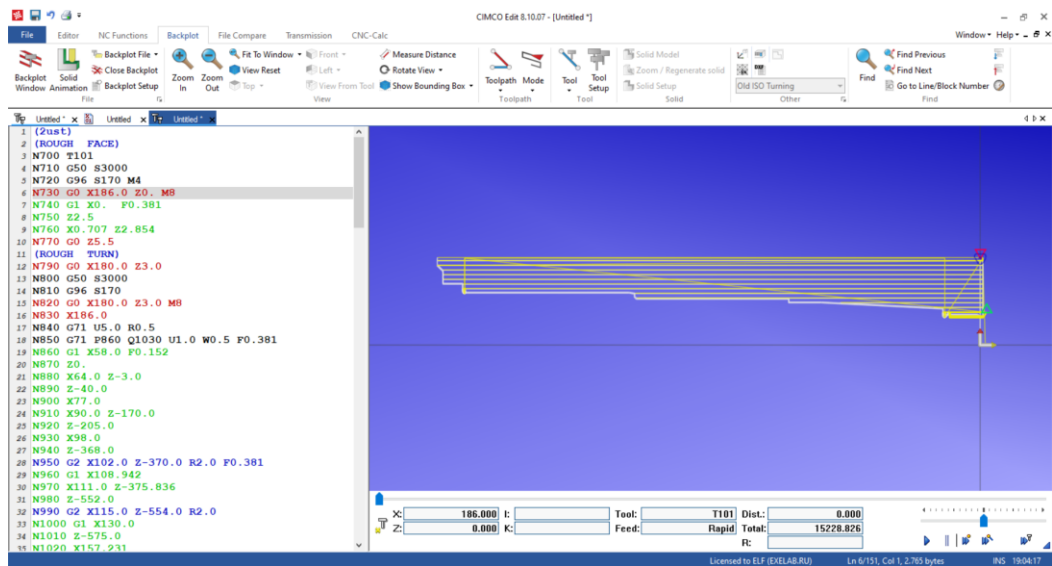


Рисунок 5.13 – Траєкторії переміщень інструментів другого установа у CIMCO Edit

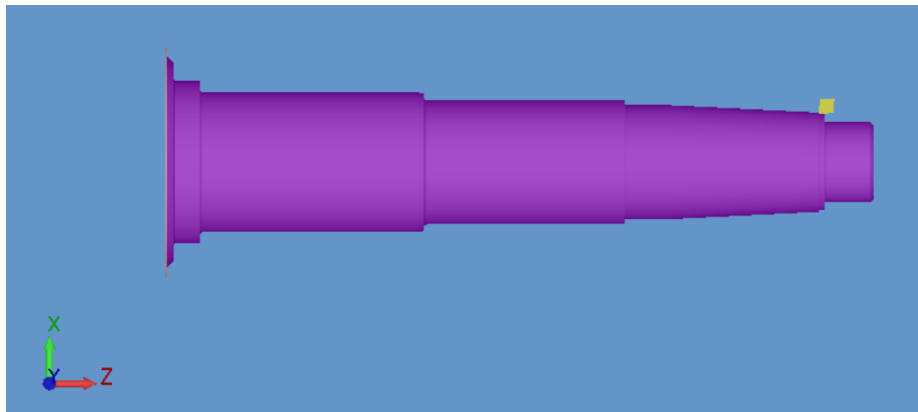


Рисунок 5.14 – Твердотільна верифікація обробки другого установа у CIMCO Edit

					КНУ.КБР.131.25.2-09.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ПОВНИЙ ТЕКСТ КП

%	N450 G28 W125.0
O0001 (Val-shesternya)	(ROUGH GROOVE: OUTER)
N20 G21 G40	N470 T303
N30 G28 U0	N480 G50 S3000
N40 G28 W0	N490 G96 S170 M4
(ROUGH FACE)	N500 G0 X121.0 Z-77.441 M8
N60 T101	N510 G1 X109.096 F0.381
N70 G50 S3000	N520 G0 X121.0
N80 G96 S170 M4	N530 Z-79.0
N90 G0 X186.0 Z0. M8	N540 G1 X109.375
N100 G1 X0. F0.381	N550 G0 X121.0
N110 Z2.5	N560 Z-76.441
N120 X0.707 Z2.854	N570 X117.283
N130 G0 Z5.5	N580 G1 X110.883
(ROUGH TURN)	N590 X109.469 Z-77.149
N150 G0 X180.0 Z3.0	N600 G2 X109.0 Z-77.714 R0.8
N160 G50 S3000	N610 G0 X121.0
N170 G96 S170	N620 Z-80.0
N180 G0 X180.0 Z3.0 M8	N630 G1 X112.6
N190 X186.0	N640 G3 X109.0 Z-78.2 R1.8
N200 G71 U5.0 R0.5	N650 G1 Z-77.714
N210 G71 P220 Q330 U1.0 W0.5	N660 G0 X185.6
F0.381	N670 G28 U0
N220 G1 X105.0 F0.152	N680 G28 W125.0
N230 Z0.	N690 M00
N240 X111.0 Z-3.0	(2ust)
N250 Z-78.0	(ROUGH FACE)
N260 G2 X115.0 Z-80.0 R2.0	N700 T101
F0.381	N710 G50 S3000
N270 G1 X130.0	N720 G96 S170 M4
N280 Z-375.0	N730 G0 X186.0 Z0. M8
N290 G2 X140.0 Z-380.0 R5.0	N740 G1 X0. F0.381
N300 G1 X157.231	N750 Z2.5
N310 X165.231 Z-384.0	N760 X0.707 Z2.854
N320 Z-553.0	N770 G0 Z5.5
N330 X170.0	(ROUGH TURN)
N340 G0 X186.0	N790 G0 X180.0 Z3.0
N350 G28 U0	N800 G50 S3000
N360 G28 W125.0	N810 G96 S170
(FINISH TURN)	N820 G0 X180.0 Z3.0 M8
N380 T202	N830 X186.0
N390 G50 S3000	N840 G71 U5.0 R0.5
N400 G96 S246 M4	N850 G71 P860 Q1030 U1.0 W0.5 F0.381
N410 G0 X180.0 Z3.0 M8	N860 G1 X58.0 F0.152
N420 G70 P220 Q330	N870 Z0.
N430 G0 X186.0	N880 X64.0 Z-3.0
N440 G28 U0	N890 Z-40.0

N900 X77.0	N1400 G1 Z-37.714
N910 X90.0 Z-170.0	N1410 G0 X185.6
N920 Z-205.0	(ROUGH GROOVE: OUTER)
N930 X98.0	N1430 G0 Z-551.441
N940 Z-368.0	N1440 G50 S3000
N950 G2 X102.0 Z-370.0 R2.0	N1450 G96 S170
F0.381	N1460 G0 X185.6 Z-551.441 M8
N960 G1 X108.942	N1470 X121.0
N970 X111.0 Z-375.836	N1480 G1 X109.096 F0.381
N980 Z-552.0	N1490 G0 X121.0
N990 G2 X115.0 Z-554.0 R2.0	N1500 Z-553.0
N1000 G1 X130.0	N1510 G1 X109.375
N1010 Z-575.0	N1520 G0 X121.0
N1020 X157.231	N1530 Z-550.441
N1030 X170.0 Z-581.385	N1540 X117.283
N1040 G0 X186.0	N1550 G1 X110.883
N1050 G28 U0	N1560 X109.469 Z-551.149
N1060 G28 W125.0	N1570 G2 X109.0 Z-551.714 R0.8
(FINISH TURN)	N1580 G0 X121.0
N1080 T404	N1590 Z-554.0
N1090 G50 S3000	N1600 G1 X112.6
N1100 G96 S246 M4	N1610 G3 X109.0 Z-552.2 R1.8
N1110 G0 X180.0 Z3.0 M8	N1620 G1 Z-551.714
N1120 G70 P860 Q1030	N1630 G0 X185.6
N1130 G0 X186.0	N1640 G28 U0
N1140 G28 U0	N1650 G28 W125.0
N1150 G28 W125.0	(THREAD: OUTER)
(ROUGH GROOVE: OUTER)	N1670 T505
N1170 T303	N1680 G97 S840 M4
N1180 G50 S3000	N1690 G0 X70.0 Z6.663 M8
N1190 G96 S170 M4	N1700 X62.887 Z4.692
N1200 G0 X70.0 Z-34.441 M8	N1710 G32 X62.887 Z-31.647 F4.0
N1210 G1 X63.883 F0.381	N1720 G0 X70.0
N1220 G0 X70.0	N1730 Z6.663
N1230 Z-36.441	N1740 X61.997 Z4.445
N1240 G1 X59.883	N1750 G32 X61.997 Z-31.894 F4.0
N1250 G0 X70.0	N1760 G0 X70.0
N1260 Z-38.441	N1770 Z6.663
N1270 G1 X58.0	N1780 X61.255 Z4.239
N1280 G0 X70.0	N1790 G32 X61.255 Z-32.099 F4.0
N1290 Z-40.0	N1800 G0 X70.0
N1300 G1 X60.8	N1810 Z6.663
N1310 G0 X70.0	N1820 X60.619 Z4.063
N1320 Z-34.441	N1830 G32 X60.619 Z-32.275 F4.0
N1330 G1 X63.883	N1840 G0 X70.0
N1340 X58.469 Z-37.149	N1850 Z6.663
N1350 G2 X58.0 Z-37.714 R0.8	N1860 X60.063 Z3.909
N1360 G0 X70.0	N1870 G32 X60.063 Z-32.43 F4.0
N1370 Z-40.0	N1880 G0 X70.0
N1380 G1 X60.8	N1890 Z6.663
N1390 G3 X58.0 Z-38.6 R1.4	N1900 X59.568 Z3.772

					КНУ.КБР.131.25.02-09.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

N1910 G32 X59.568 Z-32.567 F4.0
 N1920 G0 X70.0
 N1930 Z6.663
 N1940 X59.123 Z3.648
 N1950 G32 X59.123 Z-32.69 F4.0
 N1960 G0 X70.0
 N1970 Z6.663
 N1980 X58.718 Z3.536
 N1990 G32 X58.718 Z-32.802 F4.0
 N2000 G0 X70.0
 N2010 Z6.663
 N2020 X58.347 Z3.433
 N2030 G32 X58.347 Z-32.905 F4.0
 N2040 G0 X70.0

N2050 Z6.663
 N2060 X58.005 Z3.338
 N2070 G32 X58.005 Z-33.0 F4.0
 N2080 G0 X70.0
 N2090 Z6.663
 N2100 X58.005 Z3.338
 N2110 G32 X58.005 Z-33.0 F4.0
 N2120 G0 X70.0
 N2130 Z6.663
 N2140 G28 U0
 N2150 G28 W0
 N2160 M30
 %

					КНУ.КБР.131.25.02-09.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Одним із важливих аспектів при оцінці ефективності виробничих процесів є розрахунок технологічної собівартості (ТС), яка враховує лише ті витрати, що змінюються залежно від варіанта побудови технологічного маршруту, кількості операцій або можливості їх об'єднання. Такий розрахунок дозволяє:

- визначити найбільш економічно доцільні варіанти технологічної обробки;
- знайти шляхи підвищення продуктивності за рахунок скорочення кількості переходів;
- проаналізувати, як зміни в процесі впливають на загальну собівартість виготовлення;
- сформулювати конкурентоспроможну ціну за рахунок зменшення витрат.

Для формування об'єктивної ТС беруть до уваги:

- витрати на матеріали та заготовки;
- заробітну плату основного виробничого персоналу;
- витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання, оснащення й інструменту;
- споживання електроенергії та інших технічних ресурсів;
- витрати на створення управляючих програм для ЧПК-обладнання;
- використання виробничих та допоміжних площ;
- інші статті витрат, що впливають на процес обробки.

Оцінювання техніко-економічної доцільності здійснюється шляхом порівняння вартості обробки деталей на традиційних верстатах і обладнанні з числовим програмним керуванням.

Початкові розрахункові дані наведено на рисунках 6.1-6.3.

					<i>КНУ.КБР.131.25.2-09.06.00ПВ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>ОРГАНІЗАЦІЙНО- ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Скупченко</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>					
<i>Н. Контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Затверд.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
						56	9
					<i>Каф. ТМ гр. ПМ-22ск</i>		

Таблиця 6.1 – Початкові дані

Вихідні дані					
Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	1K62	ДИП-300	TB-16	16K20	LEADWELL LTC-25iXXL
Деталь					
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	1500				1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	20				20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3				3
Штучний час обробки деталі t _{шт} , хв.	18	12	6	10	7
Час наладки верстата, хв.	25	30	15	20	18
Розряд:					
контролера	5				5
верстатника	4	3	3	2	2
наладчика	3	3	3	4	4
наладчика інструменту	4	4	3	3	3
Кількість кадрів програми, шт.					300
Вартість заготовки S _{заг} , грн.	4300				4300
Вартість комплекту спец. пристосувань К _{пр} , грн	35000	42000	29000	31000	61000
Оптова ціна на прокат одного УСП Ц _{сп} , грн					
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	0,5	1,5	0,5	1	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	60	70	40	55	90
Середня кількість граней пластинки, шт.	4	4	4	4	4
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному K _т	0,083	0,083	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.					6,8
Вартість розробки ПК К _{лр} , грн.					1800
Середньочасова зарплатня робітника, грн:					
верстатника Н _{ст}	105	110	108	115	145
наладчика Н _{нал}	120	125	118	122	140
наладчика інструмента Н _{ін}	100	105	102	108	135
контролера Н _к	114				138

Таблиця 6.2 – Початкові дані

<i>Верстати</i>					
Клас точності верстата	Н	Н	Н	Н	А
Маса верстата, т	11,2	10,8	9,5	10,2	12,7
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	<i>2,5 x 1</i>	<i>2,6 x 1,1</i>	<i>1,8 x 0,9</i>	<i>2 x 1</i>	<i>5,6 x 2,4</i>
Габарити пристрою ЧПК, м					<i>0,5 x 0,5</i>
Тип пристрою ЧПК					<i>FANUC 0i-ID</i>
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{\text{рп}}$, років	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>7</i>	<i>10</i>
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>10</i>	<i>50</i>
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:					
механічної частини R_m	18	17,5	14	15,5	26,5
електротехнічної частини R_e	13,4	13,8	10,2	12,1	20,5
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	380000	270000	180000	165000	1725000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,72	0,74	0,76	0,75	0,92
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	2,5	2,9	1,6	2,0	13,4
Площа пристрою ЧПК А _у , м. кв.					0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.					
механічної частини H_m	410	410	410	410	272
електротехнічної частини H_e	88	88	88	88	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	5	2,5	2,5	1,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{\text{об}}$, год	3975	3975	3975	3975	3845

Таблиця 6.3 – Початкові дані

Виробничі та інші площі					
Вартість 1 м. кв. площі механічної Цплз, грн	480				480
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Цсл. поб, грн	950				950
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого Аб, м. кв.	6				6
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Нпл, грн.	180	180	180	180	200
Розрахунок допоміжних показників					
Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	1K62	ДИП-300	TB-16	16K20	LEADWELL LTC-25iXXL
Трудомісткість обробки Тшт, год	400	400	150	250	1500
Час наладки верстата впродовж року Тн, год	8,33333	10	5	6,666667	6
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року Тнiн, год	0	0,00	0,4875	1,181818	20,00
Час контролю деталей впродовж року Тк, год	33,2	33,2	12,45	20,75	124,5
Кількість верстатників Рст, чол. (розрах.)	0,22	0,22	0,08	0,13	0,40
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів Рн, чол. (розрахункова)	0,0045	0,0054	0,0027	0,0036	0,0032
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом Рнiн, чол. (розрахункова)	0	0,0000	0,000262	0,000635	0,01075
(дійсна)	1	0	1	1	1
Кількість контролерів Рк, чол. (розрах.)	0,02	0,02	0,007	0,01	0,07
(дійсна)	1				1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК Рдод, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21
(дійсна)	0	0	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	12				5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,14	0,18	0,0513	0,086	0,43

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КНУ.КБР.131.25.2-09.06.0ЕПВ

Арк.

59

4. Витрати на підготовку та поновлення керуючої програми $I_{пк}$				Базовий варіант			Новий варіант		
$I_{пк} = K_{пк} / Z$	ТВ-16	$I_{пк} =$ 0	$K_{пк} / Z$ 0 1500	1K62	$I_{пк} =$ 0	$K_{пк} / Z$ 0 3	LEADWELL LTC-25iXXL	$I_{пк} =$ 600	$K_{пк} / Z$ 1800 3
	16K20	$I_{пк} =$ 0	$K_{пк} / Z$ 0 1500	ДИП-300	$I_{пк} =$ 0,00	$K_{пк} / Z$ 0 3	Всього $I_{пк2}$	600	
				Всього $I_{пк1}$	0,00				

Рисунок 6.7 – Розрахунок витрат на підготовку та поновлення керуючої програми

5. Витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань Ипр				Базовий варіант				Новий варіант			
Ипр = Кпр (1/ Z + 0,04) де 0,04 – коеф., що враховує витрати на ремонт спеціальних пристосувань				1K62	Ипр =	Кпр	· (1/ Z + 0,04)	LEADWELL LTC-25iXXL	Ипр =	Кпр	· (1/ Z + 0,04)
					13066,667	35000	0,333333		22773,33	61000	0,333
				ДИП-300	Ипр =	Кпр	· (1/ Z + 0,04)	Всього Ип2	22773,33333		
					15680	42000	0,333333				
				ТВ-16	Ипр =	Кпр	· (1/ Z + 0,04)				
					10826,667	29000	0,333333				
				16K20	Ипр =	Кпр	· (1/ Z + 0,04)				
					11573,333	31000	0,333333				
				Всього Ип1	51146,66667						

Рисунок 6.8 – Розрахунок витрат на ремонт та утримання спец. Пристосувань

6. Витрати на прокат універсально-збірних пристосувань при їх використанні $I_{усп}$				Базовий варіант			Новий варіант				
$I_{усп} = C_{усп} \cdot j_p$ де $C_{усп}$ – оптова ціна за прокат одного пристосування, грн				1K62	$I_{усп} =$	$C_{усп} \cdot j_p$	LEADWELL LTC-25iXXL	$I_{усп} =$	$C_{усп} \cdot j_p$		
					0	0	20		0	0	20
				ДИП-300	$I_{усп} =$	$C_{усп} \cdot j_p$	Всього $I_{усп2}$		0		
					0	0	20				
				ТВ-16	$I_{усп} =$	$C_{усп} \cdot j_p$					
					0	0	20				
				16K20	$I_{усп} =$	$C_{усп} \cdot j_p$					
					0	0	20				
				Всього $I_{усп1}$	0						

Рисунок 6.9 – Розрахунок витрат на прокат універсально-збірних пристосувань при їх використанні

7. Амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання II $I_a = K_6 \cdot A$ де A – норма амортизаційних відрахувань на повне відновлення верстата, що приймається: • для верстатів масою до 10 т, які оброблюють деталі металевими та абразивними інструментами, відповідно – 0.053 та 0.056; • для верстатів масою вище 10 т – <u>0.04 та 0.042 відповідно</u>	Базовий варіант				Новий варіант			
	1K62	$I_a =$	$K_6 \cdot A$		LEADWELL LTC-25iXXL	$I_a =$	$K_6 \cdot A$	
		2385,51	59638	0,04		13662,00	341550	0,04
	ДИП-300	$I_a =$	$K_6 \cdot A$		Всього I_{a2}	13662,00		
		2138,40	53460	0,04				
	ТВ-16	$I_a =$	$K_6 \cdot A$					
		0,00	10159	0				
	16K20	$I_a =$	$K_6 \cdot A$					
	625,04	15626	0,04					
	Всього I_{a1}	5148,95						

Рисунок 6.10 – Розрахунок амортизаційних відрахувань на повне відновлення обладнання

					КНУ.КБР.131.25.2-09.06.0ЕПВ					Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						61

8. Витрати на утримання приміщення, яке займає верстат $I_{\text{пл}}$

$$I_{\text{пл}} = H_{\text{пл}} \cdot (A + A_{\text{з}}) \cdot \gamma \cdot \beta$$

де $H_{\text{пл}}$ – вартість амортизації та утримання 1 м. кв. площі механічного цеху
 • для верстатів класів точності Н та П – 180 грн
 • для верстатів класів точності В та ОВ – 200 грн

Базовий варіант									Новий варіант										
1K62	$I_{\text{пл}} =$	$H_{\text{пл}}$	$\cdot$	$(A + A_{\text{з}})$	$\cdot$	γ	$\cdot$	β	LEADWELL LTC-25XXL	$I_{\text{пл}} =$	$H_{\text{пл}}$	$\cdot$	$(A + A_{\text{з}})$	$\cdot$	γ	$\cdot$	β		
	321,02	180		2,5		0		5			0,14	4068	200		13,4		0,25		3,5
ДИП-300	$I_{\text{пл}} =$	$H_{\text{пл}}$	$\cdot$	$(A + A_{\text{з}})$	$\cdot$	γ	$\cdot$	β	Всього $I_{\text{пл}2}$	4067,91									
	234,90	180		2,9		0		2,5											
6P13П	$I_{\text{пл}} =$	$H_{\text{пл}}$	$\cdot$	$(A + A_{\text{з}})$	$\cdot$	γ	$\cdot$	β											
	36,94	180		1,6		0		2,5											
2M55	$I_{\text{пл}} =$	$H_{\text{пл}}$	$\cdot$	$(A + A_{\text{з}})$	$\cdot$	γ	$\cdot$	β											
	46,49	180		2		0		1,5		0,09									
Всього $I_{\text{пл}1}$	639,35																		

Рисунок 6.11 - Розрахунок витрат на утримання приміщення, яке займає верстат

9. Витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень $I_{\text{сл}}$

$$I_{\text{сл}} = H_{\text{сл}} \cdot A_{\text{с}} \cdot (P_{\text{ст}} + P_{\text{н}} + P_{\text{под}} + P_{\text{к}})$$

Базовий варіант							
$K_{\text{сл}} =$	$C_{\text{пл.с}}$	$A_{\text{с}}$	$\cdot$	$(P_{\text{ст}} +$	$P_{\text{н}} +$	$P_{\text{под}} +$	$P_{\text{к}})$
68400	950	6		4	7	0	1
Всього $K_{\text{сл}1}$	68400						

Новий варіант							
$K_{\text{сл}} =$	$C_{\text{пл.с}}$	$A_{\text{с}}$	$\cdot$	$(P_{\text{ст}} +$	$P_{\text{н}} +$	$P_{\text{под}} +$	$P_{\text{к}})$
28500	950	6		1	2	1	1
Всього $K_{\text{сл}2}$	28500						

Рисунок 6.12 – Розрахунок витрат на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень

10. Витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання $I_{\text{р}}$

$$I_{\text{р}} = (H_{\text{р}} \cdot R_{\text{м}} + H_{\text{р}} \cdot R_{\text{е}}) \cdot \mu \cdot \beta$$

де $H_{\text{р}}$, $H_{\text{е}}$ – витрати на одинокі ремонтні складності відповідного механічної та електротехнічної частин, грн;
 $R_{\text{м}}$, $R_{\text{е}}$ – ремонтна складність відповідно механічної та електротехнічної часток, що приймається за паспортом верстата, а для депох верстатів ЧПК;
 μ – коефіцієнт, який враховує клас точності верстата, що приймається для класів точності Н, П, В, А, С – відповідно 1, 1,2; 1,5; 1,8; 2,2

Базовий варіант							Новий варіант							
1K62	$I_p =$	$(H_p \cdot R_m + H_p \cdot R_e)$	$\cdot$	μ	$\cdot$	β	LEADWELL LTC-25XXL	$I_p =$	$(H_p \cdot R_m + H_p \cdot R_e)$	$\cdot$	μ	$\cdot$	β	
	1221,2	410	18	88	13,4	1	0,14	6466,3	272	26,5	60	20,5	1,8	0,43
ДИП-300	$I_p =$	$(H_p \cdot R_m + H_p \cdot R_e)$	$\cdot$	μ	$\cdot$	β	Всього I_{p2}	6466,3						
	1510,1	410	17,5	88	13,8	1								0,18
6P13П	$I_p =$	$(H_p \cdot R_m + H_p \cdot R_e)$	$\cdot$	μ	$\cdot$	β								
	340,6	410	14	88	10,2	1								0,05
2M55	$I_p =$	$(H_p \cdot R_m + H_p \cdot R_e)$	$\cdot$	μ	$\cdot$	β								
	638,8	410	15,5	88	12,1	1								0,09
Всього I_{p1}	3710,6													

Рисунок 6.13 – Розрахунок витрат на ремонт та технічне обслуговування обладнання

11. Витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК $I_{\text{у}}$

$$I_{\text{у}} = Q \cdot \beta$$

де Q – річні витрати при експлуатації у дві зміни і повній загрузці верста з ЧПК, грн

Базовий варіант				Новий варіант					
1K62	$I_{\text{у}} =$	Q	$\cdot$	β	LEADWEL	$I_{\text{у}} =$	Q	$\cdot$	β
	0	0		0,14	L LTC-	830,2	1950		0,43
ДИП-300	$I_{\text{у}} =$	Q	$\cdot$	β	Всього $I_{\text{у}2}$	830,2			
	0	0		0,18					
6P13П	$I_{\text{у}} =$	Q	$\cdot$	β					
	0	0		0,05					
2M55	$I_{\text{у}} =$	Q	$\cdot$	β					
	0	0		0,09					
Всього $I_{\text{у}1}$	0,0								

Рисунок 6.14 – Розрахунок витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК

12. Зарплатня контролера $I_{\text{к}}$

$$I_{\text{к}} = H_{\text{к}} \cdot T_{\text{к}}$$

де $H_{\text{к}}$ – середньочасова заробітна платня контролера 5-го розряду, грн;

$T_{\text{к}}$ – час контролю деталей впродовж року, год.

Для базових верстатів:

$$T_{\text{к}1} = 0,083 \cdot T_{\text{шт}}$$

де 0,083 – середньостатистична частка

трудомісткості контрольних операцій

Для обробки на верстатах з ЧПК

$$T_{\text{к}1} = 0,2 \cdot T_{\text{шт}}$$

Базовий варіант				Новий варіант					
1K62	$I_k =$	H_k	$\cdot$	T_k	LEADWEL L LTC-	$I_k =$	H_k	$\cdot$	T_k
	3784,80	114		33,20		17181	138		124,5
ДИП-300	$I_k =$	H_k	$\cdot$	T_k	Всього I_{k2}	17181			
	3784,80	114		33,20					
6P13П	$I_k =$	H_k	$\cdot$	T_k					
	1419,30	114		12,45					
2M55	$I_k =$	H_k	$\cdot$	T_k					
	2365,50	114		20,75					
Всього I_{k1}	11354,40								

Рисунок 6.15 – Розрахунок зарплати контролера

1. Балансова вартість верстата K_6

$$K_6 = Ц \cdot \alpha \cdot \beta$$

де $Ц$ – оптова ціна верстата, грн
 α – коеф., що враховує витрати на доставку та встановлення верстата та приймається рівним 1,1;
 β – частка завантаження верстата

$$\beta = T_{шт} + T_k / (Фоб \cdot \eta_p)$$

Базовий варіант					Новий варіант				
1К62	$K_6 =$	$Ц$	α	β	LEADWELL LTC-25XXL	$K_6 =$	$Ц$	α	β
	59638	380000,00	1,1	0,14		341550	1725000,00	1,1	0,18
ДИП-300	$K_6 =$	$Ц$	α	β	Всього K62	341550			
	53460	270000,00	1,1	0,18					
ТВ-16	$K_6 =$	$Ц$	α	β					
	10159	180000	1,1	0,05					
16К20	$K_6 =$	$Ц$	α	β					
	15626	165000	1,1	0,09					
Всього K61	138883								

Рисунок 6.16 – Розрахунок балансової вартості верстата

2. Вартість приміщень, які займає верстат K_{31}

$$K_{31} = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$$

де $Ц_{пл.м}$ – вартість 1 м. кв. площі механічного цеху; A – площа, яку займає верстат по габаритах, м. кв.; A_y – площа, яку займають вносні, допоміжні пристрої, м. кв.; γ – коефіцієнт, який враховує додаткову площу

Базовий варіант							Новий варіант						
1K62	$K_6 = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$						LEADWELL LTC-25XXL	$K_6 = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$					
	856	480	2,5	0	5	0,14		4127,76	480	13,4	0,25	3,5	0,18
ДИП-300	$K_6 = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$						Всього Ккал	4127,76					
	626	480	2,9	0	2,5	0,18							
ТВ-16	$K_6 = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$												
	99	480	1,6	0	2,5	0,05							
16K20	$K_6 = Ц_{пл.м} (A + A_y) \cdot \gamma \cdot \beta$												
	124	480	2	0	1,5	0,09							
Всього Ккал	1705												

Рисунок 6.17 – Розрахунок вартості приміщень, які займає верстат

3. Вартість службово-побутових приміщень K_{32}

$$K_{32} = Ц_{пл.б} \cdot A_6 \cdot (P_{ст} + P_k + P_{доп} + P_k)$$

де $Ц_{пл.б}$ – вартість 1 м. кв. службово-побутових приміщень, грн; A_6 – площа службово-побутових приміщень, яка приходить на одного робочого; $P_{ст}, P_k, P_{доп}$ – кількість відповідно верстатників, наладчиків та додаткових робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК; P_k – кількість контролерів

Базовий варіант						
$K_{cl} =$	$C_{пл.б}$	$\cdot A_6$	$\cdot (P_{ст} +$	$P_k +$	$P_{доп} + P_k)$	
68400	950	6	4	7	0	1
Всього K_{cl1}	68400					
Новий варіант						
$K_{cl} =$	$C_{пл.б}$	$\cdot A_6$	$\cdot (P_{ст} +$	$P_k +$	$P_{доп} + P_k)$	
22800	950	6	1	2	0	1
Всього K_{cl2}	22800					

Розрахунок 6.18 – Розрахунок вартості службово-побутових приміщень

4. Обігові кошти в незакінченому виробництві $K_{вз}$

$$K_{вз} = 3 \cdot n'' \cdot (S_{заг} + C / N_{річ} \cdot 0,5) \cdot \beta$$

де 3 – число партій деталей, які приходяться всередньому на одне робоче місце; n'' – розмір налагодочної партії деталей (партії запуску), шт.

$$n'' = N_{річ} / j_p$$

 $S_{заг}$ – вартість заготовки, грн; C – собівартість механічної обробки річного випуску деталей, грн;

0,5 – коеф. наростання витрат

Базовий варіант					
$K_{вз} =$	3	n''	$(S_{заг} + C / N_{річ} \cdot 0,5) \cdot \beta$		
457637,81	75	4300	362693,72	1500	0,46
Всього K_{31}	457638				

Новий варіант					
$K_{вз} =$	3	n''	$(S_{заг} + C / N_{річ} \cdot 0,5) \cdot \beta$		
355734,37	75	4300	275347,21	1500	0,36
Всього K_{31}	355734				

Рисунок 6.19 – Розрахунок обігових коштів в незакінченому виробництві

					КНУ.КБР.131.25.2-09.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			63

Приведені витрати					Строк окупності				
Z_1	=	C_1	+	E_n	-	K_1	$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$		
483238		362694		0,15		803625	-0,19	787012,13	803625
Z_2	=	C_2	+	E_n	-	K_2		362693,72	275347,21
393399		275347		0,15		787012			
Річний економічний ефект									
E	=	Z_1	-	Z_2					
89838,503		483237,5		393399					

Рисунок 6.20 – Розрахунок економічного ефекта та річної окупності

6.2. Екологія виробництва та охорона праці

На виробничих дільницях підприємства можуть виникати численні екологічні ризики, серед яких – забруднення навколишнього середовища мастильно-охолоджувальними рідинами (МОР), що потрапляють у ґрунт або стічні води внаслідок несанкціонованих витоків чи неналежної утилізації. Для мінімізації цього впливу застосовуються сучасні методи обробки відходів: зокрема, стружку сортують, очищають та спрямовують на повторну переплавку, що дозволяє повернути вторинну сировину у виробничий цикл і знизити споживання первинних природних ресурсів. МОР, у свою чергу, можуть бути перероблені шляхом фільтрації, регенерації або очищення, що забезпечує повторне їх використання і зменшення шкідливих викидів.

Що стосується питань безпеки праці, працівники механічної обробки піддаються впливу фізичних чинників, таких як інтенсивний шум і вібрації, які за тривалого впливу можуть стати причиною професійних хвороб. Для запобігання негативним наслідкам впроваджуються як інженерно-технічні рішення (віброгасники, шумоізолюючі кожухи, регулярне технічне обслуговування обладнання), так і засоби індивідуального захисту (захисні навушники, антивібраційні рукавиці, спецвзуття тощо). Окрім того, на підприємстві повинні проводитися періодичні профілактичні медичні огляди, що дозволяють своєчасно виявити професійні захворювання та вжити необхідних заходів. Шум на виробництві здебільшого виникає внаслідок роботи металорізального обладнання, компресорів, вентиляційних систем та пневматичних приводів.

Додатково його створюють процеси різання, свердління, шліфування та ударні контакти металевих деталей. Підвищений рівень шуму часто спричиняється зношеністю обладнання або порушенням технологічних режимів. Для зменшення впливу шуму застосовують технічні засоби, такі як шумопоглинаючі кожухи, віброізоляція, а також індивідуальні засоби захисту.

					КНУ.КБР.131.25.2-09.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У межах дипломного проєкту було проведено всебічне техніко-технологічне обґрунтування процесу виготовлення деталі типу вал-шестерня, що входить до складу редуктора ГК-1300-35. В результаті виконання роботи досягнуто поставлену мету — розроблено ефективний маршрут обробки з використанням сучасних засобів автоматизованого проєктування та виготовлення.

У першому розділі подано загальну характеристику деталі, її призначення у складі виробу, матеріал виготовлення та технічні вимоги. Проведено аналіз конструкції та сформульовано основні задачі обробки.

У другому розділі здійснено розробку технологічного маршруту обробки. Визначено склад операцій, базування, допуски та припуски, а також обґрунтовано вибір заготовки з урахуванням нормативних допусків та стандартного сортаменту.

Третій розділ присвячено підбору обладнання, оснащення та інструментального комплексу. Обрано токарний верстат LEADWELL LTC-25iXXL із системою ЧПК Fanuc, а також підібрано ріжучий та допоміжний інструмент відповідно до вимог операційного маршруту. Складено таблиці операцій, конструктивні параметри інструментів і режими обробки.

У четвертому розділі було здійснено проєктування спеціального різального інструменту — черв'ячної фрези. Розраховано її основні конструктивні параметри та проведено інженерний аналіз у SolidWorks Simulation для перевірки напружень і деформацій під навантаженням.

П'ятий розділ присвячено розробці керуючої програми у САМ-системі FeatureCAM. Створено програму на два установи, виконано побудову траєкторій руху інструменту, визначено параметри постпроцесора, проведено симуляцію та перевірку G-кодів у CIMCO Edit. Також подано фрагменти керуючої програми та результати твердотільної верифікації.

У шостому розділі розглянуто питання охорони праці та екологічної безпеки. Визначено потенційно шкідливі фактори, такі як шум, вібрація, утворення стружки та мастильно-охолоджувальних рідин. Запропоновано засоби індивідуального захисту та технічні рішення для зменшення негативного впливу на працівників і довкілля.

У результаті проведеної роботи було досягнуто комплексне вирішення задачі з проєктування та організації обробки вал-шестерні із застосуванням сучасного обладнання, програмних засобів та методів оптимізації виробництва.

					КНУ.КБР.131.25.02-09.ВС						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Скупченко			ВИСНОВКИ			Лім.	Арк.	Акрушіє	
Перевір.		Рязанцев								1	1
Н. Контр.		Нечаєв						Каф. ТМ Гр. ПМ-22ск			
Затверд.		Рязанцев									

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нефьодов Н.А., Осипов К.А. Збірник задач і прикладів по різанню металів і ріжучому інструменту: Навчальний посібник - М.: Машинобудування, 1990. - 448с.
2. Довідник технолога-машинобудівника. /Під ред. Косилової А.Г. і
3. Каталог ріжучого інструменту SANDVIK CUTTING TOOLS 2019
4. Каталог допоміжного інструменту CHIA-MO 2008
5. Каталог допоміжного інструменту PILANA MCT
6. ДСТУ ГОСТ 2424-83:2019 Кола шліфувальні. Технічні умови
7. ДСТУ ГОСТ 26568:2009 Вібрація. Методи і засоби захисту. Класифікація
8. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва

					КНУ.КБР.131.25.02-09.СВД					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ					
Розроб.		Скупченко								
Перевір.		Рязанцев								
Н. Контр.		Нечасєв								
Затверд.		Рязанцев			Каф. ТМ Гр. ПМ-22ск					
					Літ.		Арк.		Акрушіє	
							1		1	

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: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал-шестерня» та обґрунтування параметрів різального
інструменту за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22ск

(підпис)

Єгор СКУПЧЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

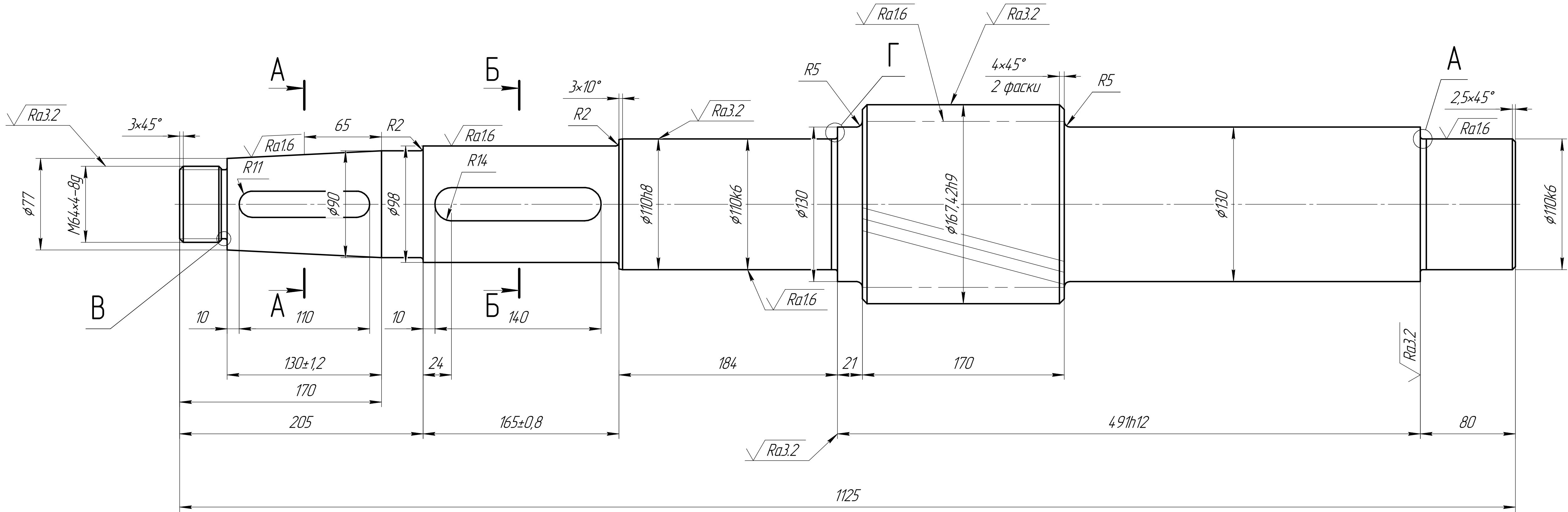
(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

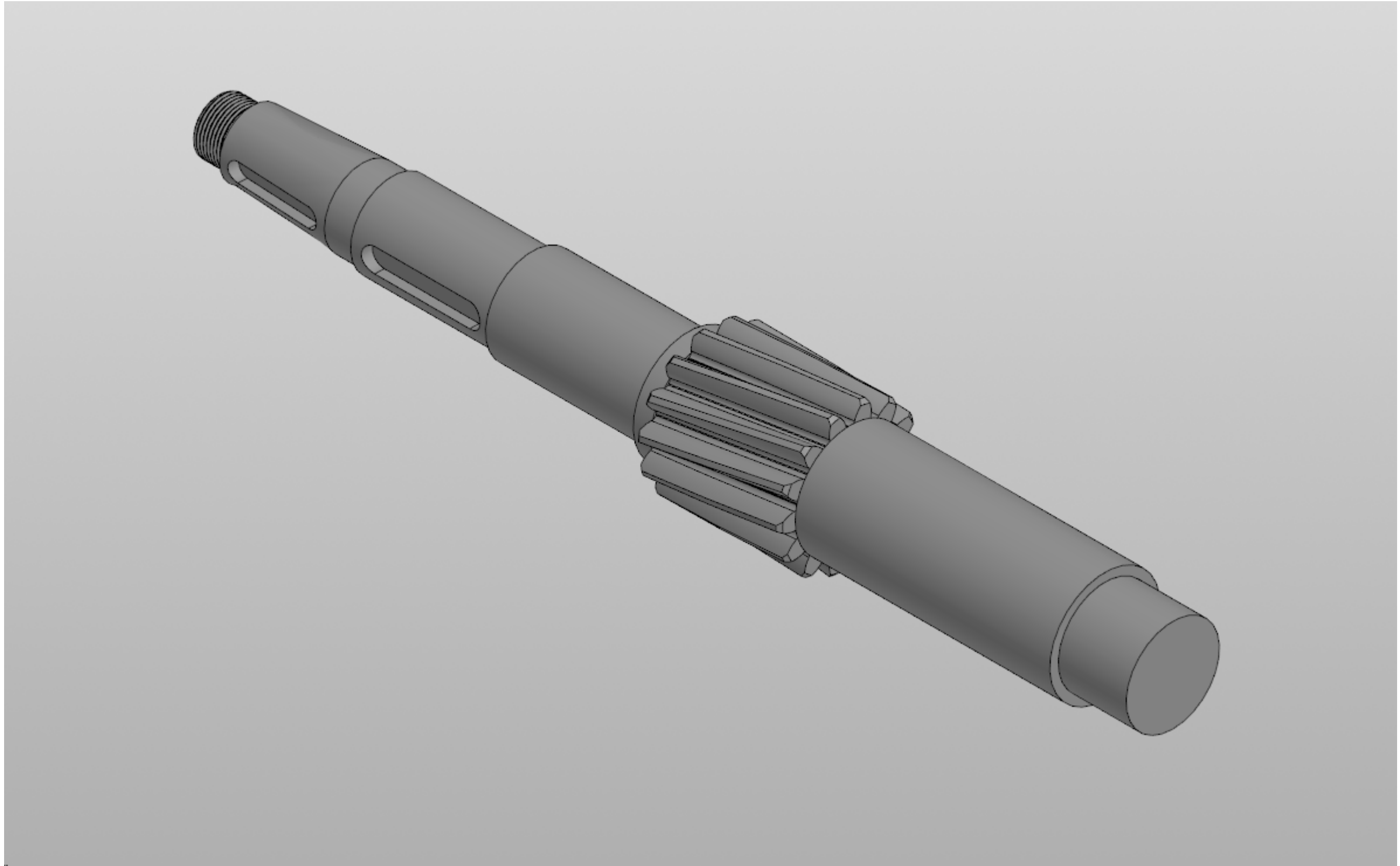
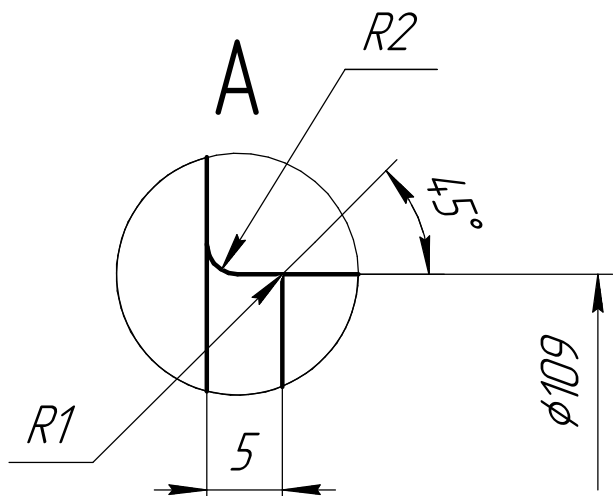
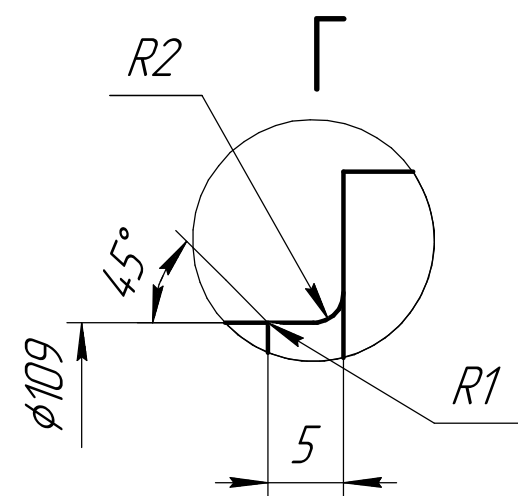
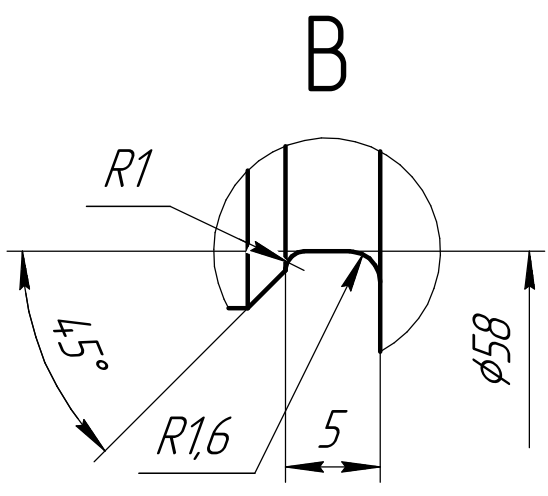
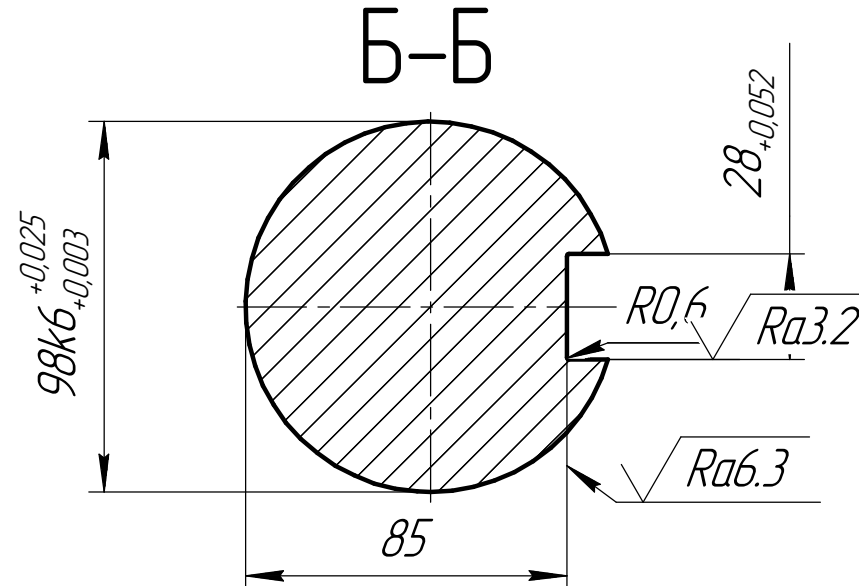
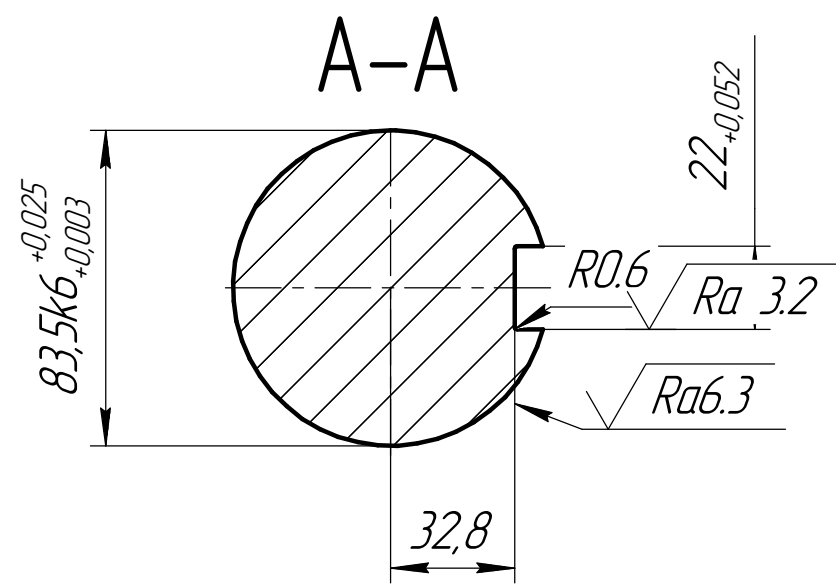
Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ



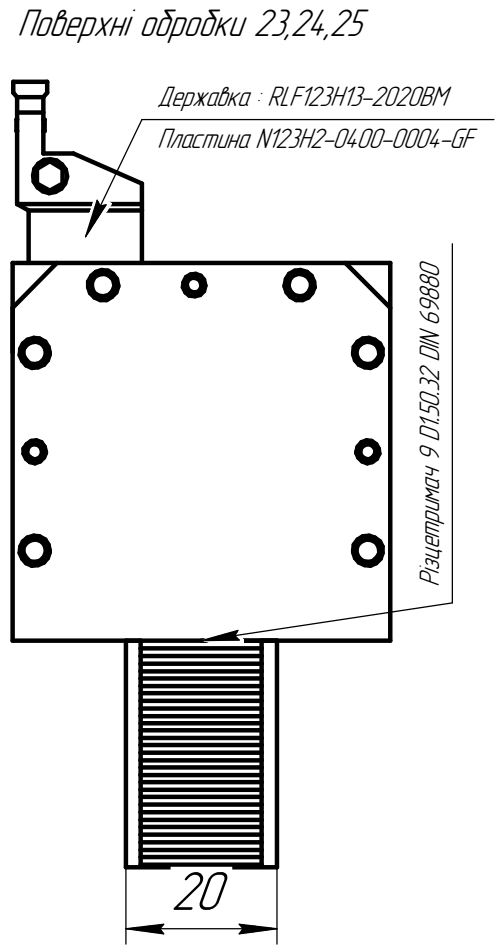
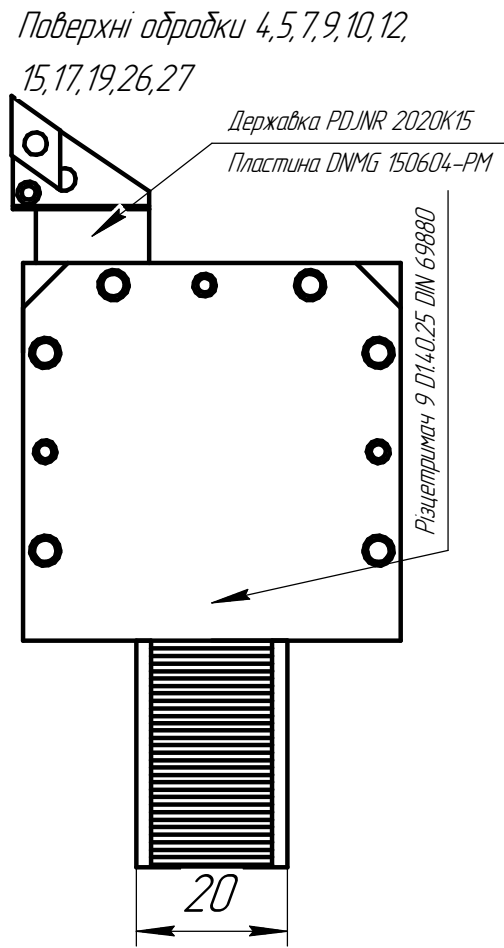
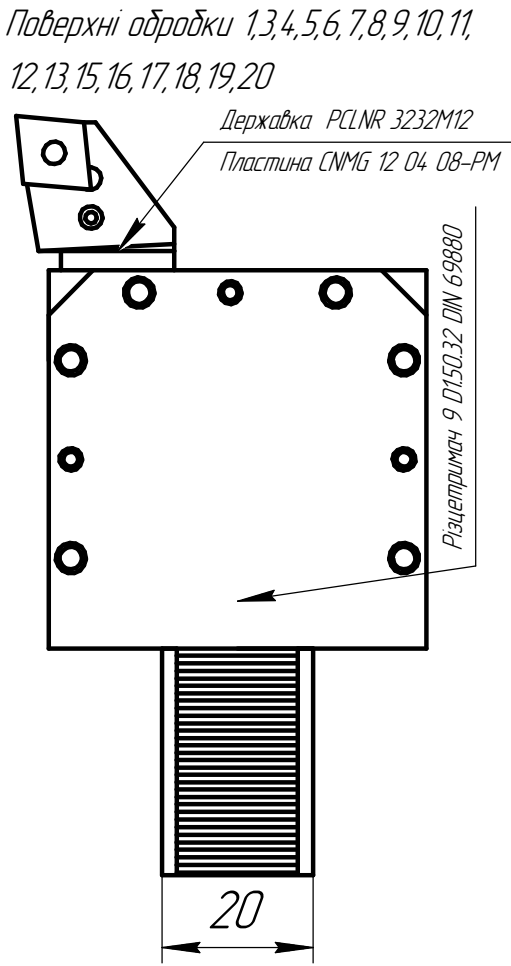
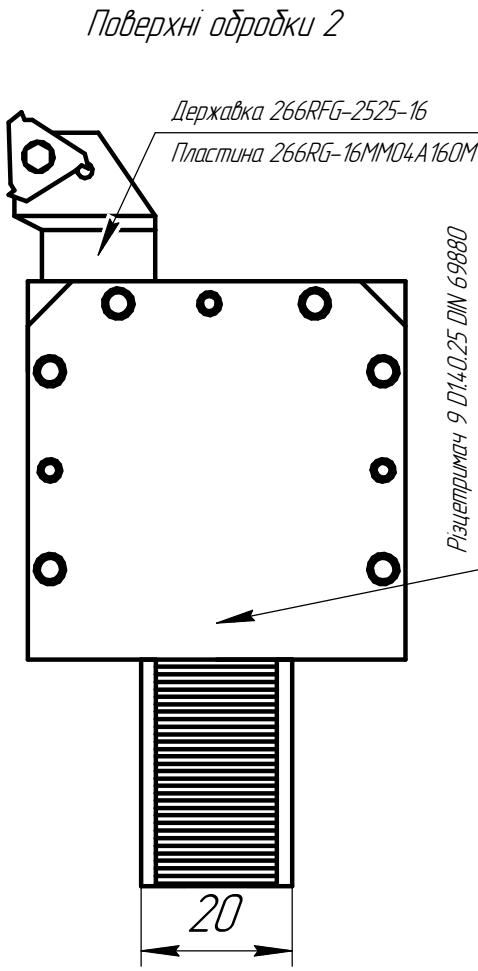
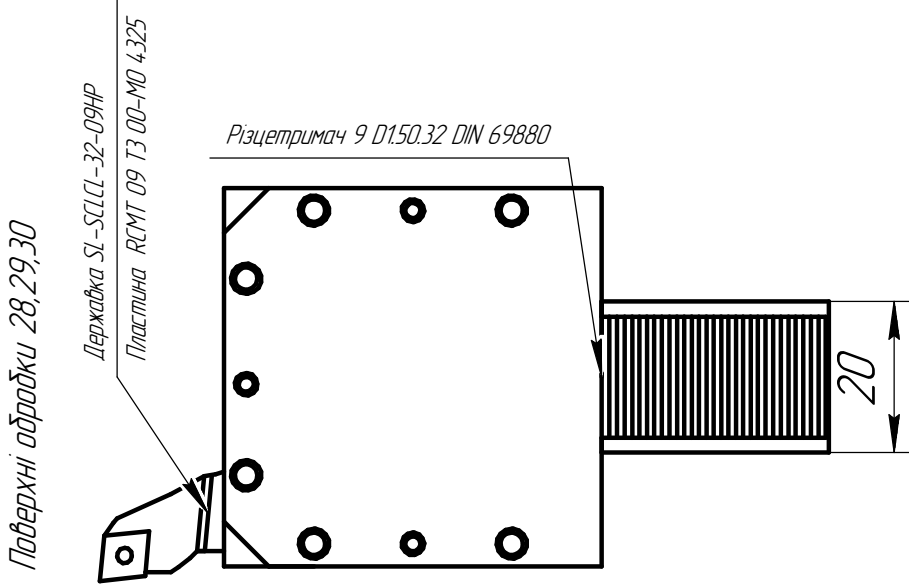
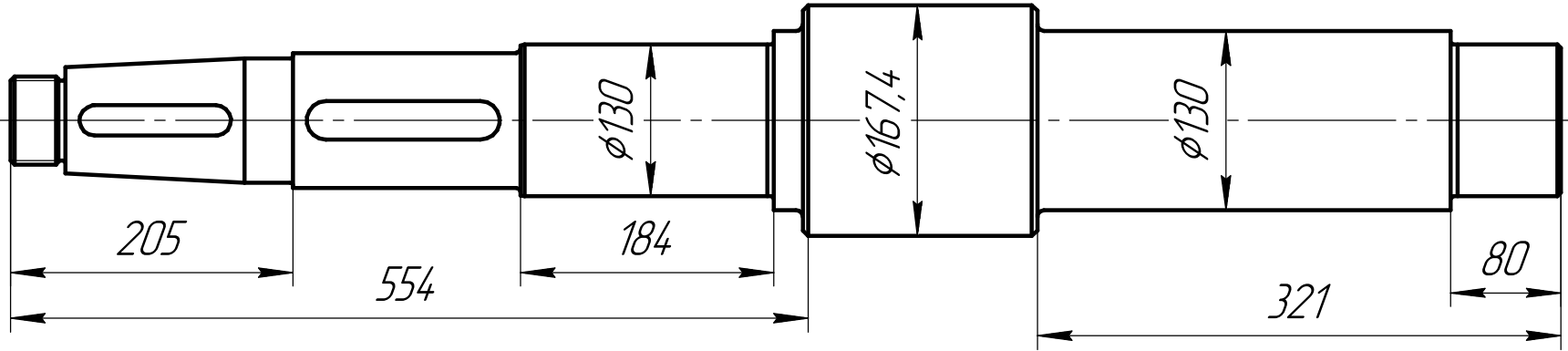
Модуль	m	10	
Число зубів	z	14	
Кут нахилу зубів	β	$8^{\circ}06'34''$	
Напрямок лінії зуба	–	ліве	
Початковий контур	–	ДСТУ 13755-2015	
Коефіцієнт зміщення	x	+0,42	
Ступінь точності за ДСТУ 1643-81	–	7-Г	
Довжина загальної нормалі	W	$78,694_{-0,19}^{+0,07}$	
Допуск на колибання довжини загальної нормалі	$F_{W\alpha}$	0,04	
Допуск на колибання вимірального міжосьової відстані	За одорат колеса	F_i''	0,09
	На одному зубі	f_i''	0,032
Контролювати за відсутності відкопки з виміральною шестернею	Допуск на радіальне диття зубчастого вінця	F_r	0,063
	Допуск на похибка профілю зуба	f_f	0,019
	Відхилення основного кроку	f_{α}	$\pm 0,022$
	Дільний діаметр	d	141,414
Допуск на похибку напрямку зуба	F_{β}	0,025	
Допуск на торцеве диття вазової поверхні	F_T	0,009	
Позначення креслення сполученого зубчастого колеса			



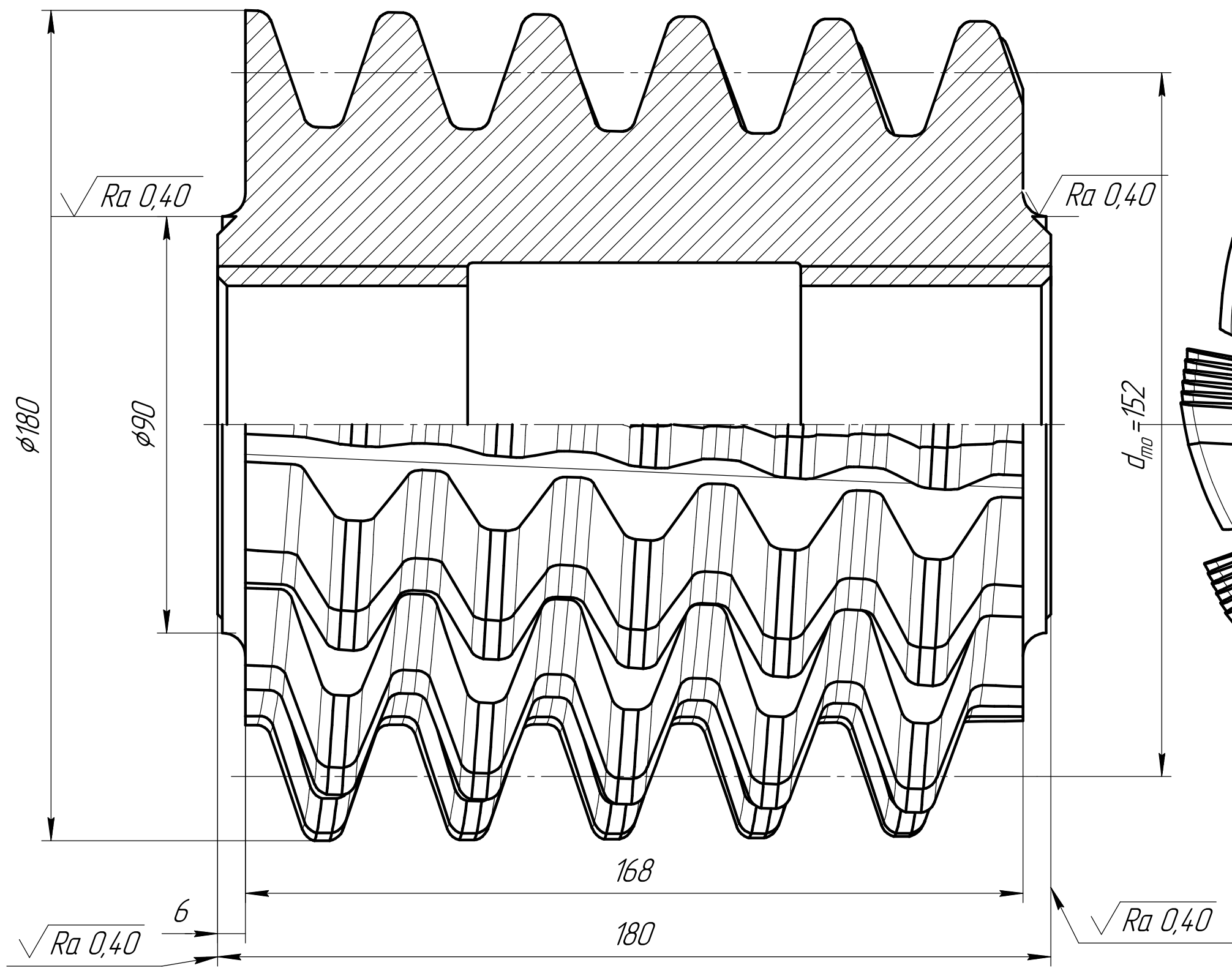
1 Неказані граничні відхилення: H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$.

					КНУ.КБР.131.25.02-09.ВШ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вал-шестерня	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Скученко					100,15	1:2
Проб.		Рязанцев						
Т.контр.						Лист	Листов	1
И.контр.		Нечасов			Сталь 20ХНЗА ГОСТУ7806-2015	Каф. ТМ		
Утв.		Рязанцев				г.р. ПМ-22ск		

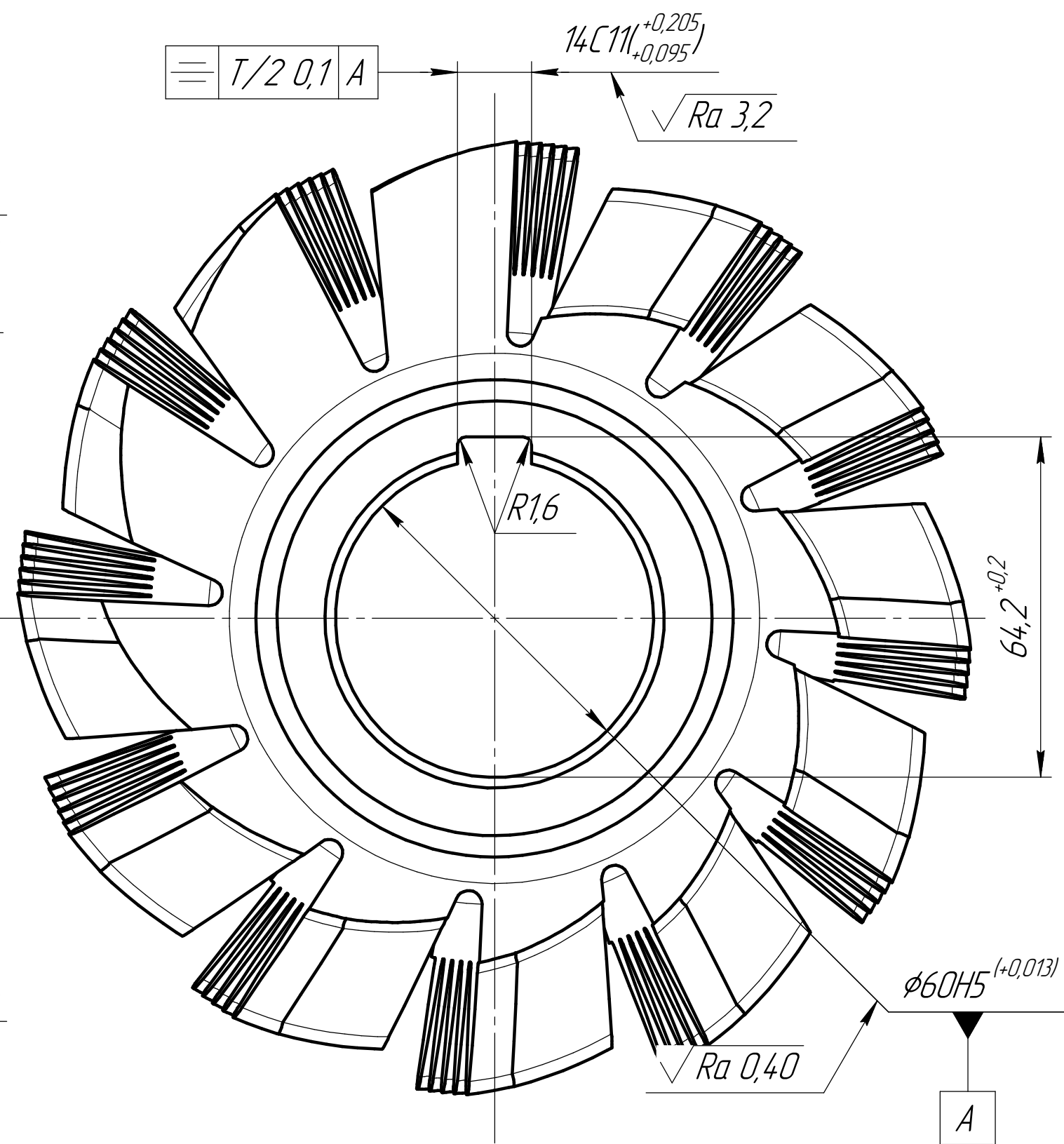
Инструмент	Пластина (геометрия)	Допоміжний інструмент
Різьбовий різець 266RFG-2525-16	266RG-16MM04A160M 	Різцетримач 9 D140.25 DIN 69880
Прохідний різець PCLNR 3232M12	CNMG 12 04 08-PM 	Різцетримач 9 D150.32 DIN 69880
Прохідний різець PDJNR 2020K15	DNMG 150604-PM 	Різцетримач 9 D140.25 DIN 69880
Канавочний різець RLF123H13-2020BM	N123H2-0400-0004-GF 	Різцетримач 9 D150.32 DIN 69880
Різець для точіння галтелі SL-SCLCL-32-09HP	RCMT09T3 00-M0 4325 	Різцетримач 9 D150.32 DIN 69880



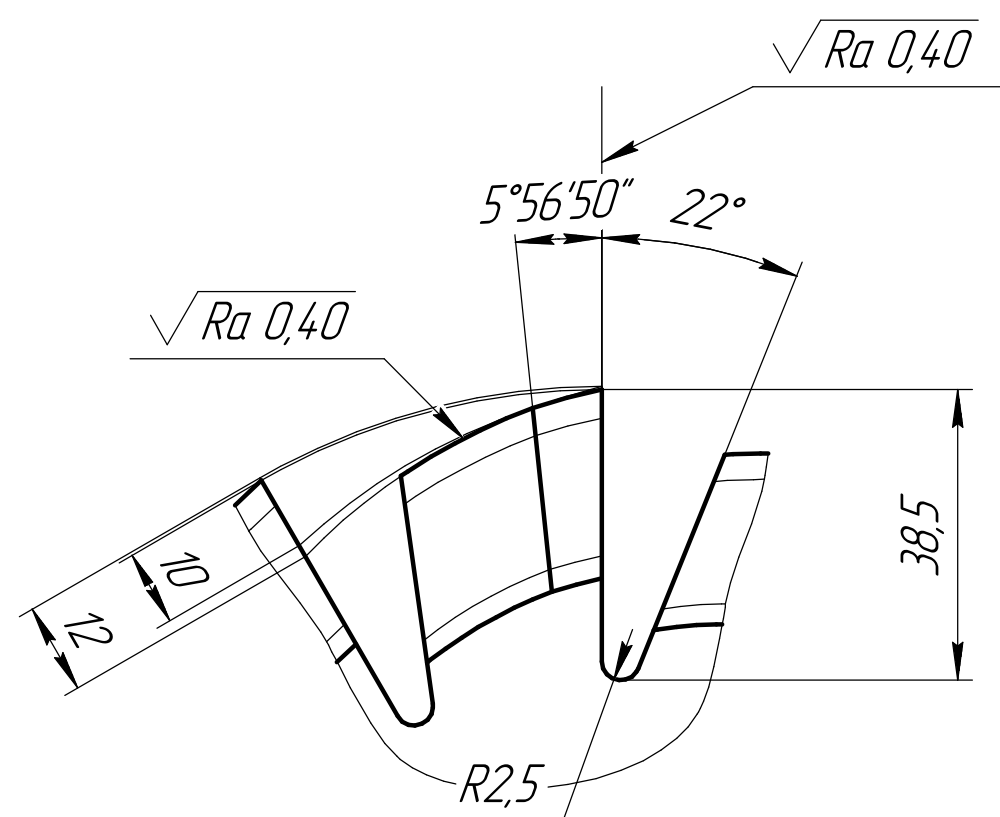
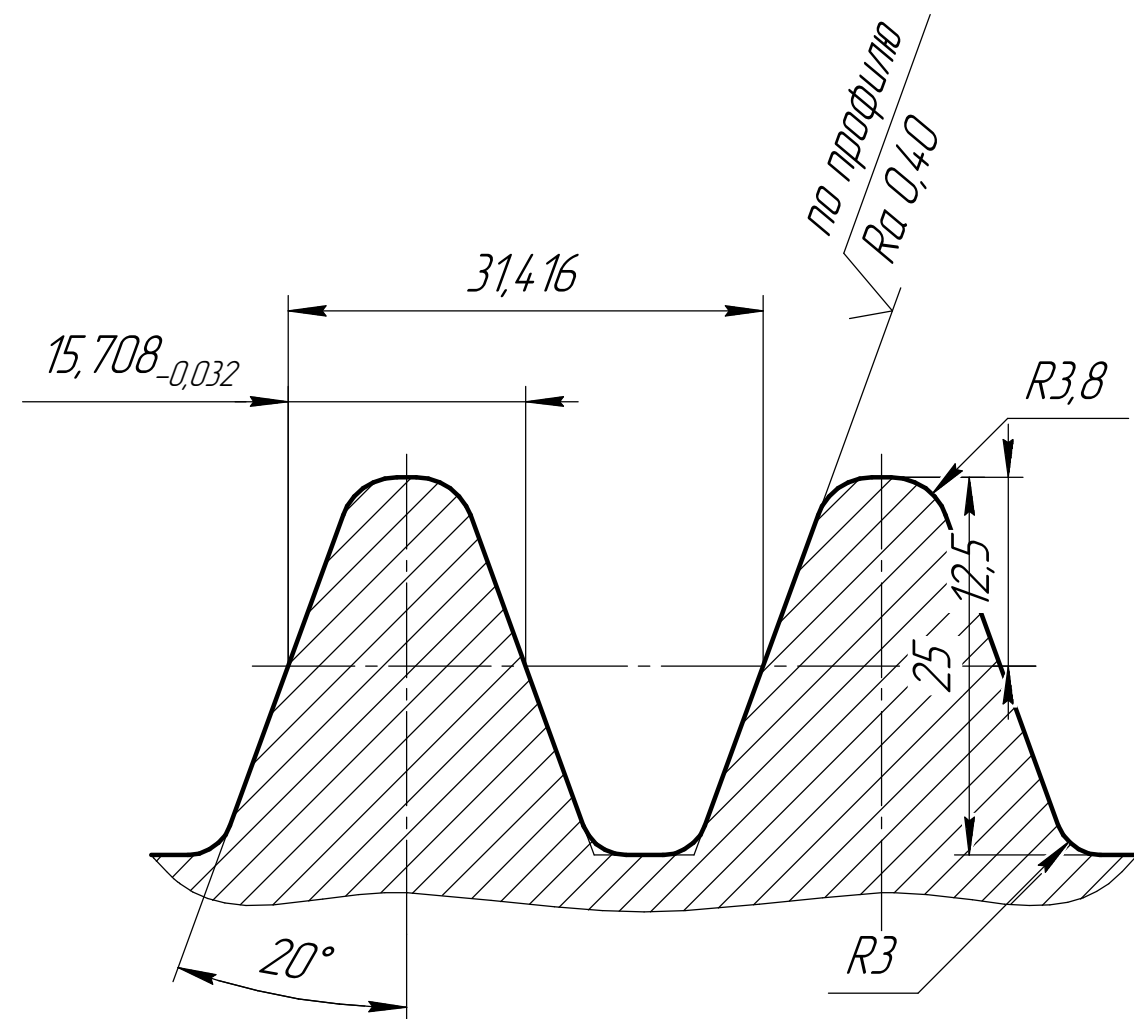
КНУ.КБР.131.25.02-09.ІН					Інструментальне налагодження		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Скупченко						1:2
Пров.	Рязанцев				Лист	Листов	1
Т.контр.					Каф. ТМ гр. ПМ-22ск		
Н.контр.	Нечаев				Формат А3		
Утв.	Рязанцев				Копировал		



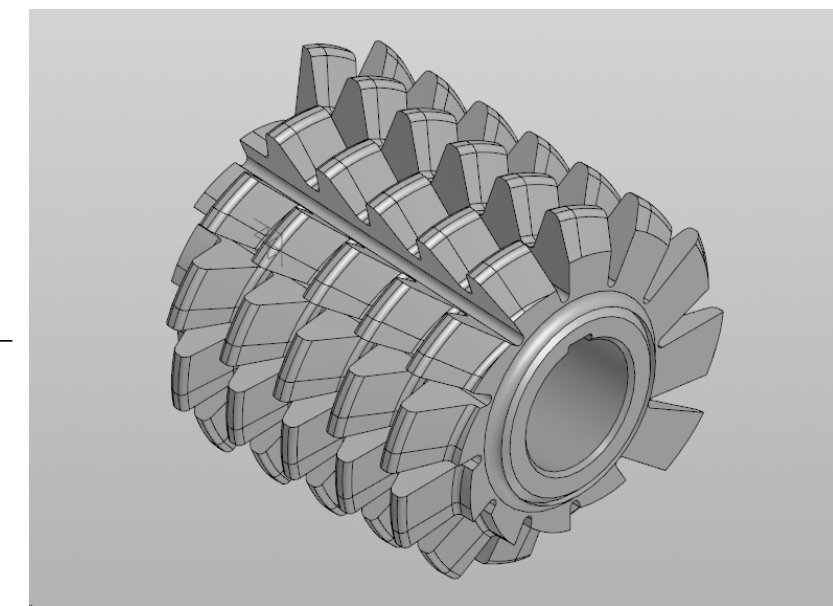
Профіль по нормалі (2:1)



Зуб фрези

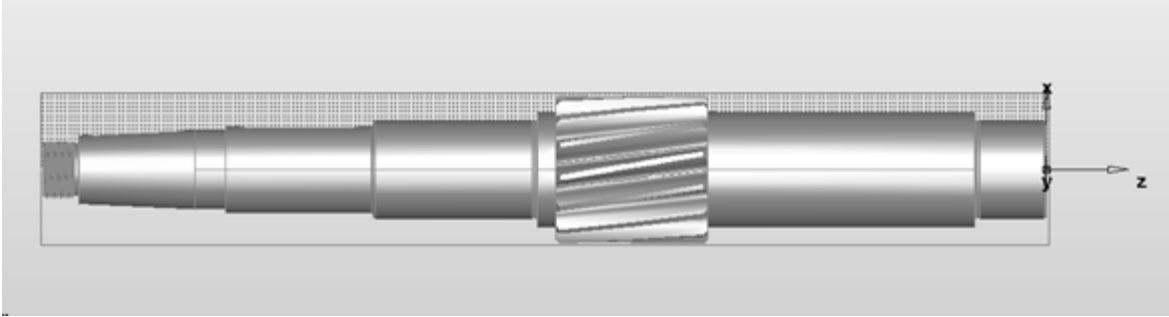
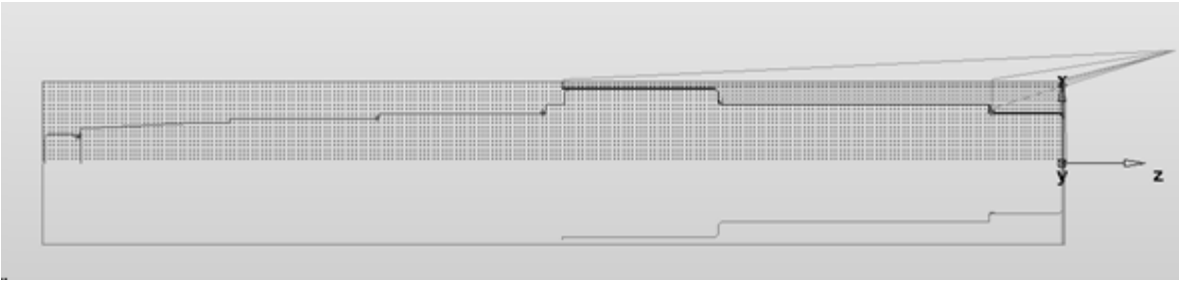
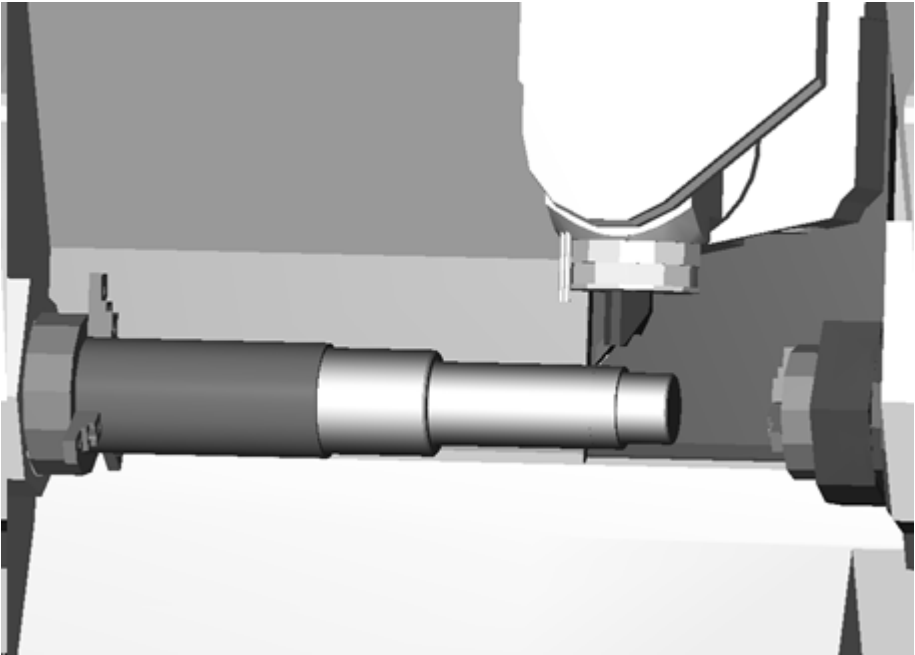


Фреза 2510-4055 АА ДСТУ 9324-80		
Модуль	m	10
Число стружкових канавок	z _о	12
Число заходів	n	1
Напрямок витків фрези		ліве
Кут підйому витка фрези на середньому розрахунковому діаметрі	γ _{мо}	3°46'
Напрямок стружкових канавок		праве
Кут нахилу лінії канавки на середньому розрахунковому діаметрі	λ _{мо}	3°46'
Хід гвинтових стружкових канавок	p _{гв}	724,3
Початковий контур зубчастих коліс		ДСТУ 13755-2015
Клас точності за ДСТУ 9324-80		АА
Радіальне диття дуртиків	f _γ	0,005
Торцеве диття дуртиків	f _т	0,005
Радіальне диття по вершинах зубів	f _{гдв}	0,025
Профіль передньої поверхні	f _γ	0,025
Різниця сусідніх окружних кроків стружкових канавок	f _{во}	0,025

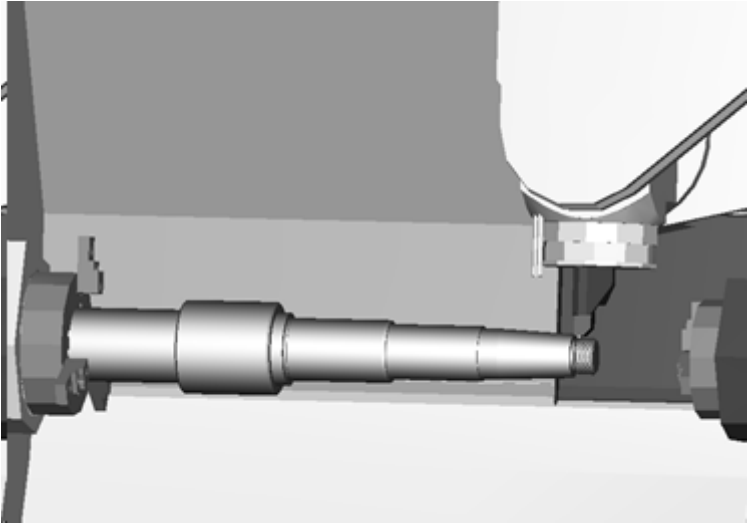


1 Невказані граничні відхилення Н14, h14, $\frac{IT14}{2}$.
2 Забезпечити твердість 63...66 HRC

КНУ.КБР.131.02-09.ФЧ				Фреза черв'ячна		
Изм. / лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лист	Масса	Масштаб
Разраб. Скупченко	Рязанцев			15,76	1:1	
Проб. Т.контр.				Лист	Листов	1
Н.контр. Утв.	Нечасев Рязанцев			Сталь Р6М5 ДСТУ 7304:2013		
				Каф. ТМ гр. ПМ-22ск		
				Копирова		
				Формат А2		

Перв. примен.		КНУ.КБР.131.25.02-09.МПМО	
Справ. №		Вал-шестерня в FeatureCAM	
			
		Траектория ruchu в FeatureCAM	
			
Подп. и дата		Обработка на 1 установі	
Взам. инв. №			
Подп. и дата			
Инв. № подл.			

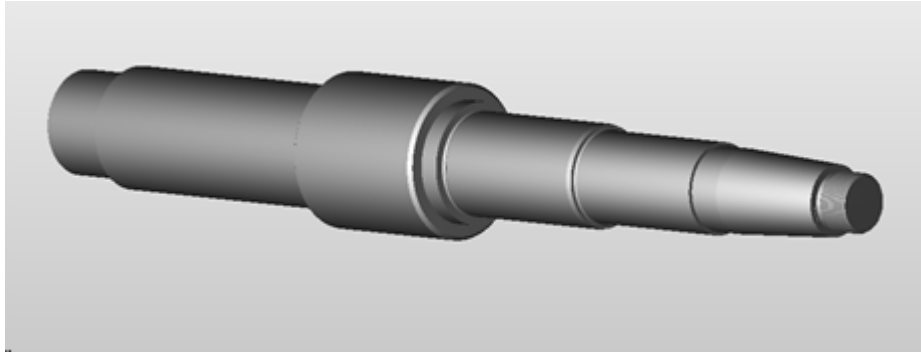
Обработка на 2 установі



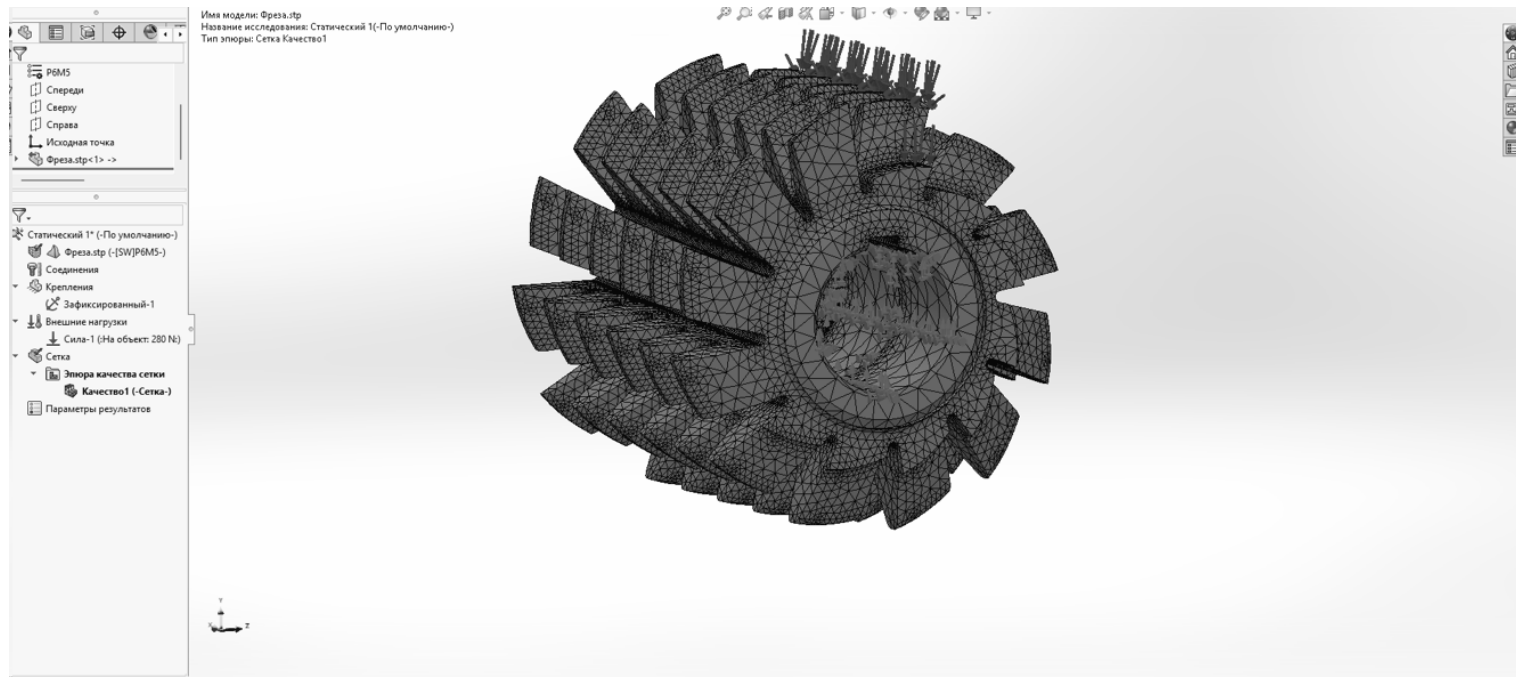
Код управляючої програми

```
O0001 (Val-shesternya)
N20 G21 G40
N30 G28 U0
N40 G28 W0
(ROUGH FACE)
N60 T101
N70 G50 S3000
N80 G96 S170 M4
N90 G0 X186.0 Z0. M8
N100 G1 X0. F0.381
N110 Z2.5
N120 X0.707 Z2.854
N130 G0 Z5.5
(ROUGH TURN)
N150 G0 X180.0 Z3.0
N160 G50 S3000
N170 G96 S170
N180 G0 X180.0 Z3.0 M8
N190 X186.0
N200 G71 U5.0 R0.5
N210 G71 P220 Q330 U1.0 W0.5 F0.381
N220 G1 X105.0 F0.152
N230 Z0.
N240 X111.0 Z-3.0
N250 Z-78.0
N260 G2 X115.0 Z-80.0 R2.0 F0.381
N270 G1 X130.0
N280 Z-375.0
N290 G2 X140.0 Z-380.0 R5.0
N300 G1 X157.231
N310 X165.231 Z-384.0
N320 Z-553.0
N330 X170.0
N340 G0 X186.0
N350 G28 U0
```

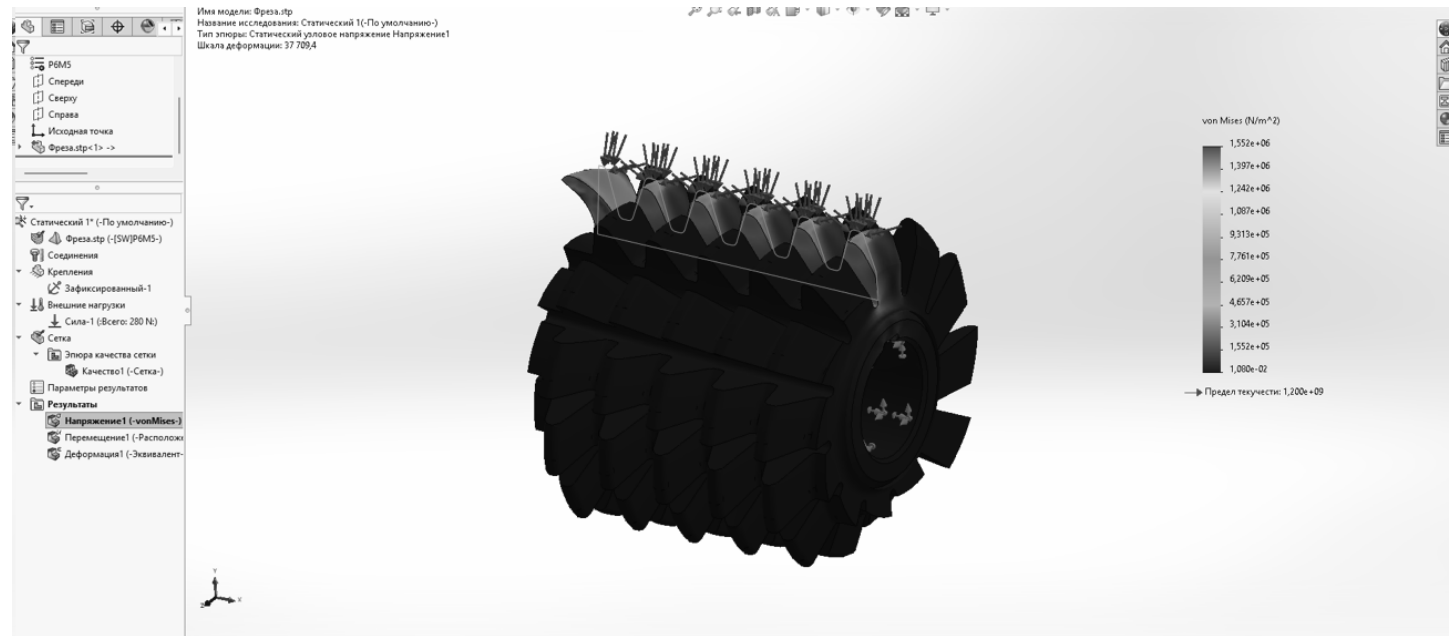
Кінцевий результат обробки в FeatureCAM



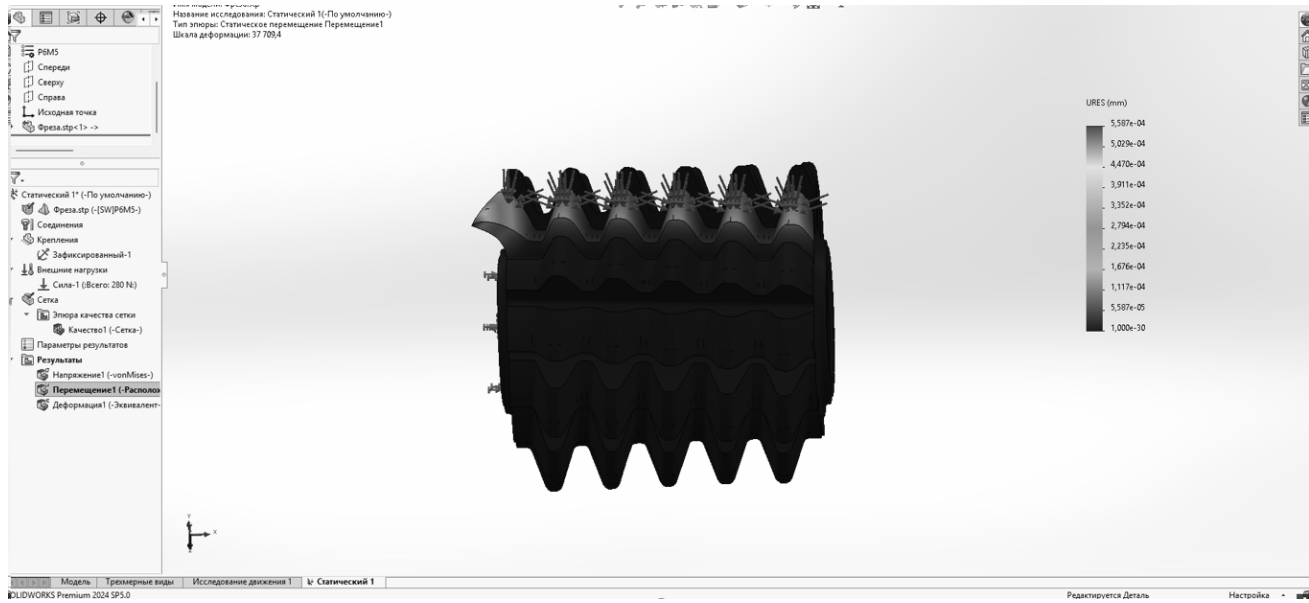
					КНУ.КБР.131.25.02-09.МПМО					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Моделювання процесу механічної обробки			Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Скупченко									1:1
Пров.	Рязацнев									
Т.контр.								Лист	Листов	1
Н.контр.	Нечаєв							Каф. ТМ		
Утв.	Рязанцев							гр. ПМ-22ск		



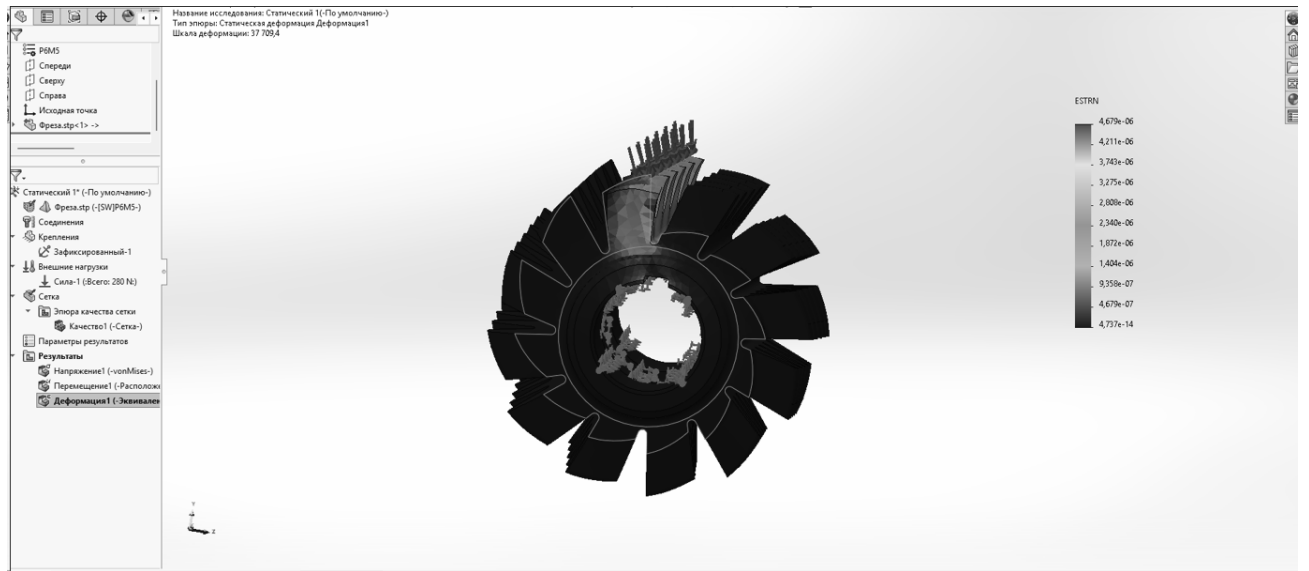
Дослідження "Напруження" в Simulation



Дослідження "Переміщення" в Simulation



Дослідження "Деформація" в Simulation



					КНУ.КБР.131.25.02-09.ІАСРІ				
					ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ СПЕЦІАЛЬНОГО РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	Лист.	Маса	Масштаб	
Ізм./Лист	№ докум.	Підп.	Дата					1:1	
Розроб.	Скупченко								
Пров.	Рязанцев								
Т.контр.						Лист	Листов 1		
Н.контр.	Нечаєв					Каф. ТМ			
Утв.	Рязанцев					гр. ПМ-22ск			

Копировал

Формат А3