

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 з використанням САПР технологій

Виконав: здобувач групи ПМ-21
Корж І.А.

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 з використанням САПР технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-21

(підпис)

Ігор КОРЖ

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-21 Коржа Ігора Андрійовича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал-шестерня» та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР технологій

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 різучих 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-шестерня. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Черв'ячна фреза. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2025
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2025
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2025
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2025
5.	Креслення деталі (А1-А4).	17.03.2025
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	23.03.2025
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	04.04.2025
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	11.04.2025
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	18.04.2025
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	24.04.2025
11.	Креслення спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	29.04.2025
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	02.05.2025
13.	Вибір допоміжних інструментів.	06.05.2025
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	10.05.2025
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	13.05.2025
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	20.05.2025
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	24.05.2025
18.	Висновки	01.06.2025
19.	Оформлення РПЗ	05.06.2025
20.	Попередній захист	15.06.2025

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2025 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/ Корж І.А./

Перв. примен.	Справ. №	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документація		
		A4		1	КНУ.КБР.131.25.1-11.ПЗ	Пояснювальна записка	50	
						Креслення		
		A3		2	КНУ.КБР.131.25.1-11.ВШ	Вал-шестерня	1	
		A2		3	КНУ.КБР.131.25.1-11.ФЧ	Фреза черв'ячна	1	
		A3		4	КНУ.КБР.131.25.1-11.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1	
		A3		5	КНУ.КБР.131.25.1-11.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1	
		A3		6	КНУ.КБР.131.25.1-11.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1	
Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	КНУ.КБР.131.25.1-11.ВМКБР				
				Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Инв. № подл.	Разраб.	Корж			Відомість матеріалів КБР	Лит.	Лист	Листов
	Пров.	Рязанцев				Н		1
	Н.контр.	Нечаєв				Каф. ТМ		
	Утв.	Рязанцев				гр. ПМ-21		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 50 стор., 28 рисунків, 17 таблиць, 5 листів графічної частини.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є розробка конструкторсько-технологічної підготовки виготовлення деталі вал-шестерня з обґрунтуванням параметрів різального інструменту на основі сучасних САПР-технологій.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення деталі типу вал-шестерня в умовах сучасного машинобудівного виробництва.

Предметом дослідження є методи та засоби конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, параметри різального інструменту, а також інструментарій САПР, що застосовується для розробки технологічної документації та моделювання технологічних процесів.

Дослідження спрямоване на розробку комплексу технічних рішень, що забезпечують ефективну підготовку виробництва та обробку деталі типу вал-шестерня на сучасному машинобудівному підприємстві. Особливу увагу приділено обґрунтуванню параметрів різального інструменту з урахуванням технологічних вимог, а також використанню систем автоматизованого проєктування (САПР) для підвищення точності, продуктивності й надійності конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

У сучасних умовах розвитку машинобудування зростають вимоги до якості, точності та економічності виготовлення деталей, зокрема таких складних елементів, як вал-шестерня. Ця деталь широко використовується в приводних механізмах, редукторах, коробках передач та інших відповідальних вузлах технічних систем. Підвищення ефективності виготовлення таких деталей є ключовим чинником конкурентоспроможності продукції підприємства.

Застосування САПР-технологій дозволяє автоматизувати процеси проєктування, технологічної підготовки та моделювання, що дає змогу скоротити час розробки технологічної документації, зменшити ймовірність помилок та оптимізувати параметри різального інструменту. Це забезпечує раціональне використання ресурсів, підвищення якості продукції та адаптивність виробництва до змін у номенклатурі деталей.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, РЕДУКТОРУ РМ-250, ЧЕРВ'ЯЧНА ФРЕЗА, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.Р</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Корж</i>			<i>Реферат</i>		
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцшів</i>
					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>		

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 50 pages, 28 figures, 17 tables, 5 sheets of the graphic part.

The objective of the bachelor's qualification project is to develop the design and technological preparation for manufacturing a shaft-gear component, with justification of cutting tool parameters based on modern CAD technologies. The object of the study is the process of manufacturing a shaft-gear type component under the conditions of contemporary mechanical engineering production. The subject of the research involves the methods and tools for design and technological production preparation, cutting tool parameters, as well as CAD tools used for the development of technological documentation and simulation of technological processes.

The research is aimed at developing a set of technical solutions that ensure effective production preparation and machining of shaft-gear components at a modern engineering enterprise. Particular attention is given to the justification of cutting tool parameters in accordance with technological requirements, as well as the application of computer-aided design (CAD) systems to improve the accuracy, productivity, and reliability of design and technological preparation processes.

In the current context of engineering development, there is an increasing demand for quality, precision, and cost-effectiveness in component manufacturing, especially for complex elements such as shaft-gears. This component is widely used in drive mechanisms, gearboxes, transmission units, and other critical assemblies of technical systems. Improving the efficiency of manufacturing such parts is a key factor in enhancing the competitiveness of a company's products.

The use of CAD technologies allows for the automation of design, production preparation, and modelling processes. This enables reduced development time for technological documentation, minimised risk of errors, and optimised cutting tool parameters. As a result, it ensures rational resource utilisation, improved product quality, and production adaptability to changes in the product range.

SHAFT-GEAR, PM-250 GEARBOX, WORM CUTTER, ENGINEERING ANALYSIS, HIGH-PERFORMANCE EQUIPMENT.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.Р	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

Вступ	8
1 Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі	9
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	9
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини	10
1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання	12
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	14
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміन	14
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	15
2.3 Технічний контроль робочого креслення	16
2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання	17
3 Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами	20
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	20
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	20
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	24
3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	25
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	27
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	27
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	32
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	37
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	37
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	38
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	42
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	42
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при токарних операціях	47
Висновки	49
Список використаних джерел	50

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.3</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Карж</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>			<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>		

ВСТУП

Основним направленням економічного та соціального розвитку в інструментальній галузі передбачається підвищення ефективності виробництва. Безперервно починає збільшуватися випуск продукції машинобудування та металообробки. Розвиток цієї галузі відбувається за рахунок підвищення продуктивності праці при використанні високопродуктивного металообробляючого обладнання та інструменту. Для прискореного розвитку інструментального виробництва намічено: збільшити виготовлення інструменту, в тому числі абразивного, забезпечивши при цьому більш повне задоволення потреб його в машинобудуванні, металообробки та інших галузях. Комплексна механізація та автоматизація виробничих процесів залежить від удосконалення та створення нових видів ріжучого матеріалу та правильного його використання. Застосування матеріалів в промисловості, які важко оброблюються, та постійний зріст продуктивності праці, особливо в процесах обробки металів різанням, вимагають створення нових методів обробки та нових метало ріжучих інструментів із більш ефективних інструментальних матеріалів. Стійкість ріжучих інструментів для обробки металів визначає продуктивність роботи підприємства. Тому при використанні найбільш прогресивних інструментальних матеріалів, забезпечуються максимально можлива стійкість інструментів та правильний їх вибір з урахуванням виду та умов обробки.

Продуктивність інструменту в значній степені залежить від його здатності зберігати певний час ріжучі властивості. Ріжучі властивості погіршуються не тільки під дією високої температури, яка підвищується в процесі різання та призводить до зниження твердості, а також і до адгезії, дифузії, абразивно-механічного зношення ріжучої кромки та поверхні інструменту.

Використання в якості ріжучих елементів різних ріжучих матеріалів (твердих сплавів, ріжучої кераміки, синтетичних надтвердих матеріалів гарантує незмінність, точність та оптимальність геометричних параметрів інструментів). Вплив на всі сторони механообробки - точність, продуктивність, затрати на виробництво, умови праці, досягається при використанні нових інструментів матеріалів, а саме синтетичних більш твердих матеріалів на основі кисню та нітриду бора.

Застосування одно - та багат шарових зносостійких покриттів, які наносяться на тверді сплави та швидкоріжучі інструментальні сталі більш ефективні та відносяться до нових інструментальних матеріалів.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.В</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Арх.шіт</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Карж</i>						
<i>Перевір.</i>		<i>Рязанцев</i>						
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>						
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>		

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Початковими матеріалами для виконання кваліфікаційної роботи бакалавра слугували креслення деталі «Вал-шестерня» та річна програма випуску, що становить 2500 шт. На рисунку 1.1 представлено тривимірну модель цієї деталі.



Рисунок 1.1 – 3D модель деталі «Вал-шестерня»

У межах дослідження було сформульовано технічне завдання на розробку раціонального технологічного процесу обробки вал-шестерні редуктору РМ-250 і здійснено вибір ефективного ріжучого інструменту.

В роботі необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз конструкції та функціонального призначення деталі вал-шестерня;
- обґрунтувати технологічність конструкції та визначити вимоги до виготовлення;
- розробити технологічний маршрут обробки деталі;
- обрати та обґрунтувати параметри різального інструменту, виходячи з умов обробки;
- застосувати САПР для створення технологічної документації та моделювання процесів;
- здійснити техніко-економічну оцінку обраного технологічного рішення.

Об'єктом дослідження є процес виготовлення деталі типу вал-шестерня в умовах сучасного машинобудівного виробництва.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.01.АСПМ</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Карж</i>						
<i>Перевір.</i>	<i>Рязанцев</i>						
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>				<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>		

1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання

Вал-шестерня має елементи конструкції у вигляді поверхні з метричною різьбою: M16×1,5-6g. Проведемо розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання.

Вихідні данні:

16 – номінальний діаметр різьби, мм;

1,5 – крок різьби P, мм;

6g – поле допуску для середнього діаметру;

6g – поле допуску для зовнішнього діаметру.

1.3.1 Визначаємо номінальні значення діаметрів різьби

Зовнішній – $d = 16$ мм.

Середній – $d_2 = d - 1 + 0,026 = 16 - 1 + 0,026 = 15,026$ мм.

Внутрішній – не нормується.

1.3.2 Визначення граничних відхилень діаметрів

Граничні відхилення визначаються залежно від кроку різьби, номінального діаметра та вибраного поля допуску:

Для d_2 – поле допуску 6g;

для d – поле допуску 6g.

Ø15,026 – 6g; $es_2 = -32$ мкм;

$ei_2 = -172$ мкм.

Ø16 – 6g; $es = -32$ мкм;

$ei = -268$ мкм.

1.3.3 Визначаємо граничні розміри та величини допусків

$d_{2\max} = d_2 + es_2 = 15,026 + (-0,032) = 14,994$;

$d_{2\min} = d_2 + ei_2 = 15,026 + (-0,172) = 14,854$;

$d_{\max} = d + es = 16 + (-0,032) = 15,968$;

$d_{\min} = d + ei = 16 + (-0,268) = 15,732$.

$Td_2 = d_{2\max} - d_{2\min} = 14,994 - 14,854 = 0,140$;

$Td_2 = es_2 - ei_2 = -32 - (-172) = 140$ мкм;

$Td = d_{\max} - d_{\min} = 15,968 - 15,732 = 0,236$;

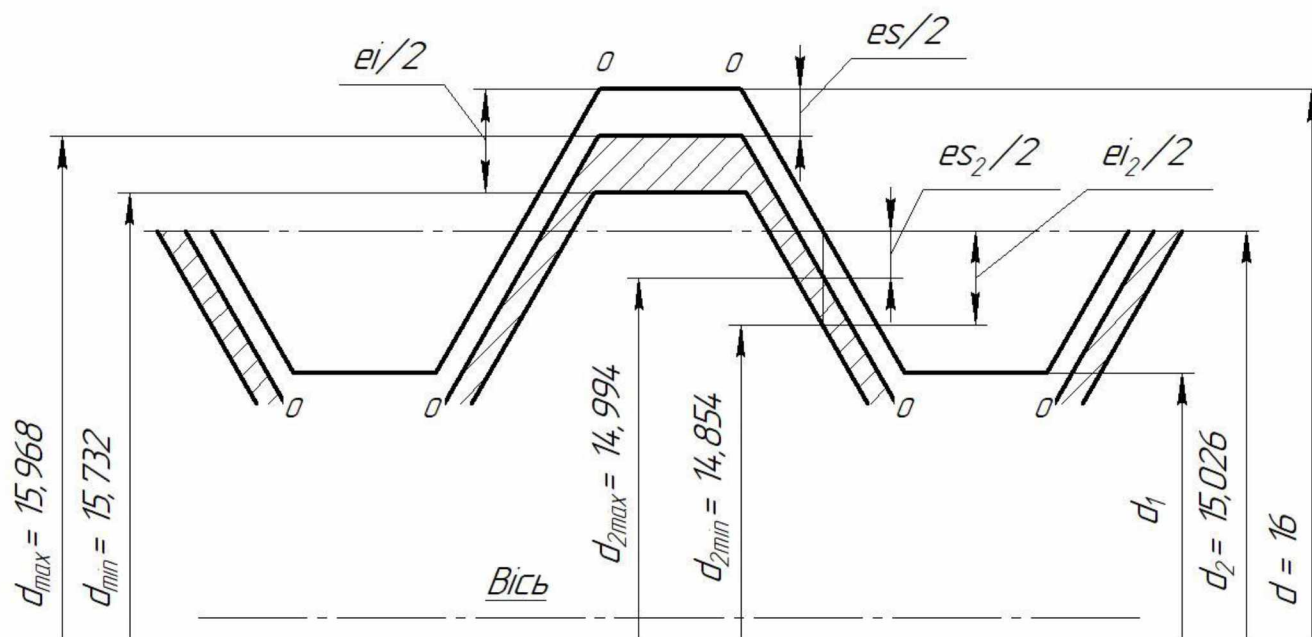
$Td = es - ei = -32 - (-268) = 236$ мкм.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку параметрів різьби

Позначення різьби	Елементи різьби	Розміри (мм)			Допуск, мм
		номінал.	max	min	
M36-6g	d	16	15,968	15,732	0,236
	d_2	15,026	14,994	14,854	0,140
	d_1	не нормується			

Схему полів допусків поверхні M16×1,5-6g наведено на рис. 1.4.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунку 1.4 – Схема полів допусків різьбової поверхні (типу гвинт)

					КНУ.КБР.131.25.1-11.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Вали-шестерні слугують для передачі крутного моменту між двома валами. Через зчеплення з зубчастим колесом передається обертальний рух від одного валу до іншого.

У процесі виготовлення валів-шестерень ми враховуємо специфіку їх застосування, підбираємо оптимальний тип термічної обробки, визначаємо необхідний діаметр, модуль і геометрію деталі. На всіх етапах виробництва – від первинної обробки до фінальної перевірки – здійснюється ретельний контроль точності форм і якості готового виробу.

Ці елементи виготовляються з високоякісних міцних матеріалів і виконують ключову роль у передачі крутного моменту. Однак, незважаючи на свою важливість, вали-шестерні належать до зносостійких, але не довговічних деталей. Їхній прискорений знос зумовлений не недоліками виробництва чи помилками в розрахунках, а високими навантаженнями, що виникають під час експлуатації.

Саме тому в технічній документації вантажопідйомних механізмів, редукторів і приводних систем особливу увагу приділяють своєчасній заміні таких деталей згідно з кресленнями замовника. Це дозволяє уникнути аварійних зупинок і тривалого простою обладнання.

Для виготовлення валів-шестерень ми використовуємо сталь 40Х – конструкційну леговану сталь, яка повністю відповідає вимогам експлуатації таких деталей.

Сфера застосування сталі 40Х (ДСТУ 7806:2015): осі, вали, вал-шестерні, плунжери, штоки, колінчасті та кулачкові вали, кільця, шпинделі, оправки, рейки, зубчасті вінці, болти, півосі, втулки та інші деталі, які потребують підвищеної міцності після термообробки.

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

C	Si	Mn	Cu	Ni	S	P	Cr
0.36-0.44	0.17-0.37	0.5-0.8	до 0.3	до 0,3	0-0.035	0-0.035	0.8-1,1

Таблиця 2.2 – Температура критичних точок матеріалу 40Х, °С

Ac ₁ = 743	Ac ₃ (Ac _m) = 815	Ar ₃ (Arc _m) = 730	Ar ₁ = 693	Mn = 305
-----------------------	--	---	-----------------------	----------

Таблиця 2.3 – Технологічні властивості матеріалу 40ХН

Зварюваність:	важко зварюється
Флокеночутливість:	чутлива
Схильність до відпускнуї крихкості:	схильна

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД</i>			
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	Технологічна підготовка виробництва деталі Лит. Арк. Аркцшів Каф. ТМ, гр. ПМ-21			
Розроб.	Корж							
Перевір.	Рязанцев							
Реценз.								
Н. контр.	Нечаєв							
Зав. каф.	Рязанцев							

Таблиця 2.4 – Механічні властивості при T=20° матеріалу 40Х

Сортамент	Розмір, мм	S _B , МПа	S _T , МПа	d ₅ , %	Y, %	KCU, кДж/м ²	Термообробка
Пруток	Ø25	980	785	11	45	690	Загартовування та відпуск

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Відповідно до вимог щодо точності та якості обробки поверхонь, формується оптимальна послідовність технологічних операцій, яка у комплексі забезпечує досягнення необхідних параметрів поверхні, вказаних у робочому кресленні. Аргументована схема виконання операцій представлена в таблиці 2.5, а схема деталі з нумерацією поверхонь – на рисунку 2.1.

Таблиця 2.5 – Вибір і обґрунтування послідовності обробки

№ пов.	Розмір, мм	Шорсткість, Ra	Допуск, ±IT	Послідовність технологічних методів обробки	Прим.
1	2	3	4	5	6
1	Торець l=294	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
2	Фаска 0,6x45°	12,5	±14/2	Точіння фаски	
3	Ø18	12,5	h14	Точіння чорнове	
4	Різьба M16X1,5-6g	12,5	14	Нарізання різьби	
5	Фаска 0,6x45°	12,5	±14/2	Точіння фаски	
6	Канавка 4мм	12,5	14	Точіння канавки	
7	Торець l=42	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
8	Ø21,8	12,5 6,3 3,2	h14 h12 h8	Точіння чорнове Точіння напівчистове Точіння чистове	
9	Ø26	12,5 6,3 3,2	h14 h12 h8	Точіння чорнове Точіння напівчистове Точіння чистове	
10	Ø26	12,5 6,3	h14 h12	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
11	Ø26	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h12 h10 h8	Точіння чорнове Точіння напівчистове Точіння чистове Точіння фінішне	
12	R1,5	12,5	14	Точіння закруглення	
13	Торець l=20	12,5 6,3	h14 h12	Точіння чорнове Точіння напівчистове	
14	Ø34	12,5	h14	Точіння чорнове	

Арк.

КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД

Змн. Арк. № док. Підпис Дата

Продовження таблиці 2.5

1	2	3	4	5	6
15	Торець l=46	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
16	Фаска 1,6x45°	12,5	±14/2	Точіння фаски	
17	Ø45,464	12,5 6,3 3,2	h14 h12 h8	Точіння чорнове Точіння напівчистове Точіння чистове	
18	Фаска 1,6x45°	12,5	±14/2	Точіння фаски	
19	Торець l=46	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
20	Ø34	12,5	h14	Точіння чорнове	
21	Торець l=24	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
22	R1,5	12,5	14	Точіння закруглення	
23	Ø26	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h12 h10 h8	Точіння чорнове Точіння напівчистове Точіння чистове Точіння фінішне	
24	Фаска 1,6x45°	12,5	±14/2	Точіння фаски	
25	Торець l=24	12,5	14	Підрізка торцю чорнова	
25	Паз b=5 L=35	12,5 6,3 3,2	h14 h12 h8	Фрезерування чорнове Фрезерування напівчистове Фрезерування чистове	
26	m=2	12,5 6,3 1,6	h14 h12 h8	Нарізання зубів чорнове Нарізання зубів напівчистове Нарізання зубів чистове	

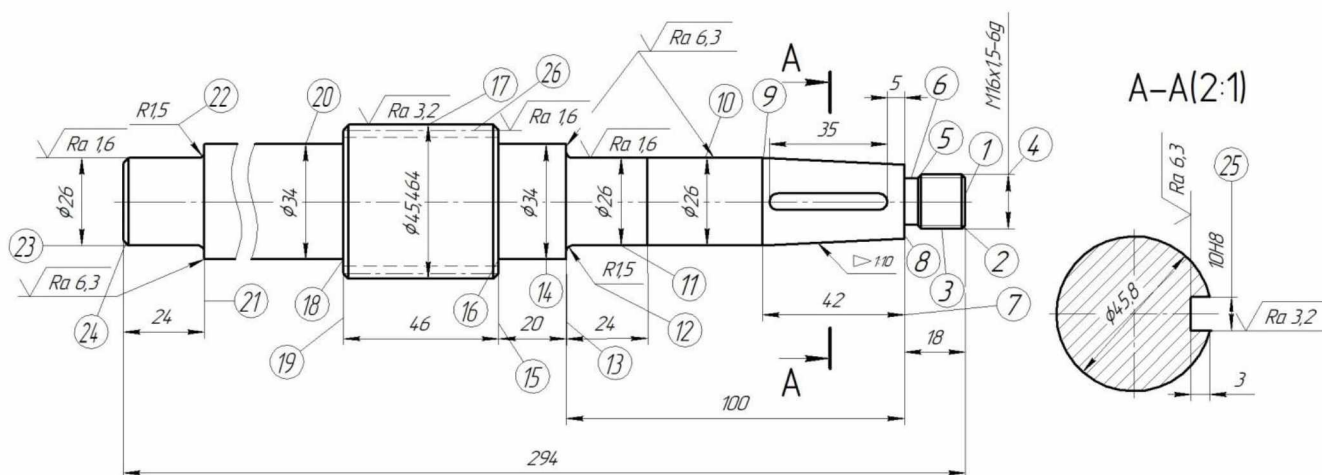


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь деталі «Вал-шестерня»

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Вал-шестерня зображена на кресленні формату А3 в масштабі 1:1. Для більш чіткого уявлення додатково є переріз А-А (показано шпонковий паз) та вид

					КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Б (канавка під вихід шліфувального круга). Проставлено всі необхідні розміри та шорсткість поверхонь. Вказані всі необхідні технічні вимоги та є таблиця з необхідними параметрами зубчатого вінця деталі.

Конструкція деталі забезпечує можливість застосування високопродуктивних режимів обробки, має зручні опорні поверхні для виконання початкових технологічних операцій і вирізняється простотою форми та конфігурації.

Зовнішні площини деталі можуть одночасно виконувати функції установчих і опорних баз під час обробки, а також слугувати базовими поверхнями при складанні.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Технологічний процес виготовлення даної деталі передбачає виконання ряду послідовних операцій:

- 005 – чорнова токарна обробка,
- 010 – багатоопераційн обробка,
- 015 – зубофрезерна обробка.

З огляду на обсяг і специфіку попередньо визначених методів обробки поверхонь, здійснюється вибір відповідних типів металорізального обладнання та інструментів. Вся необхідна інформація відображена у таблиці 2.9.

На токарні чорнові операцій обираємо токарно-гвинторізний верстат 16K20 (рис. 2.2), технічні характеристики наведені в таблиці 2.6.

На токарні чистові та фрезерні операцій обираємо токарно-фрезерний обробний центр моделі 1728C (рис. 2.3), технічні характеристики в таблиці 2.7.

Для нарізування зубчастого вінця обираємо зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 350/500 CNC (рис. 2.4), технічні характеристики наведені в табл. 2.8



Рисунок 2.2 – Верстат токарно-гвинторізний 16K20

					КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстату 16K20

Тех. характеристики верстату 16K20	Параметри
Клас точності	Н
Діаметр обробки над станиною, мм	400
Діаметр обробки над супортом, мм	220
Відстань між центрами	1000/1500
Діаметр наскрізного отвору в шпинделі, мм	55
Розмір внутрішнього конуса в шпинделі	Морзе 6 М80*
Число ступеней обертання шпинделя, шт.	23
Максимальна маса заготовки, закріпленої в патроні, кг	300
Максимальна маса деталі, закріпленої в центрах, кг	1300



Рисунок 2.3 – Токарно-фрезерний обробний центр моделі 1728С

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстату токарно-фрезерного обробного центру моделі 1728С

Тех. характеристики верстату	Параметри
Найбільший діаметр виробу над станиною, мм	550
Максимальний діаметр оброблюваного виробу	
при точіння, мм	400
при фрезеруванні, мм	400
Максимальна довжина деталей оброблюваних у центрах	1000/2000/3000
Розмір кінця шпинделя	A8
Внутрішній конус пінолі Морзе	6

					КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 350/500 CNC

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики верстату

Технічні характеристики	Параметри
Максимальний модуль, мм	12
Найбільший діаметр зачеплення, мм	500
Максимальна довжина фрези, мм	300
Максимальний діаметр фрези, мм	300
Максимальне переміщення фрези, мм	250
Максимальний осьовий рух суппорта фрези, мм	400
Відстань від осі фрези до поверхні столу, мм	300 – 700
Швидкість обертання шпинделя фрези, хв ⁻¹	400
Потужність головного двигуна, кВт	18,5
Габарити верстата, мм	2600x5530x3800
Вага верстата, кг	16 000

Таблиця 2.9 – Типи та моделі металорізальних верстатів з обробки поверхонь деталі

№ пов.	Найменування опер.	Тип і модель верстату
1,2,3,4,5, 6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,18, 19, 20,21, 22,23,24	Токарна	16K20 Токарно-фрезерний обробний центр моделі 1728С
25	Фрезерна	Токарно-фрезерний обробний центр моделі 1728С
26	Зубонарізна	Зубофрезерний верстат з ЧПК GearSpect SF 350/500 CNC

Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.1-11.02.ТПВД	Арк.
------	------	----------	--------	------	-----------------------------	------

3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

З урахуванням фізико-механічних характеристик матеріалу деталі, виду обробки та типу використаного металорізального обладнання, для обраних типів інструментів визначаємо матеріал різальної частини, її геометричні параметри, а також матеріал корпусу (державки або хвостовика) інструмента. Обґрунтовується вибір типу інструмента та подається його ескіз. Попередній підбір інструментів виконано та представлено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№ пов.	Найменування операції	Тип інструменту
1,2,3,4,5, 6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13,14, 15, 16,17,18,19,20,21, 22, 23, 4	Токарна	Різець
25	Фрезерна	Кінцева фреза
26	Зубонарізна	Черв'ячна фреза

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Для виконання токарної чорнової операції обрано прохідний відігнутий різець.

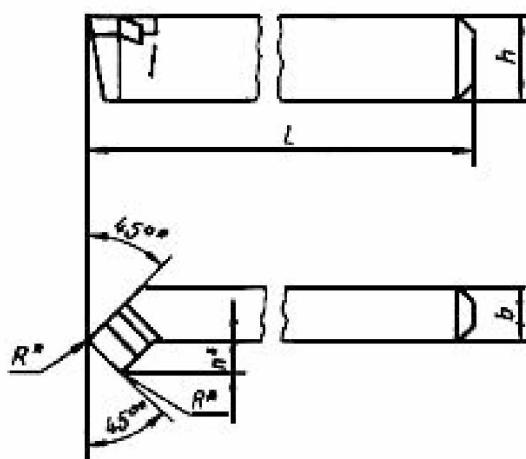


Рисунок 3.1 – Прохідний відігнутий різець та його параметри

Розмір різця	l	m	h ₁	h ₂	К	Позначення різця за ДСТУ ГОСТ 25395:2015
hxb						
20x20	16	7,2	13,5	17,0	13	01392

					КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ		
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами		
Розроб.	Корж						
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ПМ-21		

Вибір проводимо за каталогом інструментів «Seco» [4].
Різець для зовнішньої обробки зображений на рисунку 3.2.

Державки для пластин CNGA, CNGG, CNMA, CNMG и CNMM



- Номенклатуру пластин см. на стр. 348-355, 402, 431
- γ_o° = Передний угол, λ_z° = Угол наклона
- Обозначения державок см. на стр. 14-15

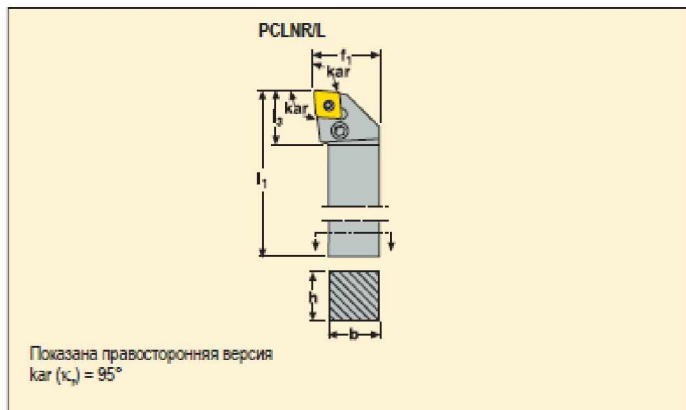


Рисунок 3.2 – Ескіз різця для зовнішньої обробки

PCLNR/L 95°		Обозначение	Размеры в мм					γ_o°	λ_z°		
			h	b	l_1	f_1	l_2				
		PCLNR 2020K12	20	20	125	25,0	26	-6	-6	0,4	CN..1204..

Рисунок 3.3 – Геометричні параметри державки

Підбираємо пластини для чорнового, полувчистового, чистового та тонкого точіння.

Для чорнового та напівчистового точіння вибираємо стружколом MR4 він зображений на рисунку 3.4.

 	-MR4	MR4 имеет негативную тавровую фаску, обеспечивающую высокую прочность кромки. Стружколом предназначен для операций тяжелой обработки суперсплавов и титановых сплавов, таких как прерывистое резание и обработка деталей с необработанной поверхностью. Диапазон обработки: $f = 0,15-0,50$ мм/об, $a_p = 1,5-7,0$ мм.																						
Пластины	Обозначение	Сплавы																						
		С покрытием														Без покрытия			Кермет					
		TP0501	TP1501	TP2501	TP3500	TP2000	TP40	TH1000	TH1500	TM2000	TM4000	TK1001	TK2001	TS2000	TS2500	CP200	CP500	CP600	HX	KX	883	890	TP1020	TP1030
CNMG-MR4																								
	CNMG 120404-MR4																							
	120408-MR4																							

Рисунок 3.4 – Стружколом для чорнового точіння

Для чистового і тонкого точіння на вибираємо стружколом MF2 він зображений на рисунку 3.5

					КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ					Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата						

	-MF2	Предпочтительный выбор для чистовых операций с негативными пластинами. Подходит для глубин резания до 0,25 мм, обеспечивая подачу более 0,25 мм/об. Хорошая возможность для получерновой обработки. Диапазон обработки: $f = 0,10\text{--}0,4$ мм/об, $a_p = 0,2\text{--}3,0$ мм.																							
Пластины	Обозначение	Сплавы																							
		С покрытием														Без покрытия				Кермет					
		TP0501	TP1501	TP2501	TP3500	TP200	TP40	TM1000	TM1500	TM2000	TM4000	TK1001	TK2001	TS2000	TS2500	CP200	CP500	CP600	HX	KX	883	890	TP1020	TP1030	
CNMG-MF2	CNMG 120404-MF2	■		■	■	■							■											■	■

Рисунок 3.5 – Стружколом для тонкого точіння

Пластина без покрытия 883 зображена на рисунку 3.6.

883		Твердый микрозернистый сплав без покрытия, разработанный для чернового точения титана и суперсплавов.
-----	---	---

Рисунок 3.6 – Матеріал для пластини без покриття 883

Для чистової обробки покриття пластини TP200.

TP200		Универсальный сплав для обработки стали, нержавеющей стали и чугуна. $Ti(C,N) + Al_2O_3 + TiN$
-------	---	---

Рисунок 3.7 – Покриття TP200

За каталогом «MITSUBISHI» [5] обираємо кінцеву фрезу для обробки пазу $b=5$ $L=35$. Вона зображена на рисунку 3.8.

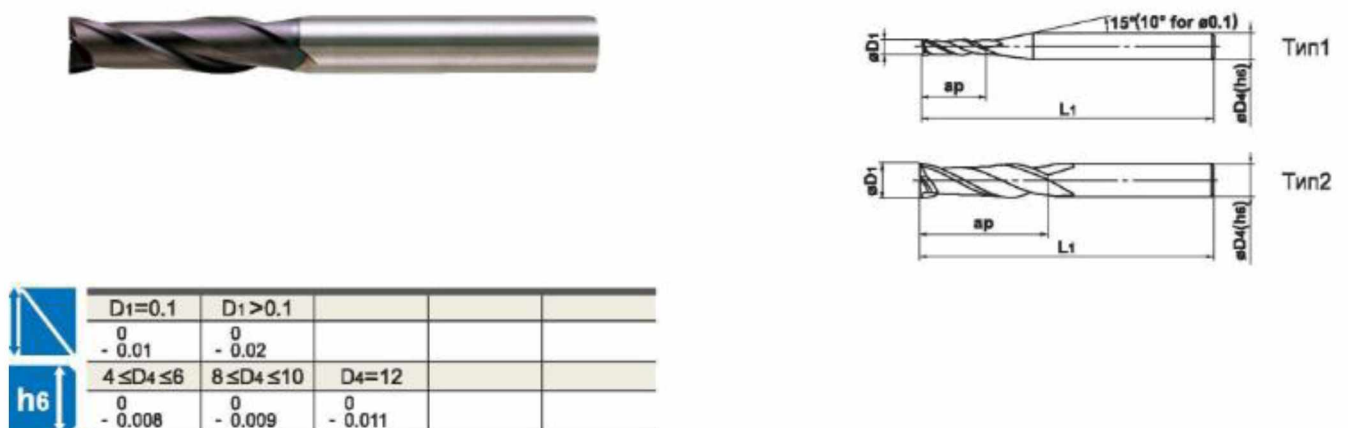


Рисунок 3.8 – Кінцева фреза для обробки пазу $b=5$ $L=35$:
 $D_1 = 5$; $ap = 15$; $L_1 = 50$; $D_4 = 6$; $Z = 2$; тип – 1

КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ					Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	

Таблиця 3.2 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ пов.	Тип інструмента	Матеріал різальної частини інструмента	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1,2,3,4,5, 6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,18,19 , 20,21, 22,23,24	Різець прохідний відігнутий Різець	T5K10 Без покриття 883 Твердий сплав із покриттям TP200	Сталь 40X C45	Стружколоми MR4, MF2 $\gamma_0^\circ = -6^\circ$; $\lambda_s^\circ = -6^\circ$; $\alpha^\circ = 95^\circ$
25	Фреза твердосплав на кінцева	MP2500 MP3000	C45	$\gamma_0^\circ = 30^\circ$; $2\varphi^\circ = 140^\circ$; $\gamma_0^\circ = 5^\circ$; $\varphi^\circ = 15^\circ$
26	Фреза черв'ячна	P6M5	Сталь 40X	

Таблиця 3.3 – Вибір типорозміру різальних інструментів

№ пов.	Найменування інструмента	Основні розміри інструмента, пластини	Матеріал інструменту	Шифр інструмента (державки, пластини) за міжнародними стандартами
1,2,3,4,5, 6,7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17,18,19 , 20,21, 22,23,24	Різець прохідний відігнутий Різець	h=20 b=20 h=20 b=20 l=125 fl=25	T5K10 Чорнова обробка: 883 Напівчистова обробка 883 Чистова обробка TP200	ДСТУ ГОСТ 25395:2015 01392 Токарний різець Держак: PCLNR 2020K12 Пластини: CNMG 120408-MR4 CNMG 120408-MF2
25	Фреза кінцева	ap=15; D1=5; Dmm=20: l ₁ =50; D4=6		Державка D0500
26	Фреза черв'ячна		P6M5	DIN 5480-16-1986

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ	Арк.
------	------	----------	--------	------	-----------------------------	------

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з обраних типів інструментів визначаються найбільш навантажені умови експлуатації, зокрема під час чорнової обробки. Враховуючи умови різання – фізико-механічні властивості матеріалу заготовки, характеристики верстата та параметри обробки – розраховуються сили різання. Рекомендовано застосовувати автоматизований підхід до визначення режимів різання. Обраний інструмент проходить перевірку на міцність в умовах максимальної механічної напруги.

Ефективна потужність різання визначається за допомогою програмного комплексу «Аналітичний розрахунок режимів різання при точінні». Результати обчислень наведено на рисунку 3.9.

Вид работы		
Наружное продольное точение		
Глубина резания:	1.000	мм
Подача:	0.500	мм/об
Скорость резания:	60.815	м/мин
Частота вращения шпинделя:	400.000	мин⁻¹
Действительная скорость резания:	59.062	м/мин
Сила резания:	1099.662	Н
Мощность, затрачиваемая на резание:	1.061	кВт
Обработка возможна		
Основное время:	0.240	мин

Результаты расчёта Помощь << Назад Готово !

Рисунок 3.9 – Результат автоматичного розрахунку режимів різання

Як показано на рисунку 3.9, ефективна потужність різання $N=1,061$ кВт. Для визначення ефективної сили різання використаємо наступну формулу:

$$P_z = \frac{N \cdot 60 \cdot 102}{v} \quad (3.1)$$

Глибина різання $t=1$ мм, швидкість головного руху різання $v=60,815$ м/хв (1,01 м/с).

$$P_z = \frac{1.061 \cdot 60 \cdot 102}{1.01} = 6493 \text{ Н}$$

					КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			

Величину b круглого поперечного перерізу корпусу фрези визначаємо за формулою:

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot P_z \cdot l}{\sigma_{и.д}}}, \quad (3.2)$$

де P_z – головна складова сили різання, Н;

$\sigma_{и.д}$ – допустима напруга при згині матеріалу корпусу, МПа.

Підставивши значення, що потрібні у формулі (3.2), отримаємо допустимий переріз корпусу різця для заданих параметрів:

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 6493 \cdot 46}{980}} = 12,23, \text{ мм}$$

Отже, обрана форма і розмір державки витримують навантаження на міцність і твердість.

3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

З урахуванням конструктивних особливостей посадочних поверхонь верстата для кріплення різального інструменту та характеристик самих інструментів, обираються відповідні типи допоміжного оснащення згідно з міжнародними стандартами для кожного з обраних різальних елементів. Відповідна інформація наведена в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір типу допоміжного інструменту

№ пов.	Металорі- зальний верстат	Параметри посадочного місця верстата під інструмент	Тип ріжучого інструменту	Параметри посадочного місця ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5	6
25	Токарно- фрезерний обробний центр моделі 1728С	HSK A-40	Державка D0500	Ø6	E9302 5803 0680
26	Токарно- фрезерний обробний центр моделі 1728С	HSK A-40	DIN 5480-16- 1986	Ø40	HSK A40 V15SA110

Для кінцевої фрез допоміжним інструментом буде термооправка.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Туре 5803 - Термооправки, DIN типа



• Прямое биение 3 μm (3 μm на 3x d) максимум.

HSK-A/ISO 12164-1-A

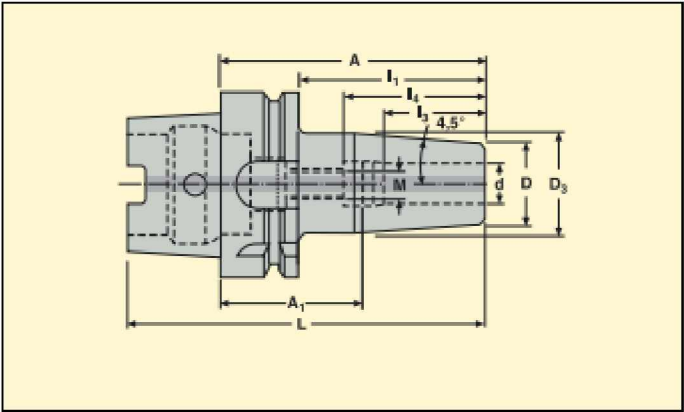


Рисунок 3.10 – Термооправка тип 5803

Страница 1 из 5	Конус	d мм	Обозначение	Размеры в мм							M мм	*	Балансировка	
				A	D	D ₃	L	I ₁	I ₂	I ₄				
HSK-A40														
	6	E9302 5803 0680	80	21	27	100	60	26	36	44-54	M5	*	1	0,41

Рисунок 3.10 – Параметры термооправки тип 5803

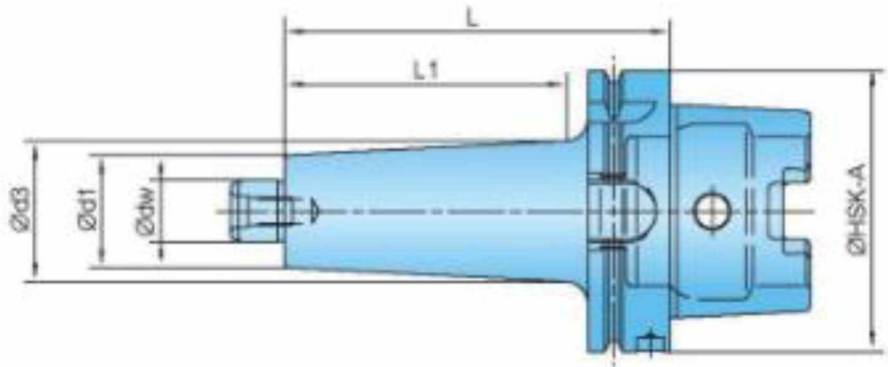


Рисунок 3.11 – Оправка для насадной фрезы

HSKA40V15SA110	15	40	40	110	90	40		v	7,50
ОБОЗНАЧЕНИЕ	dw	d1	d3	L	L1	HSK-A			

Рисунок 3.12 – Параметры оправки

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Розрахувати та сконструювати черв'ячну фрезу для обробки шестерні.

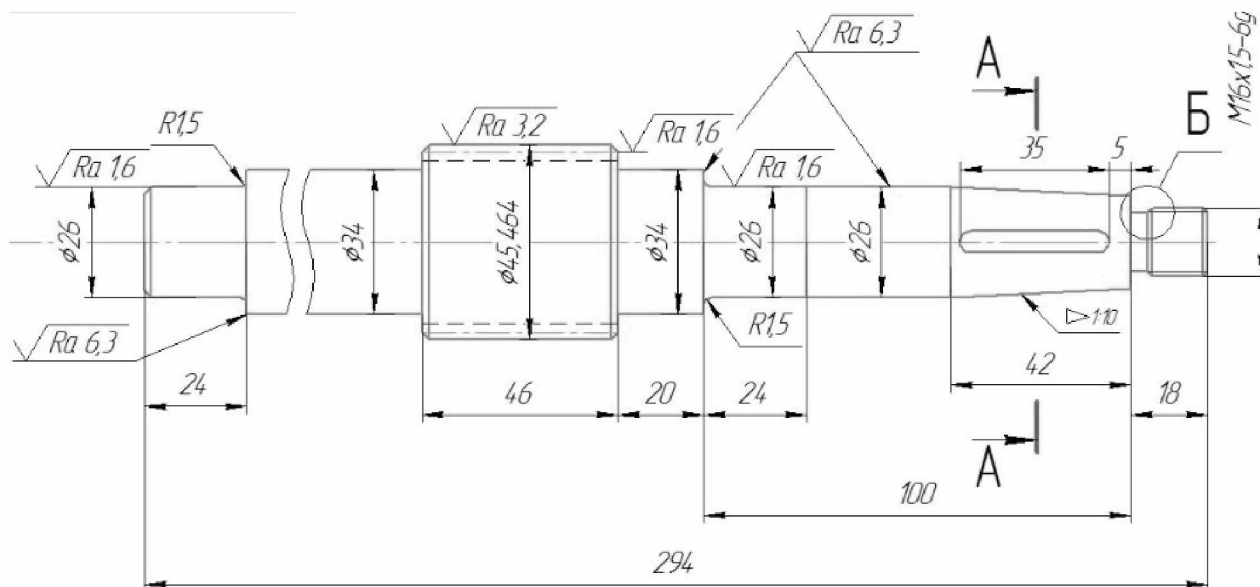


Рисунок 4.1 – Ескіз деталі

Вихідні дані:

Модуль – $m = 2$.

Кількість зубів – $z = 20$.

Кут нахилу зуба – $8^{\circ}6'34''$.

Напрямок зуба – лівий.

Коефіцієнт зміщення – $x = 0,265$.

Дільний діаметр – $d = 40,404$.

4.1.1 Вибір попередньо зовнішнього діаметра фрези d_{ao} по DIN 858.

Зовнішній діаметр d_{ao} (рисунок 2.1) залежить від ряду умов, що визначають необхідну точність або продуктивність обробки зубчастих коліс. Зі збільшенням діаметра можливе підвищення точності обробки за рахунок зменшення органічних погрешностей профілювання, збільшення числа зубів по окружності, більш жорсткого кріплення фрези внаслідок великих розмірів посадкового отвору. Однак зі збільшенням діаметра фрези збільшується витрата інструментального матеріалу, що обертає момент, довжина і час врізання і, отже, тривалість обробки. Орієнтовно слід прагнути до того, щоб кут підйому витків γ_{mo} був менш 5° . Для

					КНУ.КБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ		
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Проектування та інженерний аналіз різального інструменту Лім. Арк. Аркцшів Каф. ТМ, гр. ПМ-21		
Розроб.		Корж					
Перевір.		Рязанцев					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев					

прецизійних фрез, призначених для обробки зубчастих коліс 5 - 8 ступенів точності, зовнішній діаметр приймається на ступінь більше, ніж для нормальних фрез.

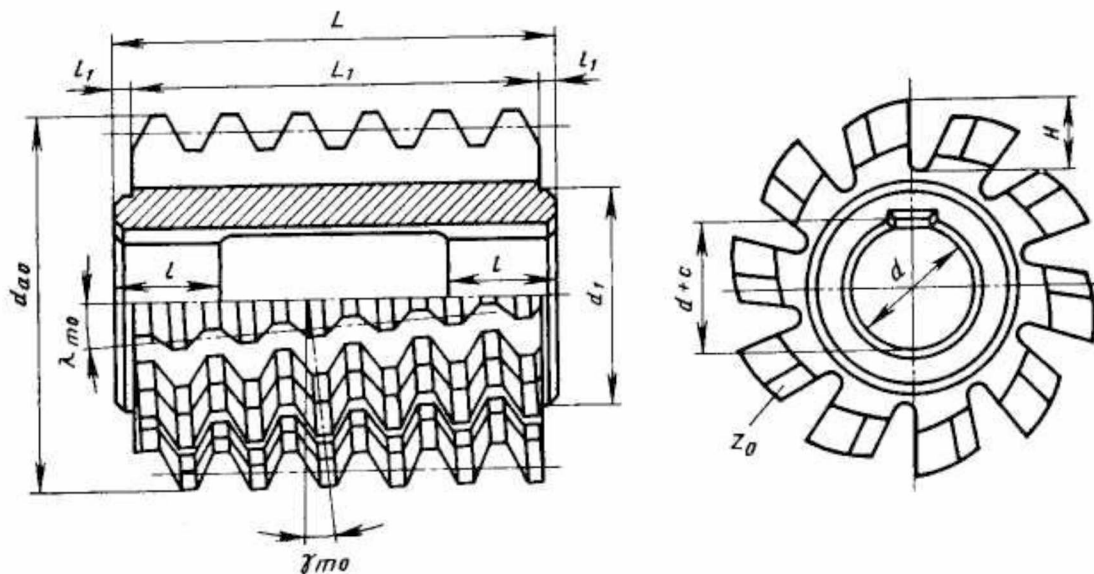


Рисунок 4.2 – Основні конструктивні розміри суцільної черв'ячної фрези

Зовнішній діаметр черв'ячної фрези можна вибрати по таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Основні розміри червячної фрези

m , мм	d_{ao} мм	d , мм	z_o
	Тип		
	1	1	1
2,00	90	40	14

Обираємо перший тип фрези, та основні розміри для $m=2$.

4.1.2 Розміри профілю різання в нормальному перетині

Профіль і розміри зуба фрези приймаються за розмірами інструментальної рейки, залежать від модифікації профілю і призначення фрези. За ГОСТ 9324-80Е зуби виготовляються без модифікації. Основні розміри зубів розраховуються за формулами.

4.1.2.1 Крок зубів:

$$P_{no} = \pi m$$

$$P_{no} = \pi \times 2 = 6,28; \quad (4.1)$$

4.1.2.2 Хід зубів фрези:

$$P_{nz} = P_{no} \cdot Z,$$

де Z – число заходів фрези.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$P_{nz}=6,28 \times 1=6,28; \quad (4.2)$$

Однозахідні фрези отримали найбільш широке поширення, тому що вони дають більш високу точність обробки, простіше у виготовленні і експлуатації, ніж багатозахідні.

4.1.2.3 Товщина зуба в нормальному перетині по ділильній окружності:

$S_{no} = P_{no} - S_n$ – для чистових фрез.

де $S_n = \pi m/2$ – товщина зуба колеса по ділильній окружності, мм;

$$S_{no} = 6,28 - \frac{6,28}{2} = 3,14; \quad (4.3)$$

4.1.2.4 Висота головки зуба фрези:

$$h_{ao} = h_{fl} = (f + c')m, \text{ мм}$$

де h_{fl} – висота ніжки зуба колеса, мм;

f – коефіцієнт висоти;

$c' = 0,25$ или $0,3$ – коефіцієнт радіального зазора.

$$h_{ao} = h_{fl} = (1 + 0,25) \times 2 = 2,5 \text{ мм}; \quad (4.4)$$

4.1.2.5 Висота ніжки зуба фрези:

$$h_{fo} = h_{al} = f m, \text{ мм}$$

$$h_{fo} = h_{al} = 1 \times 2 = 2 \text{ мм}; \quad (4.5)$$

4.1.2.6. Висота зуба фрези:

$$h_o = h_{ao} + h_{fo}, \text{ мм}$$

$$h_o = 2,5 + 2 = 4,5 \text{ мм}; \quad (4.6)$$

4.1.2.7 Радіус закруглення головки и ніжки зуба:

$$\rho_{ao} = 0,25 m,$$

$$\rho_{ao} = 0,25 \times 2 = 0,5; \quad (4.7)$$

$$\rho_{fo} = 0,3 m.$$

$$\rho_{fo} = 0,3 \times 2 = 0,6; \quad (4.8)$$

У фрез з модулем $m < 4$ мм рекомендується біля основи зубів виконувати канавки для забезпечення можливості шліфування: ширина канавки $b_1 \approx 0,45$ мм; глибина канавки $h_1 = 0,5$ мм; радіус канавки $\rho_l = 0,3$ мм.

4.1.2.8 Вибір геометричних параметрів фрези $\alpha_v, \gamma, \alpha_{bo}$

Задній кут при вершині зуба $\alpha_v = 12^\circ$. Передній кут γ для чистових фрез приймається $\gamma = 0$.

При нульовому γ полегшується розрахунок параметрів, контроль і технологія виготовлення фрез. Однак зі збільшенням переднього кута поліпшуються умови різання і підвищується стійкість фрези. При цьому точність обробки фрезами з $\gamma > 0$ може бути значно підвищена за рахунок вибору оптимального переднього кута. Тому при проектуванні черв'ячних фрез доцільно передній кут вибирати в залежності від оброблюваного матеріалу і призначення фрези.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Задній кут на бічних сторонах зубів в нормальному перетині $\alpha_{\phi 0}=3^{\circ}$.

4.1.2.9 Визначення діаметра посадкового отвору фрези:

$d_o = 18,65 h_o^{0,404}$ – для прецизійних фрез,

де h_o – висота зуба фрези, мм.

$$d_o = 18,65 \times 4,5^{0,404} = 34,24 \text{ мм}; \quad (4.9)$$

Отримане значення до округляється до найближчого більшого значення з нормального ряду 22, 27, 32, 40, 50, 60, 80, 100.

4.1.2.10 Визначення діаметра окружності впадин:

$$d_{en} = 1,75 d_o, \text{ мм}$$

де d_o – діаметр посадкового отвору, мм.

$$d_{en} = 1,75 \times 40 = 70 \text{ мм}; \quad (4.10)$$

4.1.2.11 Число зубів фрези

Число зубів фрези приймається в залежності від модуля і типу фрези (табл. 4.1). Від числа зубів фрези залежать розміри окружного кроку і стружкової канавки зубців. Зі збільшенням Z_0 при постійному зовнішньому діаметрі фрези зменшуються огранювання і хвилястість поверхні, підвищується продуктивність обробки. При цьому зменшуються ширина і міцність зуба, скорочується число переточувань. Тому для прецизійних фрез число зубів вибирається великим, а для фрез загального призначення - меншим.

4.1.2.12 Визначення величини затилування зуба фрези:

$$K = \frac{\pi d_{ao}}{Z_o} \operatorname{tg} \alpha_e, \text{ мм}$$

де d_{ao} – зовнішній діаметр фрези, мм;

Z_o – число зубів фрези, мм;

α_e – задній кут при вершині зуба.

$$K = \frac{\pi \times 90}{14} \operatorname{tg} 12 = 4,5 \text{ мм}; \quad (4.11)$$

Отримане значення до округляється до найближчої більшої величини, кратної 0,5 мм.

Для забезпечення необхідної точності профілю та підвищення стійкості фрези задні поверхні зубів шліфуються. Довжина шліфованої частини у фрез з модулем $m < 4$ мм не менше 1/3 довжини зуба по колу його вершини. Величина додаткового затилування K_1 у фрез зі шліфованим профілем дорівнює $K_1 = (1,2 \div 1,5) K$ з відповідним округленням до 0,5 мм. Приймаю $K_1 = 5,5$ мм.

4.1.2.13 Визначення глибини стружкової канавки

Розміри стружкової канавки повинні вибиратися з умов вільного виходу затиловочного різця і шліфувального круга при виготовленні фрези, розміщення проникнення ріжучого інструменту.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Глибина канавки H_k дорівнює:

$H_k = h_o + (K + K_l)/2 + r_o$ – для фрез зі шліфованим профілем;

де $r_o = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0$ мм – радіус закруглення дна стружкової канавки.

$$H_k = 4,5 + \frac{4,5 + 5,5}{2} + 0,5 = 10 \text{ мм}; \quad (4.12)$$

Потім H_k округляється до цілого числа.

4.1.2.14 Уточнення зовнішнього діаметра фрези d_{ao} :

$$d_{ao} \geq d_{en} + 2H_k$$

$$90 \geq 70 + 2 \times 10 = 90;$$

4.1.2.15 Вибір куту стружкової канавки

Вибираємо кут стружкової канавки $\theta = 18^\circ$ в залежності від Z_o .

4.1.2.16 Визначення діаметра початкового циліндра в початковому перерізі:

$$d_{mo} = d_{ao} - 2h_{ao} - 0,3K, \text{ мм};$$

де h_{ao} – висота головки зуба фрези, мм;

K – величина затилування, мм;

$$d_{mo} = 90 - 2 \times 2,5 - 0,3 \times 4,5 = 83,65 \text{ мм}; \quad (4.13)$$

4.1.2.17 Визначення кута підйому витків фрези на початковому циліндрі в розрахунковому перерізі (вважається з точністю до 1'):

$$\sin \gamma_{mo} = P_{no} / (\pi \cdot d_{mo}),$$

де P_{no} – крог зубів фрези, мм;

d_{mo} – діаметр початкового циліндра фрези в вихідному перетині.

$$\sin \gamma_{mo} = 6,28 / (\pi \cdot 83,65) = 0,0237; \quad (4.14)$$

$$\gamma_{mo} = 1^\circ 24'$$

Для коліс з правим напрямком зубів застосовуються правозаходні фрези, і навпаки.

4.1.2.18 Вибір кута нахилу стружкових канавок λ_{mo}

Зазвичай $\lambda_{mo} = \gamma_{mo}$. Гвинтові стружкові канавки у фрези виконуються з протилежним виткам напрямком. Фрези з кутом підйому витка $\gamma_{mo} \leq 6^\circ$ можуть бути виготовлені з прямими осьовими стружковими канавками.

4.1.2.19 Визначення кроку стружкових канавок

Крок стружкових канавок визначається с точністю до 1 мм:

$$P_z = \pi d_{mo} \operatorname{ctg} \lambda_{mo}, \text{ мм.}$$

$$P_z = \pi \cdot 83,65 \cdot \operatorname{ctg} 1^\circ 24' = 2,6 \text{ мм}; \quad (2.15)$$

4.1.2.20 Визначення ходу витків фрези:

$$P_{zo} = P_{nz} / \cos \gamma_{mo}, \text{ мм.}$$

$$P_{zo} = 2,6 / \cos 1^\circ 24' = 3,8 \text{ мм}; \quad (2.16)$$

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.1.2.21 Визначення кроку витків фрези:

$$P_{xo} = P_{no} / \cos \gamma_{mo}, \text{ мм.}$$

$$P_{xo} = 2.6 / \cos 1^\circ 24' = 9.7 \text{ мм;}$$
(4.17)

4.1.2.22 Визначення діаметра виточки в отворі:

$$d_{\text{выт}} = 1,05 d_o, \text{ мм.}$$

$$d_{\text{выт}} = 1,05 \times 40 = 42 \text{ мм;}$$
(4.18)

4.1.2.23 Визначення діаметра буртиків фрези:

$$d_1 = d_{ao} - 2H_k - (1 \div 2), \text{ мм.}$$

$$d_1 = 90 - 2 \times 10 - 2 = 68 \text{ мм;}$$
(4.19)

Буртики шліфуються по діаметру і служать для контролю биття фрези при виготовленні і точності її установки на оправці шпинделя верстата.

4.1.2.24 Визначення робочої довжини фрези:

$$L_p \approx h_1 \text{ctg } \alpha + 2,5 P_{xo}, \text{ мм.}$$

де $h_1 = h_{al} + h_{fl}$ – висота зуба колеса, мм
 P_{xo} – осьовий крок витків фрези, мм.

$$L_p \approx 4,5 \times \text{ctg } 8 + 2,5 \times 9.7 = 35 \text{ мм;}$$
(4.20)

Багатозахідні фрези рекомендується виконувати довжиною в 1,25 - 1,5 рази більшої довжини стандартних фрез, що забезпечує роботу цих фрез з перерозподілом.

При роботі з перерозподілом робочу довжину рекомендується збільшити в 1,2 - 1,8 рази, що підвищує загальний термін служби фрези. При нарізанні косозубих коліс з кутом нахилу більше 200 на черв'ячних фрез рекомендується робити забірний конус з кутом 7 - 10 про і довжиною 25 мм, що дозволяє більш рівномірно розподілити роботу між зубами. Для правозаходних фрез забірний конус робиться на лівій стороні, а для лівозаходних - на правій, якщо дивитися на передню поверхню.

4.1.2.25 Визначення загальної довжини фрези:

$$L = L_p + 2l_1 \text{ мм,}$$

де l_1 – довжина буртиків ($l_1 = 4 \div 6$ мм).

$$L = 90 + 2 \times 5 = 100 \text{ мм.}$$
(4.21)

Довжина пасків на посадковому діаметрі отвору $l = 0,3 \times 100 = 30$.

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

У сучасному машинобудуванні розробка та вдосконалення різального інструменту потребують точного аналізу його механічних характеристик. Одним з таких інструментів є черв'ячна фреза, яка широко використовується для обробки зубчастих коліс та інших деталей зі складним профілем. Надійність та ефективність роботи фрези значною мірою залежать від її конструкції, матеріалу та напружено-деформованого стану під час експлуатації.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

З метою підвищення точності оцінювання механічних властивостей інструменту та зменшення ризиків його передчасного зносу або руйнування, було виконано чисельне моделювання черв'ячної фрези із застосуванням модуля SolidWorks Simulation. Цей програмний засіб дозволяє провести статичний та динамічний аналіз деталей, визначити розподіл напружень і деформацій, виявити критичні зони навантаження, а також оцінити жорсткість конструкції.

У даному розділі наведено результати аналізу напружено-деформованого стану черв'ячної фрези, отримані шляхом комп'ютерного моделювання. Метою аналізу є перевірка міцності конструкції при типових умовах навантаження та обґрунтування її працездатності відповідно до вимог сучасного виробництва.

Спроектована модель з прикладеними зусиллями показана на рисунку 4.3.

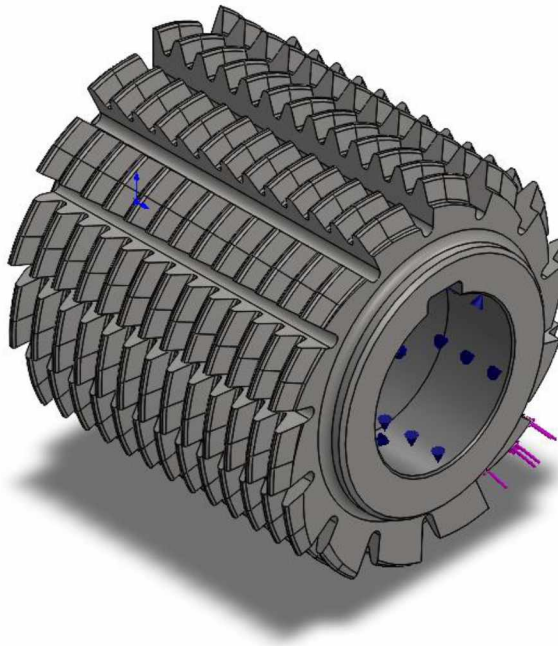


Рисунок 4.3 – 3D-модель інструменту

Матеріальні властивості моделі

- пружний модуль (E): $2,05 \times 10^{11}$ Н/м²
- модуль зсуву (G): $7,9 \times 10^{10}$ Н/м²
- коефіцієнт Пуассона: 0,28
- гранична міцність: $9,9 \times 10^8$ Н/м²
- пластична границя: $8,2 \times 10^8$ Н/м²

Далі, використовуючи цю створену модель черв'ячної фрези створимо сітку кінцевих елементів для подальших розрахунків (рис 4.4).

Аналіз сітки

- загальна кількість вузлів: 806504
- кількість елементів: 546671
- якість сітки: Висока
- максимальне відношення сторін: 1637,8 (в межах допуску)

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАПІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

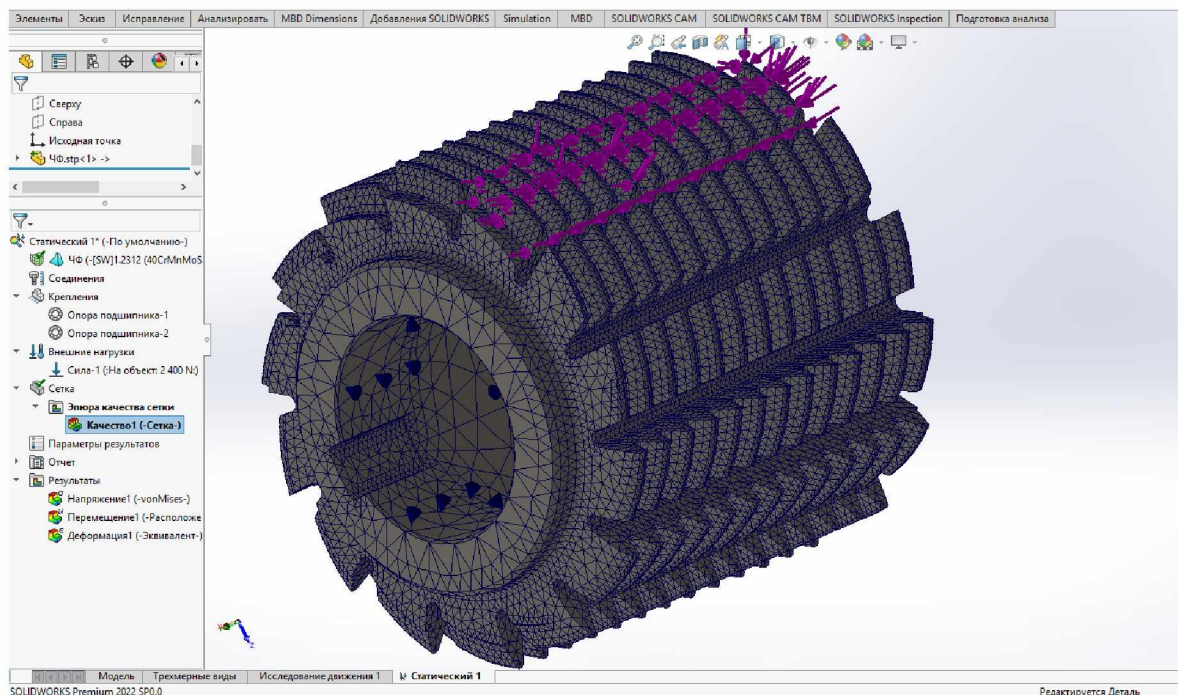


Рисунок 4.4 – Створена сітка кінцевих елементів черв'ячної фрези

4.2.1 Аналіз епюр

4.2.1.1. Епюра переміщень (U, мм)

Показує розподіл переміщень по тілу різця під дією навантаження (рис. 4.5).

Аналіз: Максимальне переміщення спостерігається на верхній частині робочої зони інструменту, що є логічним, оскільки вона найбільш віддалена від точки закріплення.

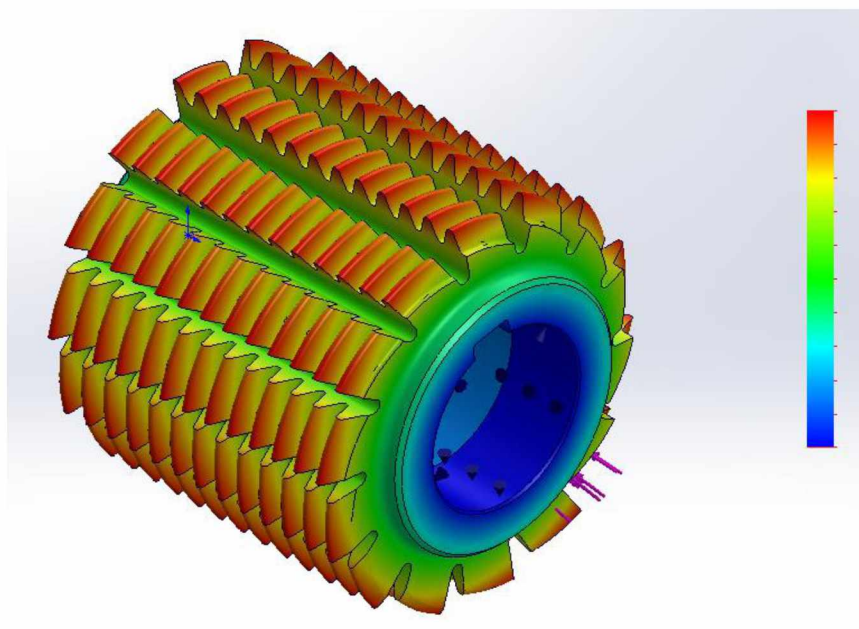


Рисунок 4.5 – Епюра переміщень (U, мм)

Висновок: Конструкція забезпечує достатню жорсткість; переміщення знаходяться в допустимих межах.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІА/І	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

4.2.1.2. Епюра загальних напруг (Equivalent Stress / Напруга за Мізесом, МПа)

Показує інтенсивність напруги у тілі різця, інтегральний показник, що враховує всі компоненти тензора напруги (рис. 4.6).

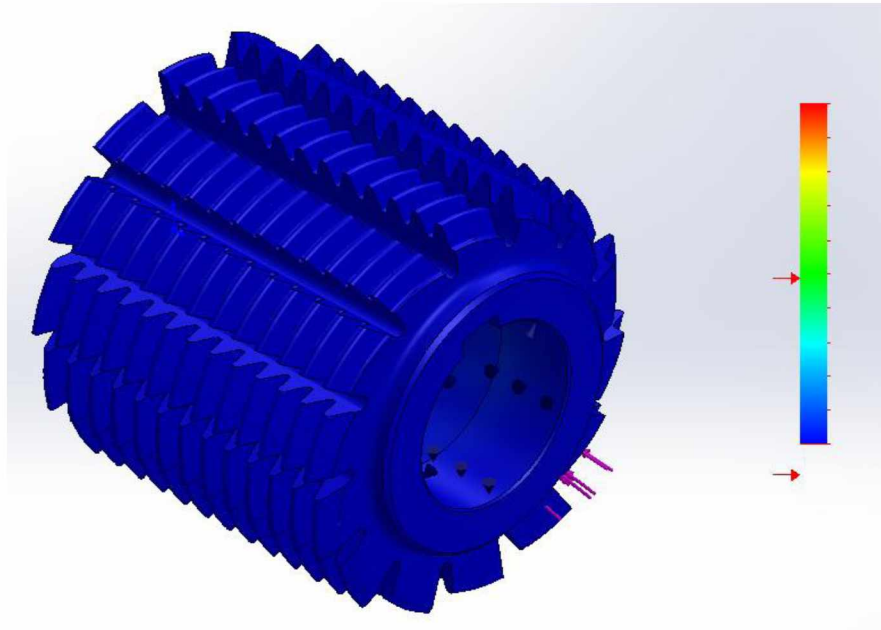


Рисунок 4.6 – Епюра загальних напруг (за Мізесом, МПа)

Аналіз: Найбільша напруга зосереджена в районі переходу між тілом та робочою частиною різця - місці концентрації напруг.

Висновок: Дана ділянка критична з точки зору міцності. Можливо, буде потрібно локальне посилення або зміна форми для зниження концентрації.

4.2.1.3. Еюра деформацій (Equivalent Strain / Еквівалентна деформація)

Показує розподіл еквівалентної пластичної деформації за Мізесом.

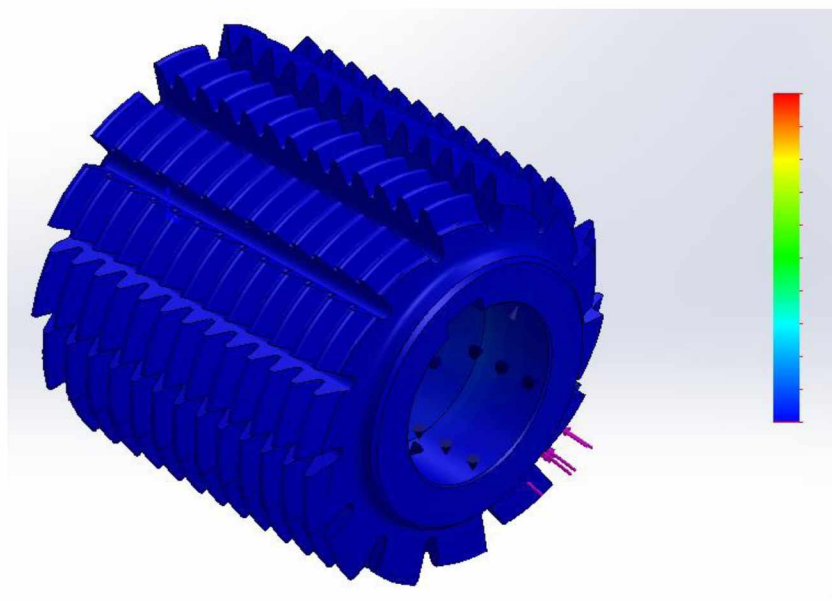


Рисунок 4.7 – Еюра деформацій (еквівалентна деформація)

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІА/І	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Аналіз: Підвищені деформації в зонах контакту з матеріалом, що обробляється, особливо в районі ріжучої кромки.

Висновок: Вказує на можливу локальну пластичну течію, що вимагає перевірки на повторюваність навантаження (втомний аналіз).

4.2.1.4. Епюра нормальних напруг по осі X (S_x , МПа)

Аналіз: напруга, що стискає і розтягує, чергуються, максимум — в зоні робочої кромки.

Висновок: Векторна напруга свідчить про складний напружений стан.

4.2.1.5. Епюра нормальних напруг по осі Y (S_y , МПа)

Аналіз: Напруги значно менше, ніж X, з максимумом на бічних гранях.

Висновок: Вертикальні зусилля не є домінуючими.

4.2.1.6. Епюра дотичних напруг по площині XY (S_{xy} , МПа)

Аналіз: Найбільші дотичні напруження спостерігаються у зоні переходу від тіла до робочої частини.

Висновок: Вказує на ризик зсуву в цій галузі.

Нижче наведено графічне представлення результатів аналізу:



Рисунок 4.8 – Результати аналізу

Висновки:

Аналіз напружено-деформованого стану черв'ячної фрези показав:

Конструкція в цілому має достатню жорсткість.

Основні напруги та деформації концентруються в зоні сполучення тіла та робочої частини фрези.

Можливі ризики пластичних деформацій та втомного руйнування при циклічному навантаженні.

Рекомендується посилення у місцях концентрації напруг та додаткова оптимізація геометрії.

					КНУКБР.131.25.1-11.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Для виконання токарної обробки було розроблено керуючу програму та змодельовано повний технологічний процес із використанням програмного забезпечення Autodesk FeatureCAM. Виробництво здійснюється на токарно-фрезерному обробному центрі моделі 1728С, технічні характеристики якого наведені в розділі 2.

Керування верстатом забезпечується системою числового програмного керування SINUMERIK 840D (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики системи ЧПК SINUMERIK 840D

Характеристика	Значення / Пояснення
Тип системи	Модульна, високопродуктивна система ЧПК
Процесор	Потужний промисловий процесор Siemens серії NCU (Numerical Control Unit)
Операційна система	SINUMERIK Operate на базі Windows Embedded / Linux RT
Кількість каналів управління	До 93 інтерполюючих каналів
Кількість осей	До 250 керованих осей (включаючи шпинделі)
Інтерфейси зв'язку	PROFIBUS, PROFINET, Ethernet, CAN, USB
Пам'ять програми	До 8 ГБ (в залежності від конфігурації)
Типи інтерполяції	Лінійна, кругова, гелікоїдна, NURBS
Підтримка ISO-кодування	Повна підтримка стандартного G-коду (DIN 66025)
Сумісність із CAD/CAM	Висока – інтеграція з NX CAM, SolidCAM, PowerMILL та ін.
Візуалізація	3D-графіка обробки, інтегровані екрани HMI

Функціональні можливості та особливості системи ЧПК SINUMERIK 840D: Побудована за принципом "будівельного конструктора" – можливе розширення до складних багатозадачних систем.

Цифровий привід SINAMICS S120: повна інтеграція з системою приводу забезпечує високу точність та динаміку обробки.

Можливість одночасного управління декількома технологічними процесами (фрезерування, токарна обробка, шліфування, гібридні технології).

Підтримка PLC (програмованого логічного контролера) SIMATIC S7 для автоматизації допоміжних процесів.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.05.МПОМО				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Корж			Моделювання та програмування операцій механічної обробки		Літ.	Арк.	Архів
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.							Каф. ТМ, гр. ПМ-21		
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							

Сучасний HMI – SINUMERIK Operate: інтуїтивно зрозумілий інтерфейс з підтримкою сенсорного управління, інтегрованим редактором G-кодів та візуалізацією 3D-траєкторій.

Розширені функції безпеки (Safety Integrated): контроль швидкості, положення, аварійне вимкнення, захист оператора. Можливість моделювання процесу обробки за допомогою NX Virtual Machine або SinuTrain.

Автоматична адаптація параметрів різання в залежності від навантаження, зношування інструменту, тощо.

Переваги системи ЧПК SINUMERIK 840D:

- надвисока точність та повторюваність позиціонування;
- підходить для складних 5-осьових та гібридних обробок;
- гнучкість у налаштуванні під різні типи обладнання (верстати, маніпулятори, роботизовані комплекси);
- висока надійність та промислова витривалість;
- підтримка "Індустрії 4.0" – цифрова інтеграція, віддалений моніторинг, Smart Factory.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

У ході створення керуючої програми для обробки деталі типу «Вал-шестерня» було виконано моделювання всіх етапів технологічного процесу в середовищі автоматизованого програмування FeatureCAM. З урахуванням параметрів верстата 1728C та характеристик металорізального інструменту (див. розділ 3) було розроблено оптимальну послідовність технологічних операцій та проведено перевірку обраних рішень на відповідність вимогам щодо точності, надійності та ефективності обробки.

На рисунках 5.1–5.6 наведено покрокову симуляцію обробки деталі типу «Вал-шестерня» та результати моделювання, які підтверджують доцільність обраного технологічного маршруту.

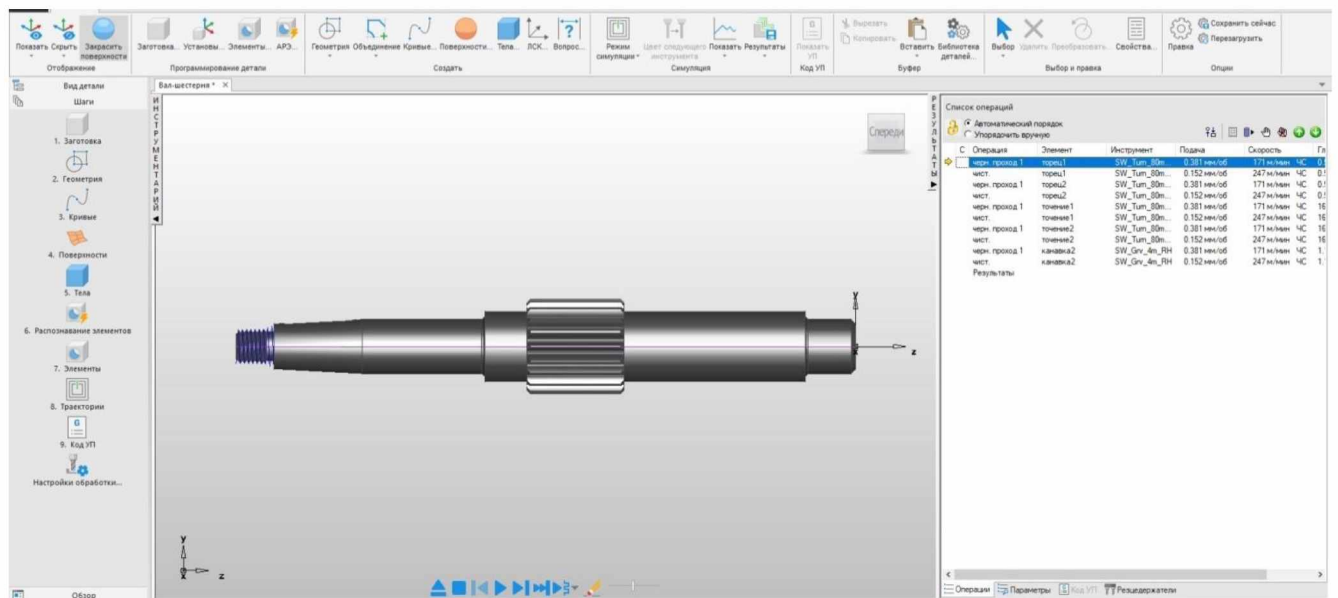


Рисунок 5.1 – Об’ємна модель деталі та етапи обробки

					КНУ.КБР.131.25.1-11.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			

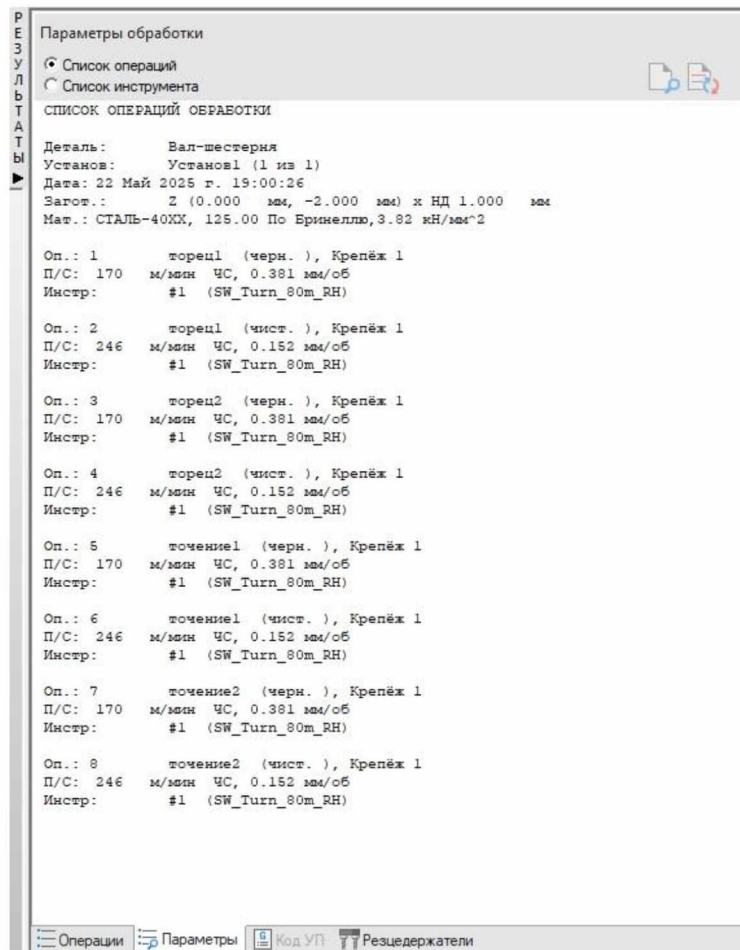


Рисунок 5.2 – Список операций обработки у FeatureCAM

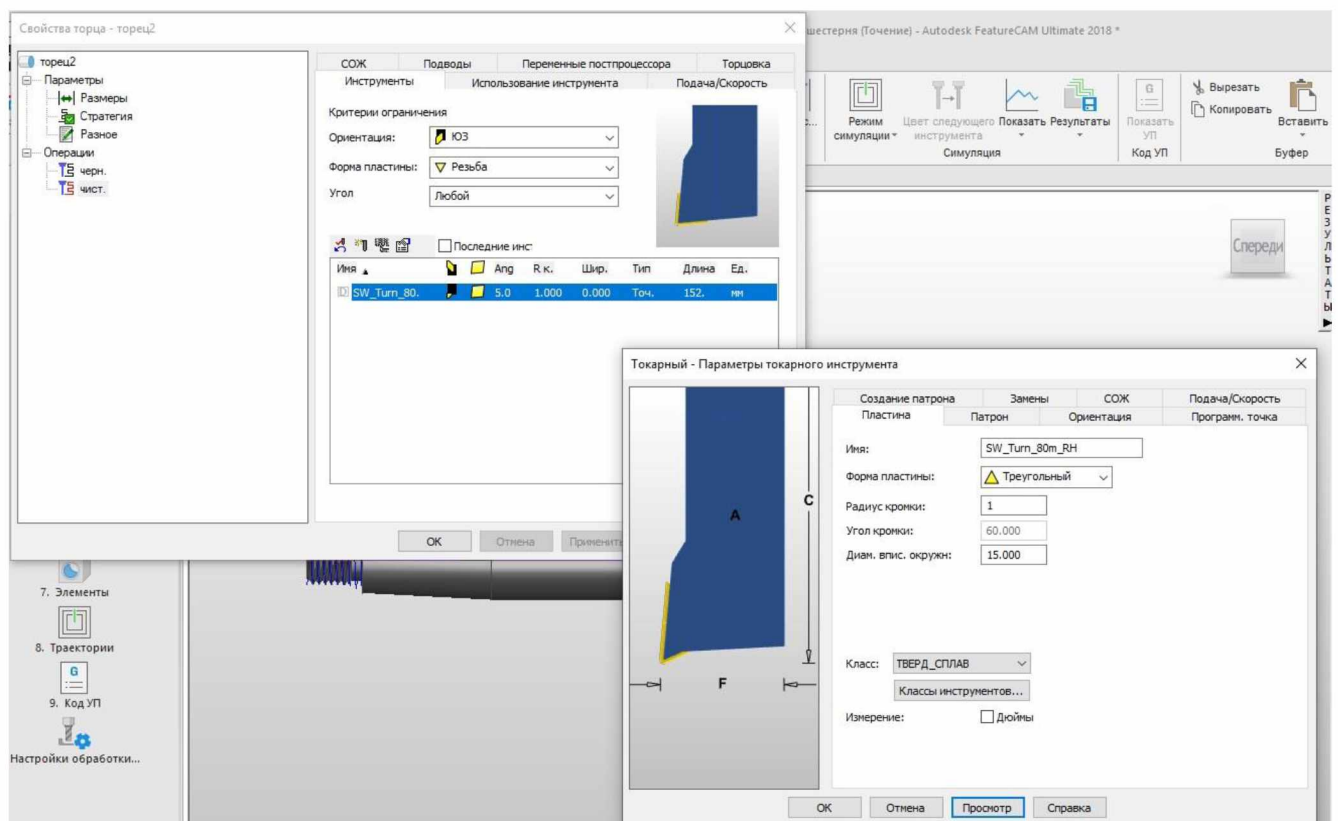


Рисунок 5.3 – Выбор резального инструмента (резец) у FeatureCAM

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.1-11.05.МПОМО				

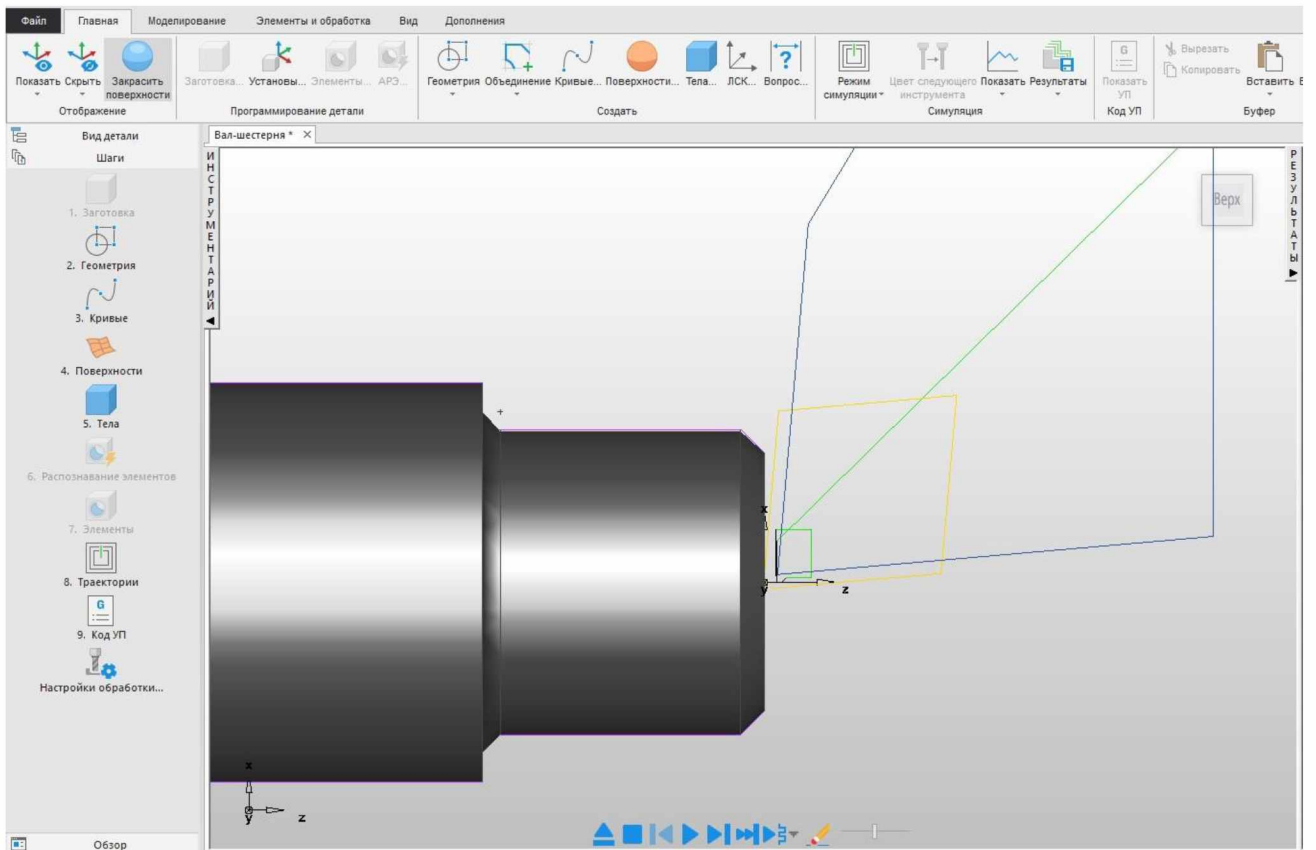


Рисунок 5.4 – Моделирование токарной обработки – подрезания торцов

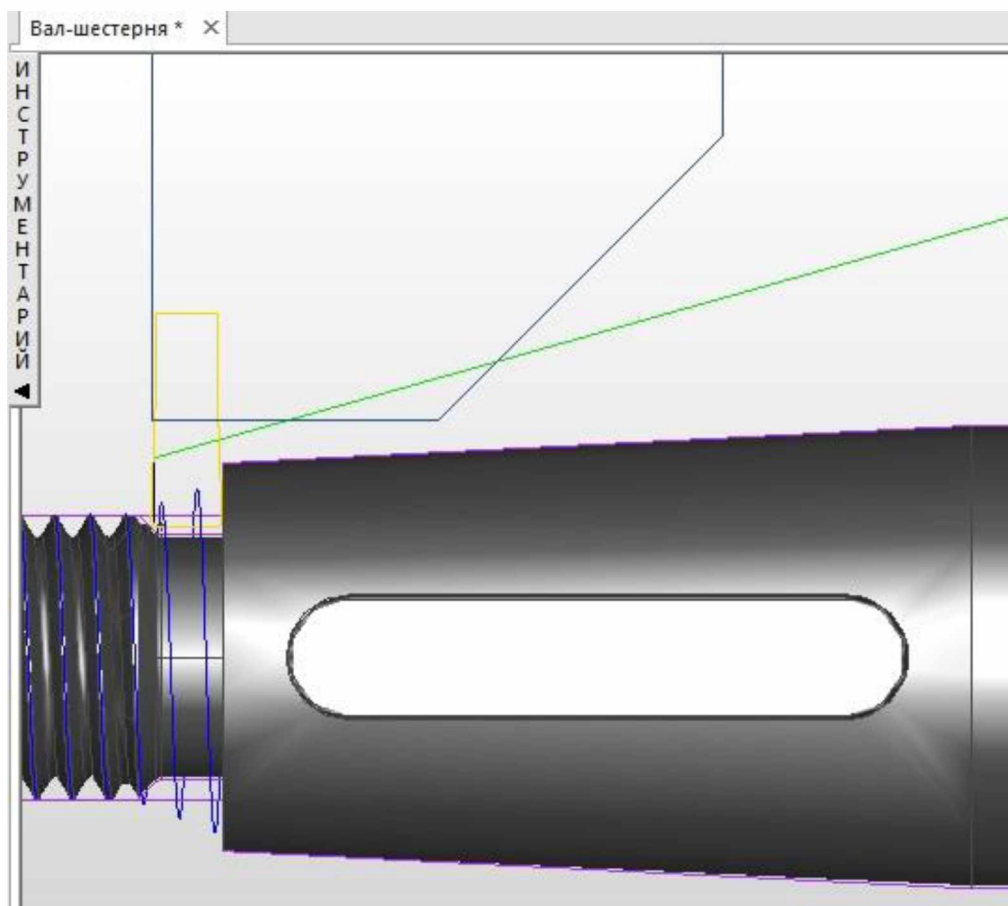


Рисунок 5.5 – Моделирование токарной обработки – точения канавки

					КНУ.КБР.131.25.1-11.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Подпис	Дата		

Код УП

P1: Верхний резцедержатель

```

%
ОВал-шестерня( FILENAME = Вал-шестерня)
N20 G20 G40
N25 G28 U0
N30 G28 W0
( OPERATION: ROUGH FACE ТОРЕЦ1 )
N40 T101
N45 G50 S3000
N50 G96 S559 M4
N55 G0 X0.1969 Z0.0039 M8
N60 G1 X-0.0787 F0.01
N65 Z0.0197
N70 X-0.0509 Z0.0336
N75 G0 Z0.1181
( OPERATION: FINISH FACE ТОРЕЦ1 )
N85 G0 X0.2756
N90 G50 S3000
N95 G96 S810
N100 G0 X0.2756 Z0.1181 M8
N105 Z0.
N110 G1 X-0.0394 F0.01
N115 X-0.0787 F0.
N120 X0.144 Z0.1114 F0.01
( OPERATION: ROUGH FACE ТОРЕЦ2 )
N130 G0 X0.1969
N135 G50 S3000
N140 G96 S559
N145 G0 X0.1969 Z0.1114 M8
N150 Z0.0039
N155 G1 X-0.0787 F0.01
N160 Z0.0197
N165 X-0.0509 Z0.0336
N170 G0 Z0.1181
( OPERATION: FINISH FACE ТОРЕЦ2 )
N180 G0 X0.2756
N185 G50 S3000
N190 G96 S810
N195 G0 X0.2756 Z0.1181 M8
N200 Z0.
N205 G1 X-0.0394 F0.01
N210 X-0.0787 F0.
N215 X0.144 Z0.1114 F0.01
( OPERATION: FINISH TURN ТОЧЕНИЕ1 )
N225 G0 X0.1969
N230 G50 S3000

```

Рисунок 5.6 – Згенерована керуюча програма по обробці деталі «Вал-шестерня»

					КНУ.КБР.131.25.1-11.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Проведено економічний аналіз і розраховано собівартість виготовлення деталі «Вал-шестерні» за двома альтернативними варіантами обробки. У межах дослідження здійснено оцінку економічної доцільності модернізації технологічного процесу шляхом заміни застарілого обладнання (верстати моделі 1А64 та 6Р13П) на сучасний токарно-фрезерний обробний центр моделі 1728С.

Результати аналізу, включно з розрахунками строку окупності модернізації, представлено у таблицях 6.1–6.4.

Таблиця 6.1 містить вихідні дані для розрахунків.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1А64	6Р13П	1728С
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	2500		2500
Кількість запусків партій деталей в рік, ц	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	47	8	31
Час наладки верстата, хв.	16	4	18
Розряд: контролера верстатника наладчика наладчика інструменту	5		5
	3	4	2
	3	3	5
	4		4
Кількість кадрів програми, шт.			300
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	3320		3320
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	33000	70000

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Корж			Організаційно- економічна підготовка виробництва			Літ.	Арк.	Аркцшів
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев						Каф. ТМ, гр. ПМ-21		

Продовження таблиці 6.1

Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	0,5	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	45	120
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_T	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.			8,9
Вартість розробки ПК $K_{ПК}$, грн.			2000
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника $H_{ст}$	130	130	130
наладчика $H_{нал}$	135	130	140
наладчика інструмента $H_{ін}$	120	120	130
контролера H_K	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	11,4	4,2	11
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,825 x 2	2,56 x 2,26	5,5 x 2,5
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			SINUMERIK 840D
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рц}$, років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	10	10	32
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини R_M	27,7	15	26,86
електротехнічної частини R_e	14	9,8	20,8
Кількість верстатів, що обслуговує один	1	1	2

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Оптова ціна верстата Ц, грн.	290000	175000	1345000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,7	0,3	0,95
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	11,7	5,8	13,7
Площа пристрою ЧПК А _у , м. кв.			0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.			
механічної частини Н _м	401	401	272
електротехнічної частини Н _е	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	2,5	2,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата Ф _{об} , год	3975	3975	3845
Виробничі та інші площі			
Вартість 1 м. кв. площі механічної Ц _{пл.зд} , грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Ц _{сл. поб} , грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого А _б , м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Н _{пл} , грн.	180	180	200

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	1A64	6P13П	1728C
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	400	333,3333	1350
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,333333	1,333333	6
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0,00	3,851852	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	33,2	27,66667	112,05
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,22	0,18	0,36
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0007	0,0032
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0,0000	0,002071	0,01075
(дійсна)	0	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,02	0,015	0,06
(дійсна)	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,19
(дійсна)	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	6		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,18	0,2806	0,37

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей											
$C = I_3 + I_n + I_{in} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k$											
де I_3 – зарплатня верстатника; I_n – зарплатня за наладку верстата; I_{in} – зарплатня налагоджувальника інструмента поза верстатом; $I_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми; $I_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань; $I_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних I_a – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання; $I_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат; $I_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень; I_r – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; I_y – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; I_k – зарплатня контролера											
										C_1 на деталь = 98,76	
										C_2 на деталь = 98,27	
I_3	I_n	I_{in}	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k
$C_1 = 156939 + 1404,75 + 462,22 + 0,00 + 30986,7 + 0 + 2296,80 + 1676,13 + 42000 + 4140,7 + 0 + 6999,67 =$										246906,05	
$C_2 = 145851 + 1320,88 + 234,00 + 666,67 + 26133,3 + 0 + 14114,43 + 3024,00 + 35000 + 5715,8 + 723,89 + 12885,75 =$										245669,79	
Капітальні вкладення споживача											
$K = K_6 + K_{зд} + K_{сл} + K_{нез} + K_{пр} + K_{п.у.}$											
де K_6 – балансова вартість верстата, грн; $K_{зд}$ – вартість приміщення, яке займає верстат, грн.; $K_{сл}$ – вартість службово-побутових приміщень, грн.; $K_{нез}$ – обігові кошти в незакінченому виробництві, грн.; $K_{пр}$ – вартість комплексу спеціальних пристосувань, які використовуються на верстатах при обробці деталей, грн.; $K_{п.у.}$ – витрати на створення керуючої програми (КП), грн.											
K_6	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$						
$K_1 = 111444 + 4656 + 42000 + 582031 + 83000 + 0 =$						823130					
$K_2 = 266310 + 4394 + 28000 + 454833 + 70000 + 2000 =$						825537,33					

Таблиця 6.4 – Показники приведених витрат, річного економічного ефекту та терміну окупності

Приведені витрати			
$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$			
370376	246906	0,15	823130
$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$			
369500	245670	0,15	825537

Річний економічний ефект		
$E = Z_1 - Z_2$		
875	370376	369500

Строк окупності			
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$			
1,95	825537	823130	246906 245669,8

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

За результатами аналізу встановлено, що заміна двох технічно та морально застарілих верстатів на один сучасний ЧПК-центр дозволяє суттєво скоротити час обробки деталей. Запропоновані заходи модернізації є економічно доцільними: очікуваний строк окупності становить 1,95 року, а річний економічний ефект – 875 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при токарних операціях

У сучасних умовах розвитку промисловості особлива увага приділяється не лише ефективності виробничих процесів, а й їх впливу на довкілля та безпеку праці. Одним із поширених видів механічної обробки є токарні операції, що використовуються в металообробці, машинобудуванні, авіації, суднобудуванні та інших галузях. Незважаючи на технічний прогрес і автоматизацію, робота на токарних верстатах залишається джерелом підвищеної небезпеки та екологічного навантаження.

Актуальність теми полягає в необхідності забезпечення сталого розвитку виробництва шляхом впровадження технологій, що зменшують негативний вплив на навколишнє середовище та покращують умови праці. У цьому рефераті розглянуто основні джерела екологічного забруднення під час токарних операцій, а також організаційні та технічні заходи, спрямовані на охорону праці.

6.2.1 Екологічні аспекти токарного виробництва

Токарні верстати здійснюють обробку металів шляхом різання, що супроводжується утворенням відходів, викидів і використанням хімічних речовин. Основними екологічними проблемами є:

Металева стружка: при обробці утворюється значна кількість стружки, яка при неправильній утилізації може забруднювати довкілля. Її збір, сортування та вторинна переробка дозволяють мінімізувати шкоду.

Мастильно-охолоджувальні рідини (МОР): ці речовини використовуються для зменшення тертя й охолодження заготовок, однак містять шкідливі компоненти (наприклад, мінеральні масла, емульгатори), що можуть потрапляти в повітря або ґрунтові води.

Шум і вібрація: постійна дія високого рівня шуму впливає не тільки на працівників, а й на мікрофлору та фауну в прилеглих районах.

Енергоспоживання: токарне виробництво потребує значної кількості електроенергії, що може збільшувати вуглецевий слід підприємства, якщо енергія отримується з традиційних джерел.

6.2.2 Шляхи мінімізації екологічного навантаження

Для зменшення шкідливого впливу на довкілля застосовуються наступні заходи:

- встановлення систем аспірації та фільтрації повітря;
- використання екологічно безпечних або біорозкладних МОР;

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

- застосування замкнених циклів використання води та охолоджувальних рідин;
- впровадження енергозберігаючих технологій;
- регулярний моніторинг стану повітря, води та ґрунтів на території виробництва.

6.2.3 Охорона праці при виконанні токарних операцій

Умови праці токаря часто пов'язані з високими фізичними й технічними ризиками. Основні джерела небезпеки:

- обертові частини верстата можуть спричинити затягування одягу або травми;
- гострі деталі та стружка можуть стати причиною порізів або поранень;
- електричне обладнання може спричинити ураження струмом при неправильній експлуатації;
- контакт із шкідливими рідинами та випарами призводить до подразнень шкіри та органів дихання.
- для зменшення цих ризиків впроваджуються:
- засоби індивідуального захисту (ЗІЗ): окуляри, рукавички, комбінезони, протишумні навушники;
- навчання персоналу з техніки безпеки та регулярні інструктажі;
- використання сучасних, надійних верстатів з аварійними вимикачами;
- організація вентиляції та освітлення на робочому місці;
- системи контролю доступу до обладнання та блокування у разі несправностей.

Токарне виробництво є невід'ємною складовою індустріального розвитку, проте супроводжується низкою екологічних і виробничих ризиків. Розв'язання екологічних проблем можливе лише за умови впровадження інноваційних технологій, модернізації обладнання та системного підходу до управління відходами. Водночас, охорона праці має стати пріоритетом кожного підприємства, де виконується токарна обробка, оскільки від неї залежить не лише здоров'я працівників, а й ефективність усього виробничого процесу.

Таким чином, інтеграція принципів сталого розвитку, екологічної безпеки та культури праці забезпечує ефективну роботу токарного виробництва в умовах сучасних викликів.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було комплексно розроблено та обґрунтовано конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення деталі «Вал-шестерня», що є ключовим елементом циліндричного редуктора РМ-250. Застосування сучасних САПР-технологій дозволило підвищити ефективність проектування, забезпечити точність розрахунків і оптимізувати виробничі процеси.

У першому розділі було проведено аналіз вихідних даних, вивчено конструктивні особливості валу-шестерні, визначено його функціональне призначення у складі редуктора, а також виконано розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання, що гарантує надійність його експлуатації.

У другому розділі проаналізовано службові функції деталі, проведено експертну оцінку якості оброблених поверхонь, розроблено технологічний процес виготовлення із застосуванням сучасного обладнання – токарно-фрезерного обробного центру 1728С, що забезпечує високу продуктивність та гнучкість виробництва.

Третій розділ присвячено обґрунтованому вибору типів основних і допоміжних різальних інструментів від провідних виробників (Seco, MITSUBISHI), розрахунку параметрів їх різальної частини, а також оцінці міцності інструменту, що дозволяє уникнути його передчасного зношення і аварійних ситуацій під час обробки.

У четвертому розділі здійснено проектування спеціального інструменту – черв'ячної фрези для нарізання зубчастих поверхонь, проведено її інженерний аналіз у середовищі SolidWorks Simulation, що дало змогу оцінити напружено-деформований стан і забезпечити її працездатність у реальних умовах навантаження.

П'ятий розділ охоплює моделювання та програмування механічної обробки деталі типу «Вал-шестерня» в середовищі Autodesk FeatureCAM. Була змодельована токарна обробка з урахуванням параметрів верстата 1728С, що підтвердило практичну реалізованість технологічного процесу.

У шостому розділі виконано техніко-економічні розрахунки, які свідчать про доцільність впровадження розробленої технології: строк окупності інвестицій становить 1,95 роки, економічний ефект – 875 грн на одиницю продукції. Також приділено увагу екологічним аспектам та питанням охорони праці під час токарних операцій, що відповідає вимогам сталого виробництва.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що розроблена система підготовки виробництва деталі «Вал-шестерня» є технічно обґрунтованою, економічно доцільною та адаптованою до умов сучасного машинобудівного виробництва. Отримані результати можуть бути впроваджені у виробничий процес для підвищення ефективності, якості та конкурентоспроможності продукції.

					КНУ.КБР.131.25.1-11.В						
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата							
Розроб.		Карж			Висновки				Літ.	Арк.	Арх-шіт
Перевір.		Рязанцев									
Реценз.											
Н. контр.		Нечаєв									
Зав. каф.		Рязанцев									
					Каф. ТМ, гр. ПМ-21						

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту: Учебное пособие – М.: Машиностроение, 1990. – 448с.
2. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної випускної роботи бакалавра для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми Прикладна механіка усіх форм навчання. Укладачі: Кіяновський М.В., Нечаєв В.П., Пікільняк А.В., Цивінда Н.І., Бондар О.В., Рязанцев А.О., Кравцова Д.Ю. 2022. Кривий Ріг, КНУ.
3. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.
4. Електронний каталог «Seco» Turning, 2015р.
5. Електронний каталог «MITSUBISHI» Milling, 2015р.
6. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.
7. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення
8. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.
9. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.
10. Каталог інструментів фірми SUMITOMO: «Токарна обробка», 2015р.
11. Каталог допоміжного інструменту фірми EROGLU.
12. ДСТУ ISO 2768-1-2001. Основні допуски. Частина 1. Допуски на лінійні та кутові розміри без спеціального позначення допусків (ISO 2768–1:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2002. – 10 с.
13. ДСТУ ISO 2768-2-2001. Основні допуски. Частина 2. Допуски геометричні для елементів без спеціального позначення допусків (ISO 2768–2:1989, IDT). [Чинний від 2003-01-01] – К. :Держстандарт України, 2001. – 15 с.
14. ДСТУ ISO 286-1-2002. Допуски і посадки за системою ISO. Частина 1. Основи допусків, відхилень та посадок (ISO 286–1:1988, IDT). [Чинний від 2003-10-01] – К. :Держспоживстандарт України, 2003. – 37 с.
15. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-11.СВД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Список використаних джерел</i>		
Розроб.	Карж						
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. Контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев				<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>		

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 з використанням САПР технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-21

(підпис)

Ігор КОРЖ

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

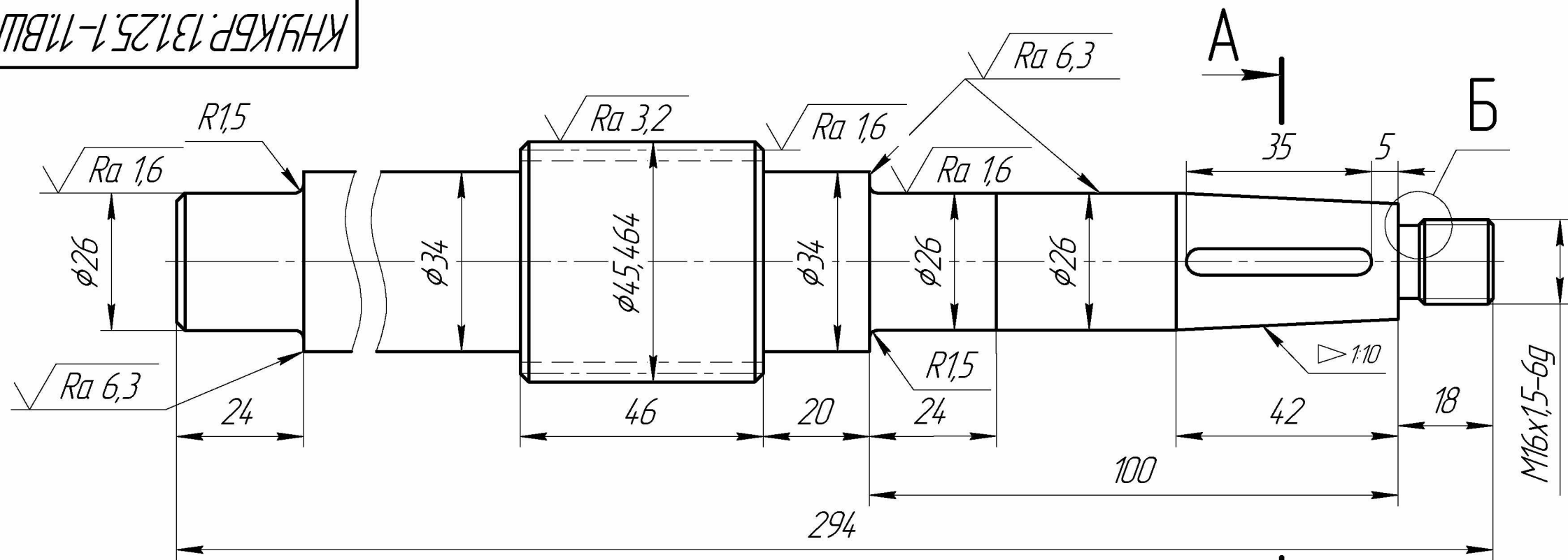
Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

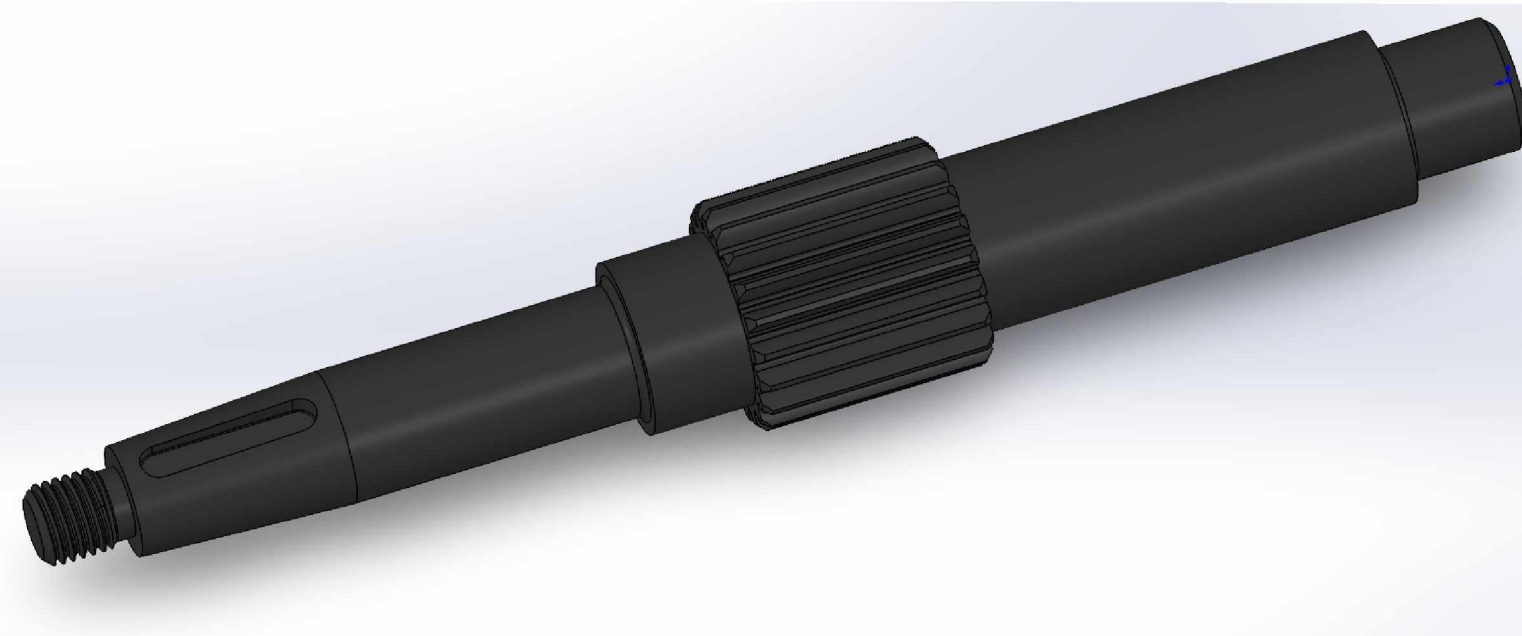
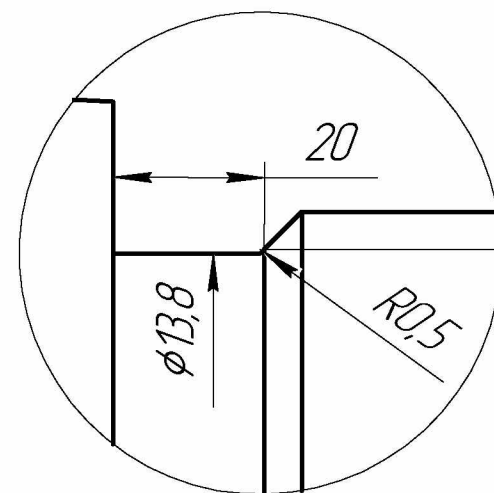
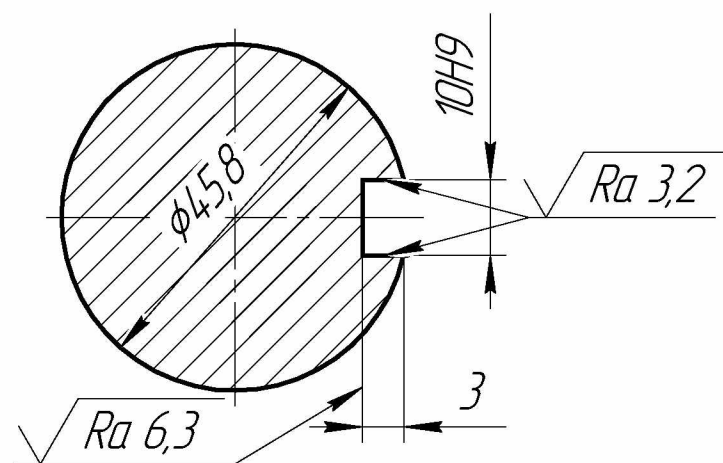
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2025 р.



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

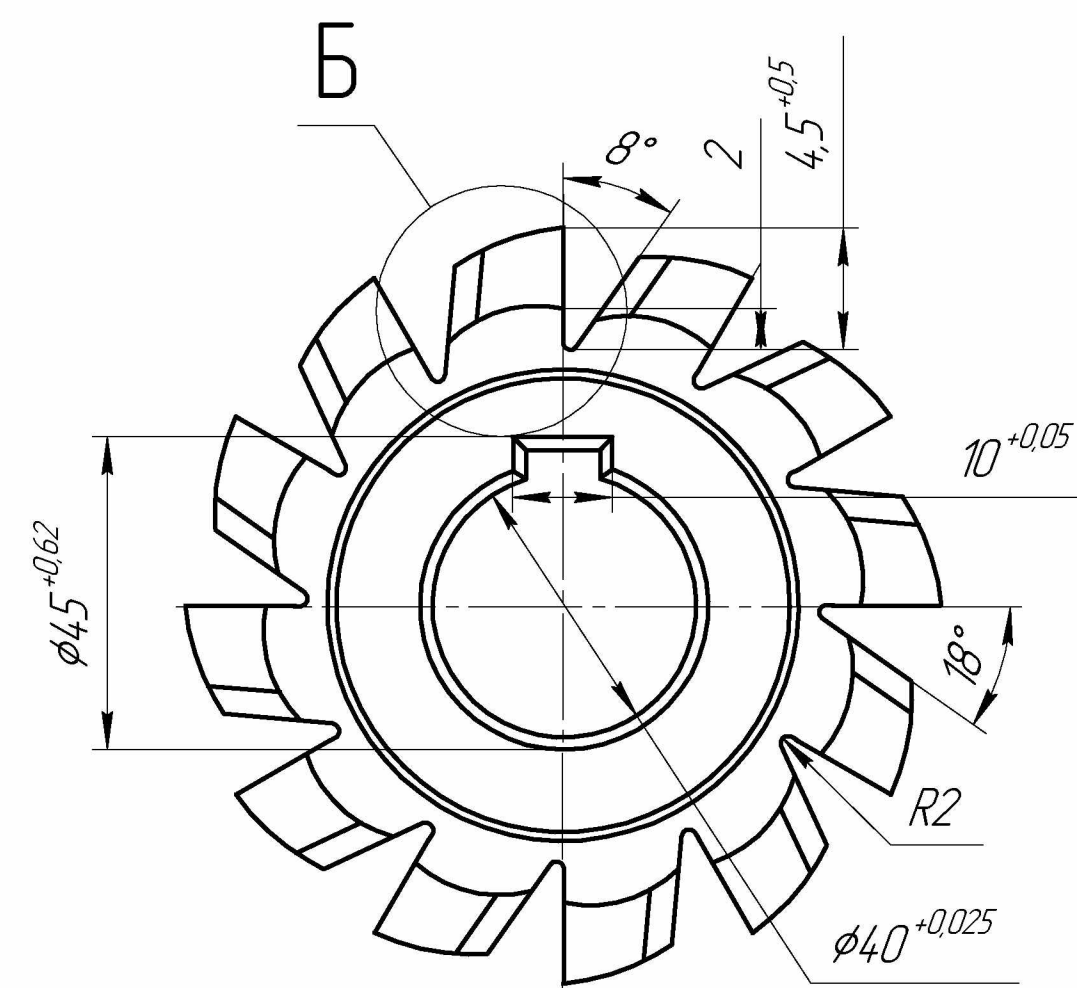
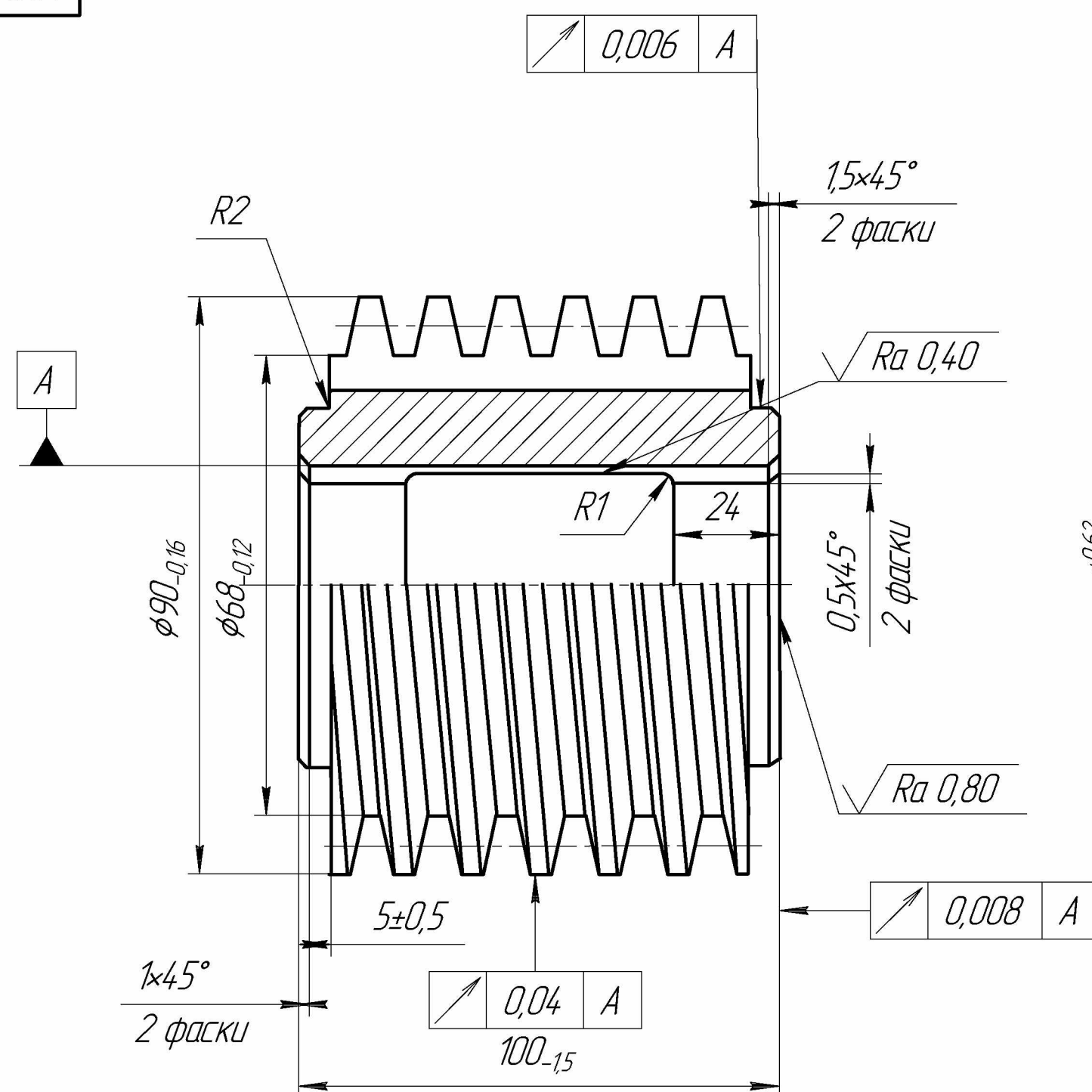
Модуль	m	2
Число зубів	z	20
Кут нахилу зуба	β	$8^{\circ}6'34''$
Напрямок зуба	–	лівий
Коефіцієнт зміщення	x	0,265
Ступінь точності	–	8–В
Товщина зуба по постійній хорді	S_c	3,115
Висота зуба по постійній хорді	h_c	1,963
Дільний діаметр	d	40,404


$$A - A(2:1)$$
$$B(5:1)$$


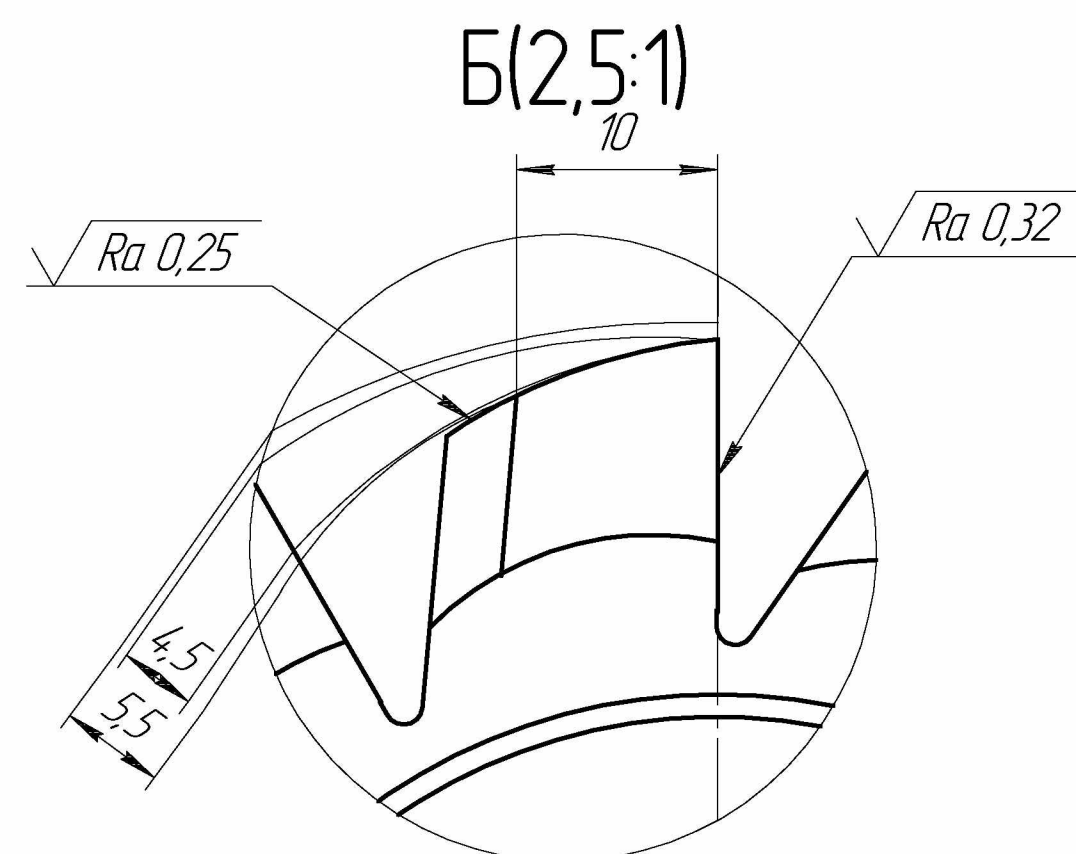
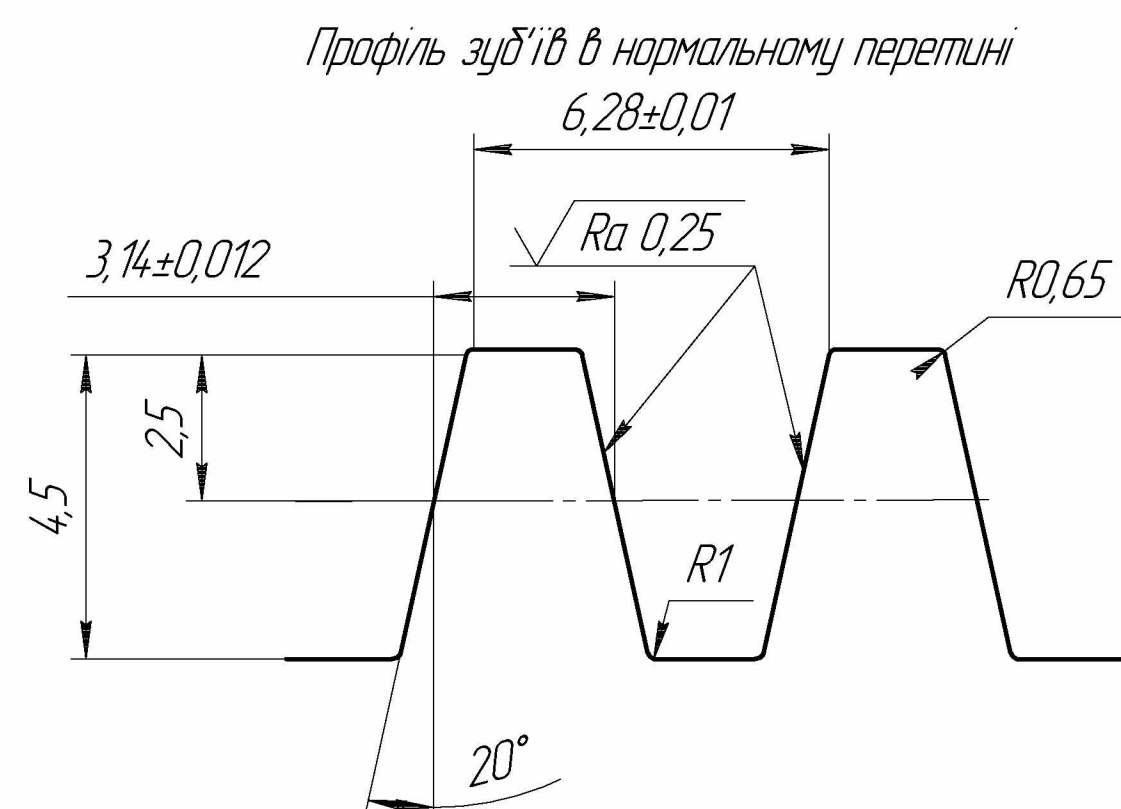
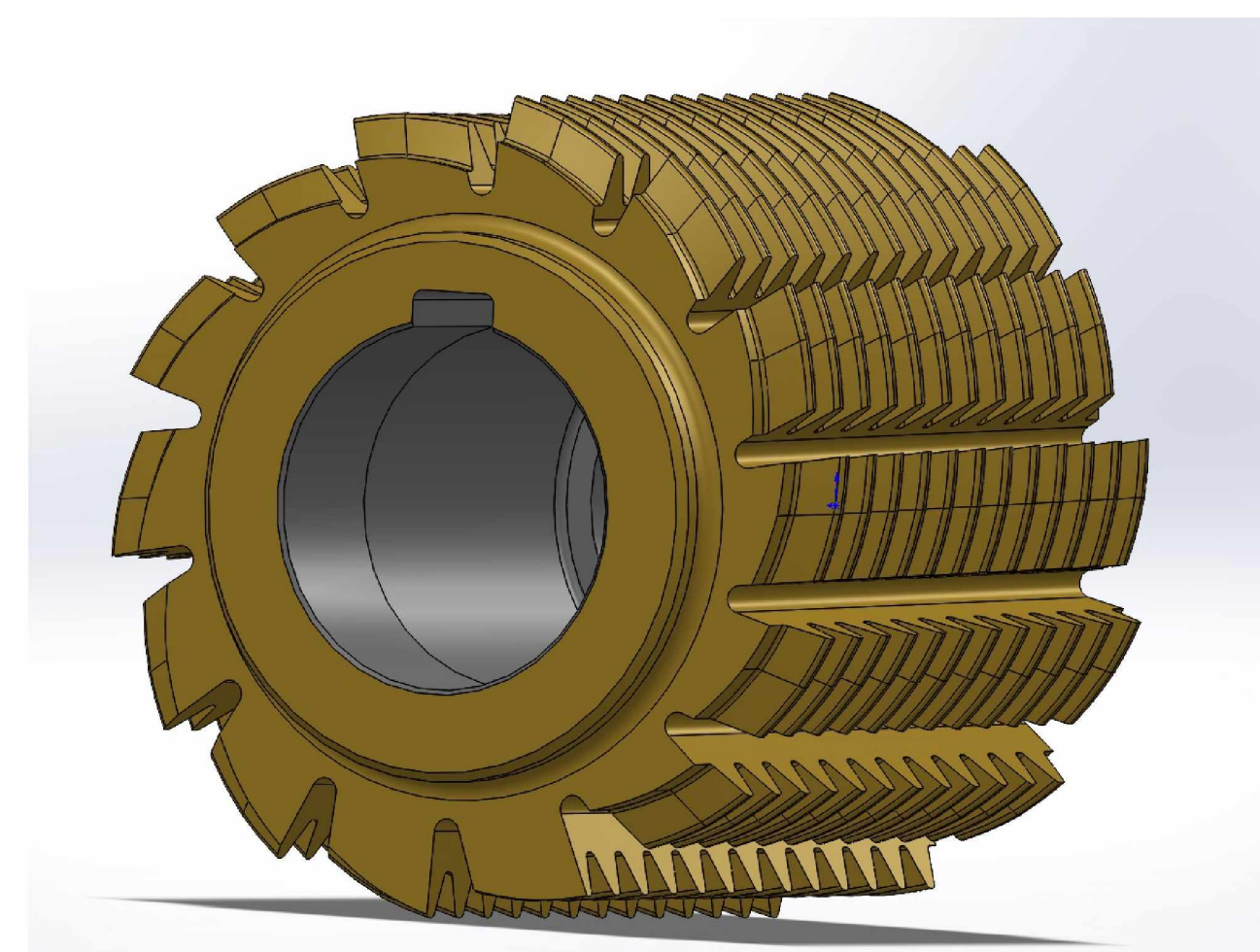
1 Зуду: ТВЧ h0,8...1,2mm, HRC 40...50.

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

					КНУ.КБР.131.25.1-11.ВШ			
					Вал-шестерня	Лім.	Маса	Масштаб
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Н	1,6	1:1
Розробив	Карж					Лист	Листів 1	
Керівник	Рязанцев					Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Н.контр.	Нечаєв				Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015			
Затв.	Рязанцев							



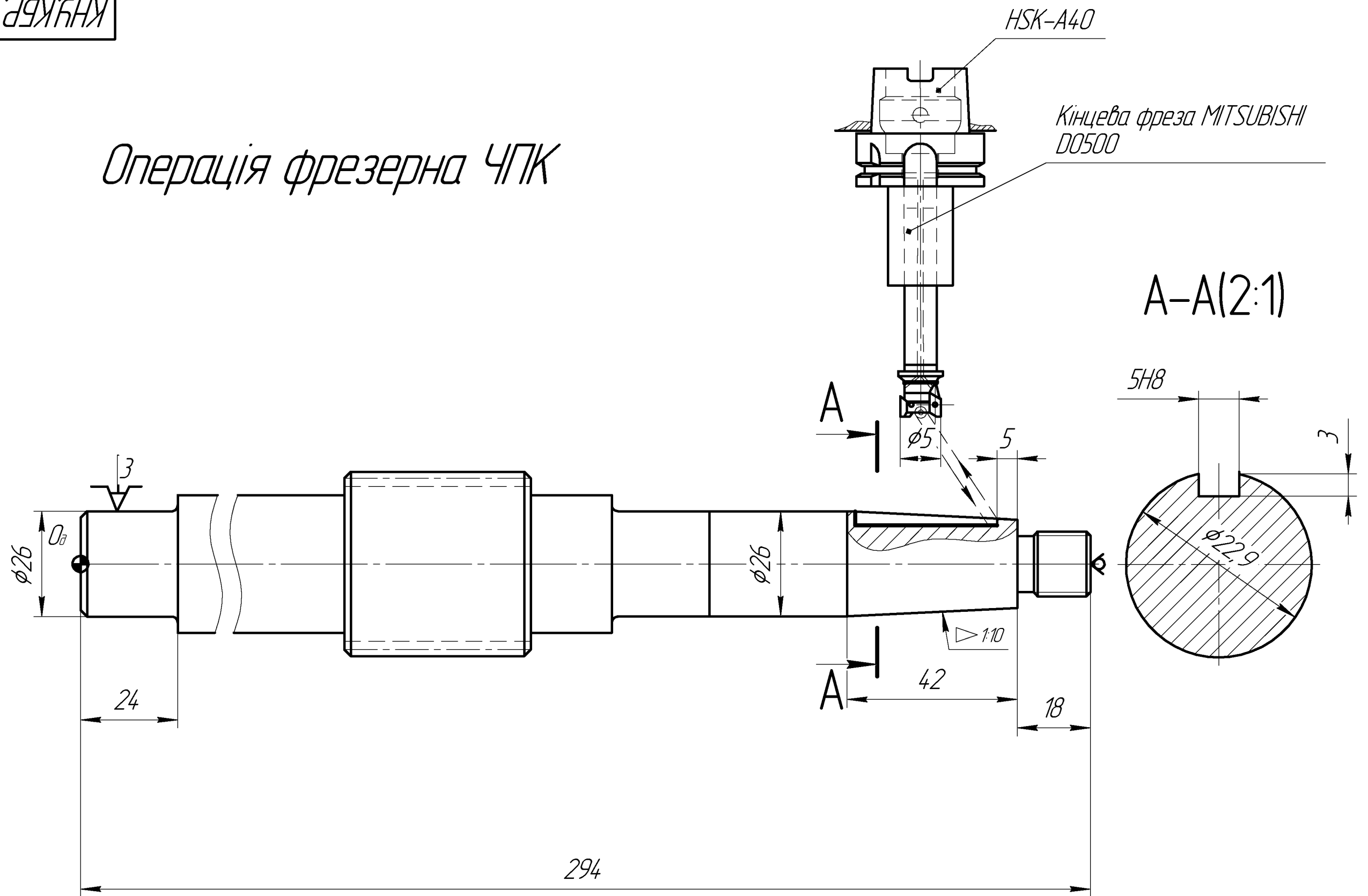
Модуль	2
Кут профіля	8°6'34"
Кут підйому гвинтових ліній	18°
Число стружкових канавок	8
Число заходів фрези	1
Напрямок витків фрези	правий
Крок по висі (заходу)	6,28
Крок по нормалі	3,14
Напрямок гвинтових стружкових канавок	лівий



1. Матеріал корпусу фрези – сталь 40Х ДСТУ 7806:2015.
2. Твердість корпусу HRC 32...47
3. Невказані граничні відхилення $H14$, $h14$, $\pm \frac{IT14}{2}$.
4. Маркувати індекс, m , α , матеріал.

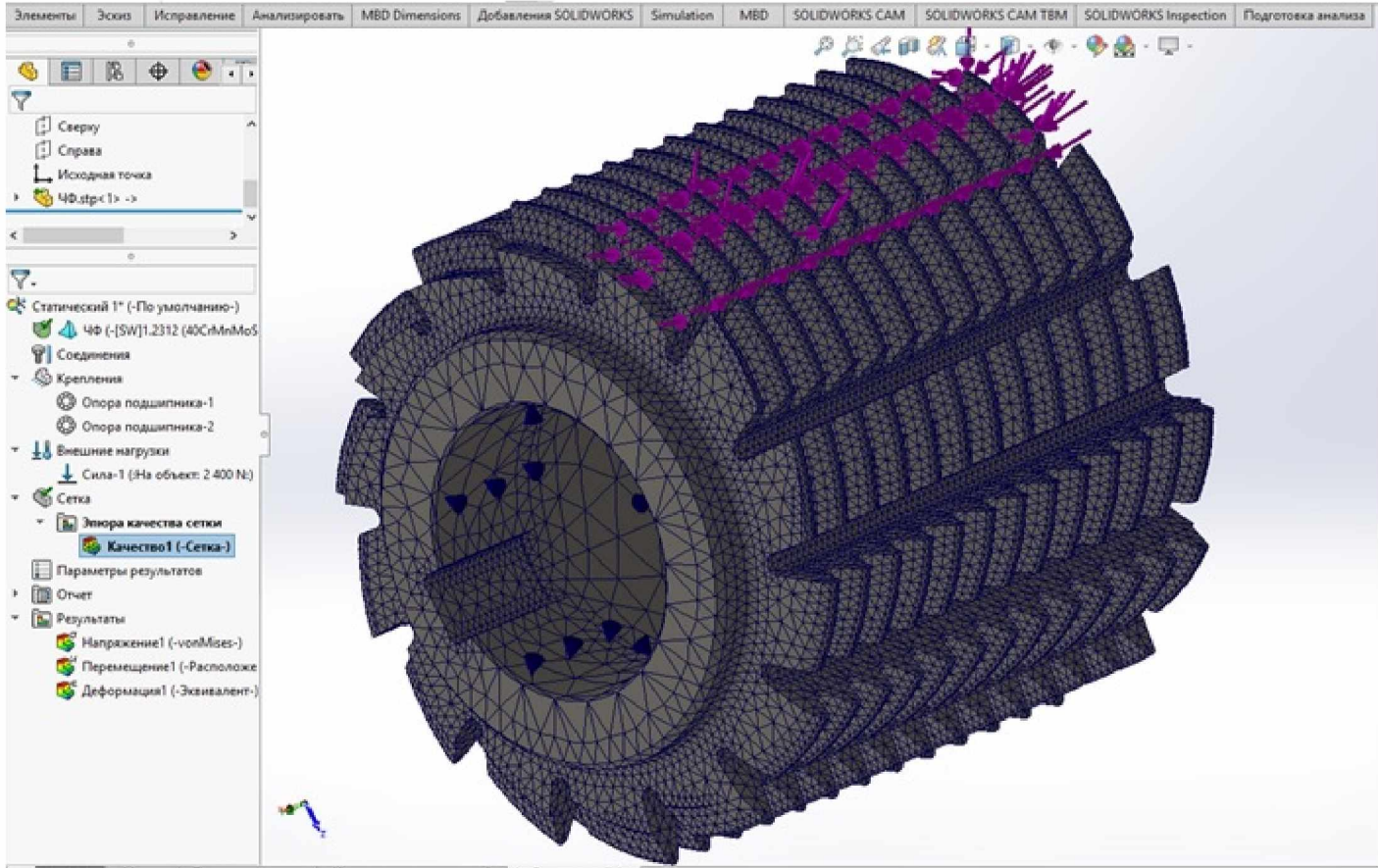
						КНУ.КБР.131.25.1-11.Ф4					
						Фреза черв'ячна			Лит.	Маса	Максимальна
ЗМ.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата							1:1
Розробив	Корж										
Керівник	Рязанцев								Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечасов					Сталь Р6М5 ISO 11054			Кафедра ТМ		
Затв.	Рязанцев								гр. ПМ-21		

Операція фрезерна ЧПК

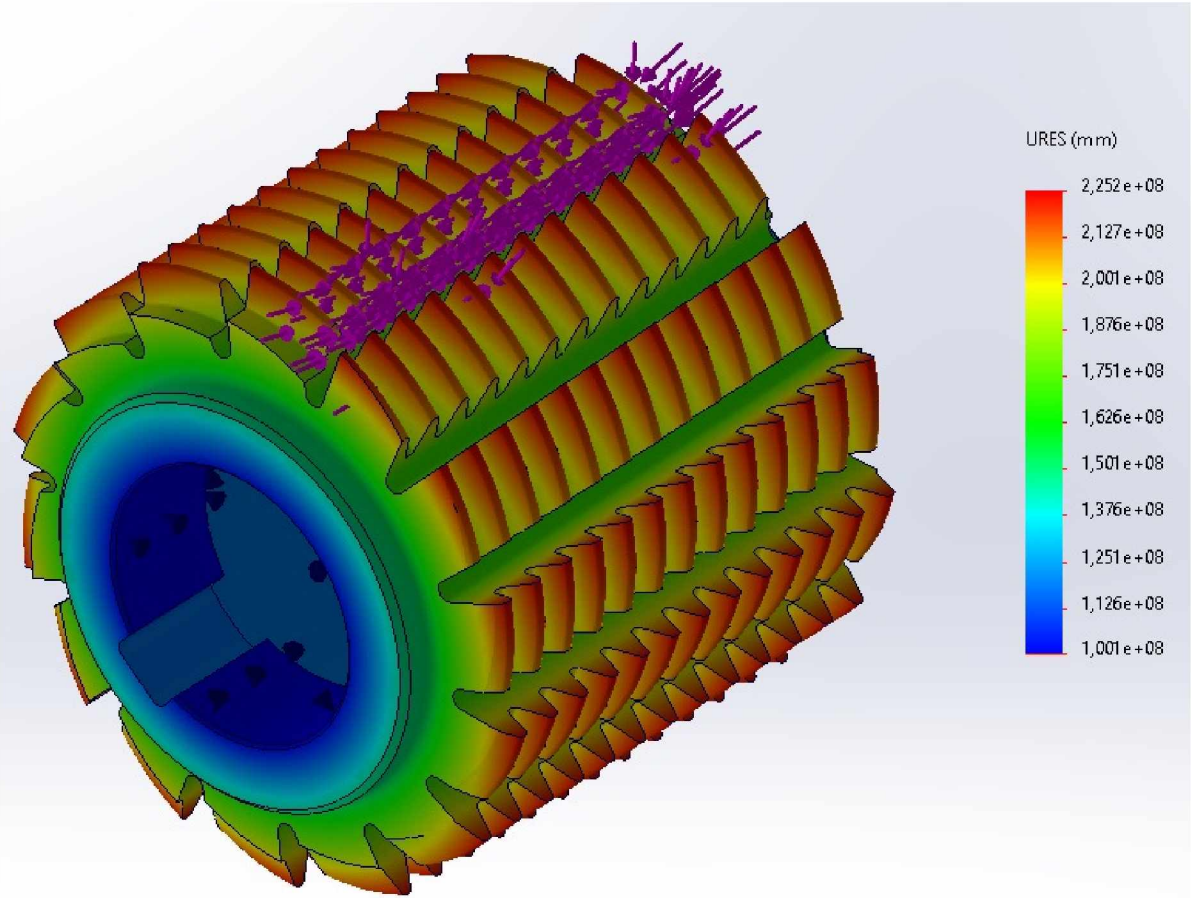


					КНУ.КБР.131.25.1-11.ВІН			
					Верстатно-інструментальне налагодження	Лім.	Маса	Масштаб
						Н		1:1
						Лист	Листів 1	
						Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Карж							
Керівник	Рязанцев							
Н.контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							

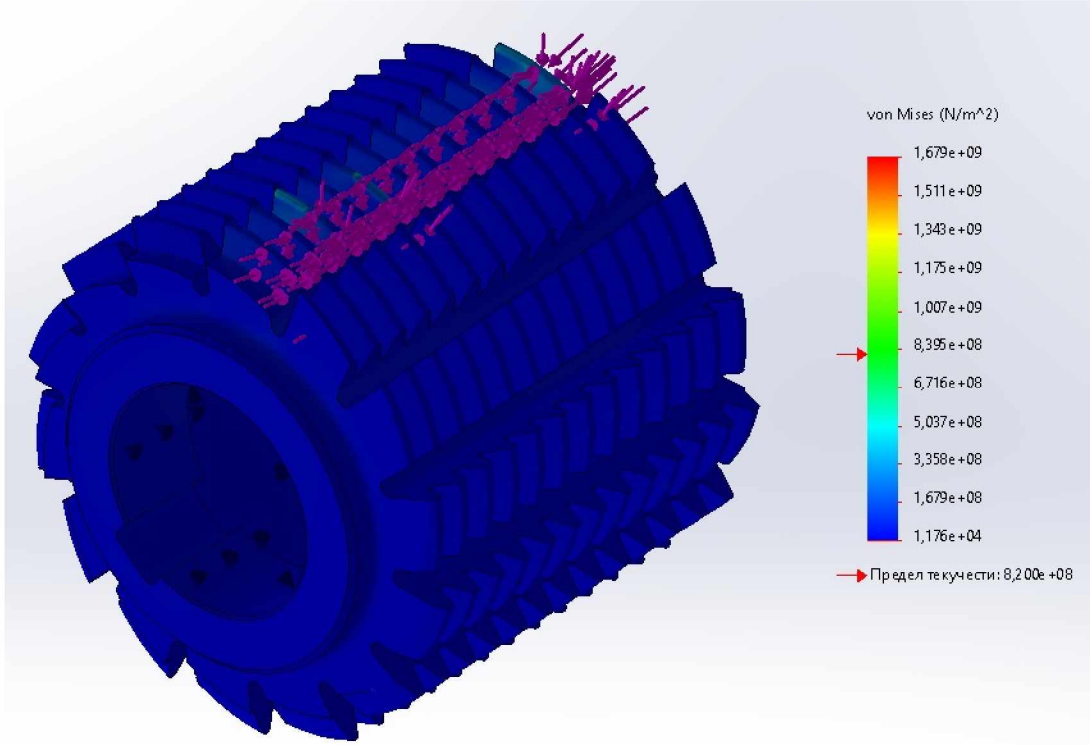
Сітка кінцевих елементів у SolidWorks Simulation



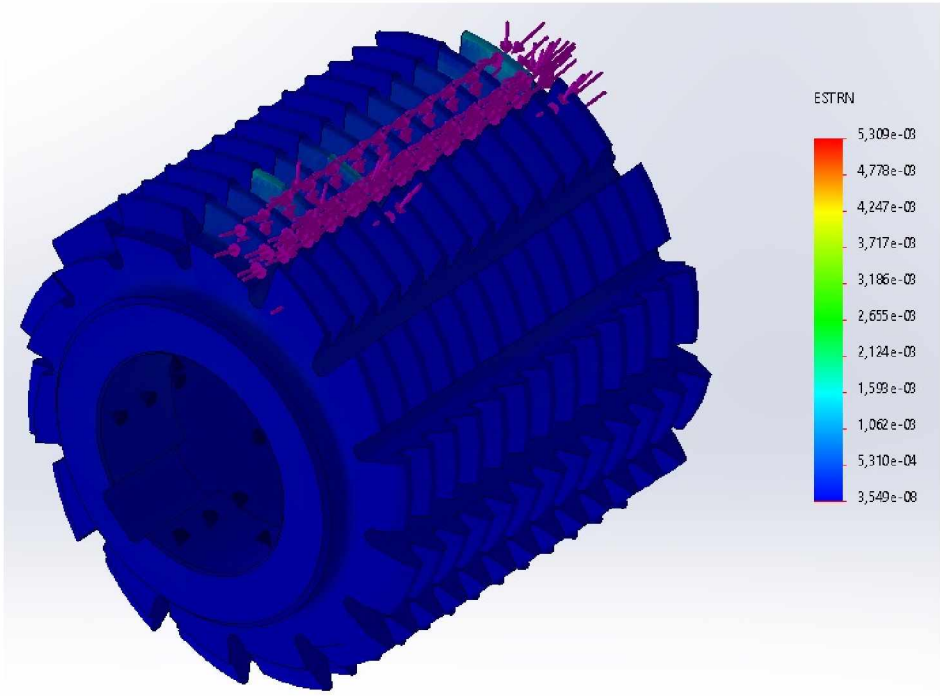
Симуляція «Переміщення» в SolidWorks Simulation



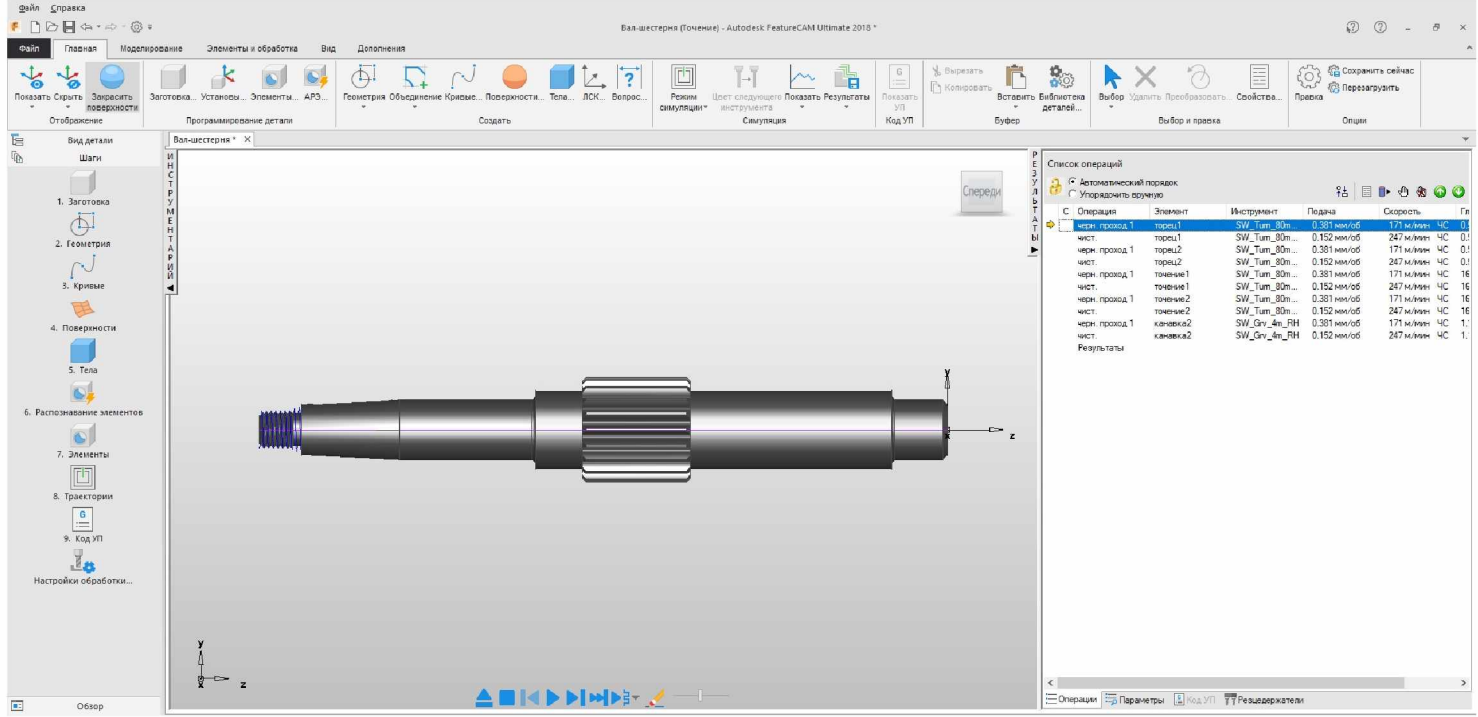
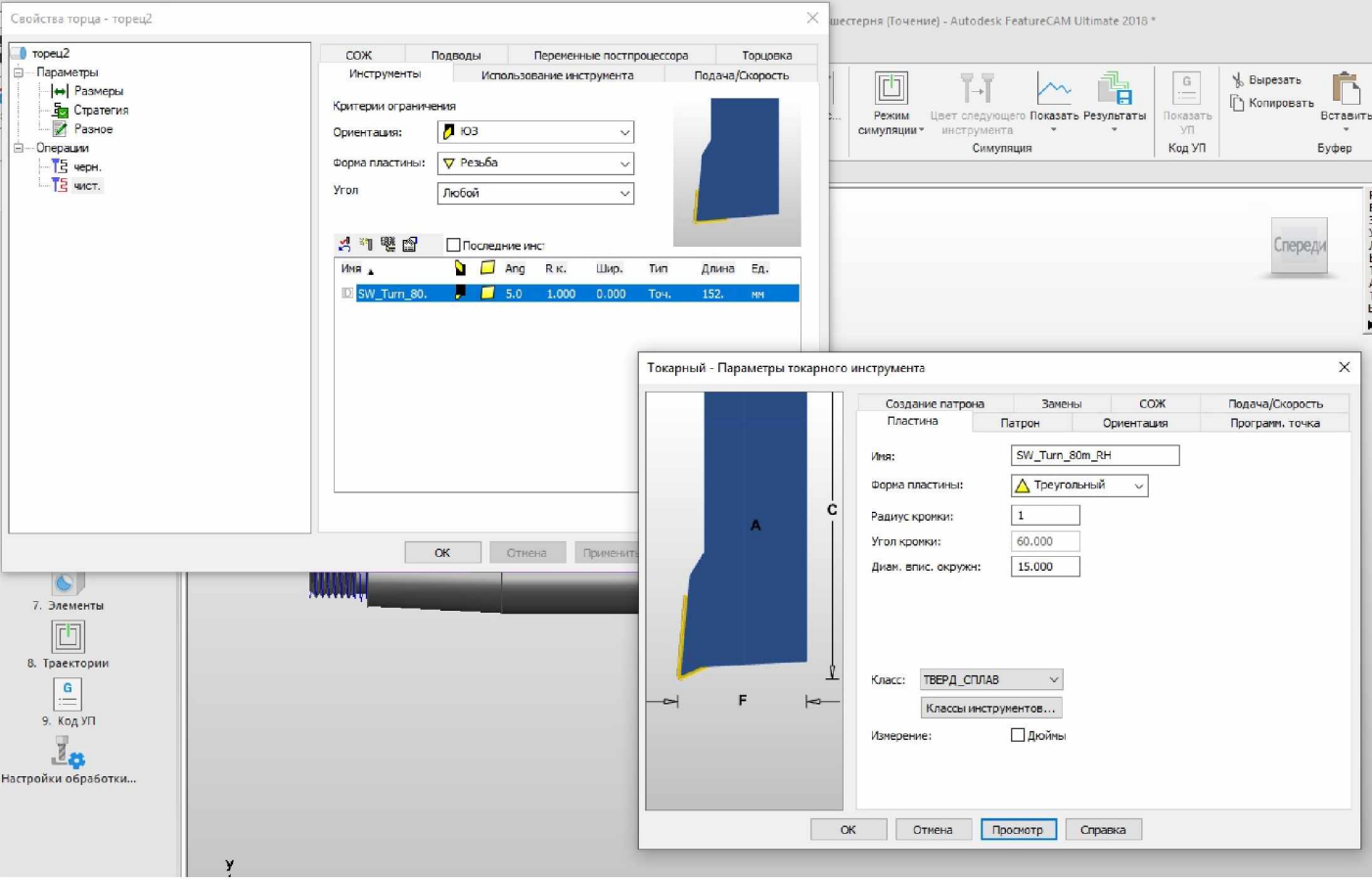
Симуляція «Напруження» в SolidWorks Simulation



Симуляція «Деформація» в SolidWorks Simulation



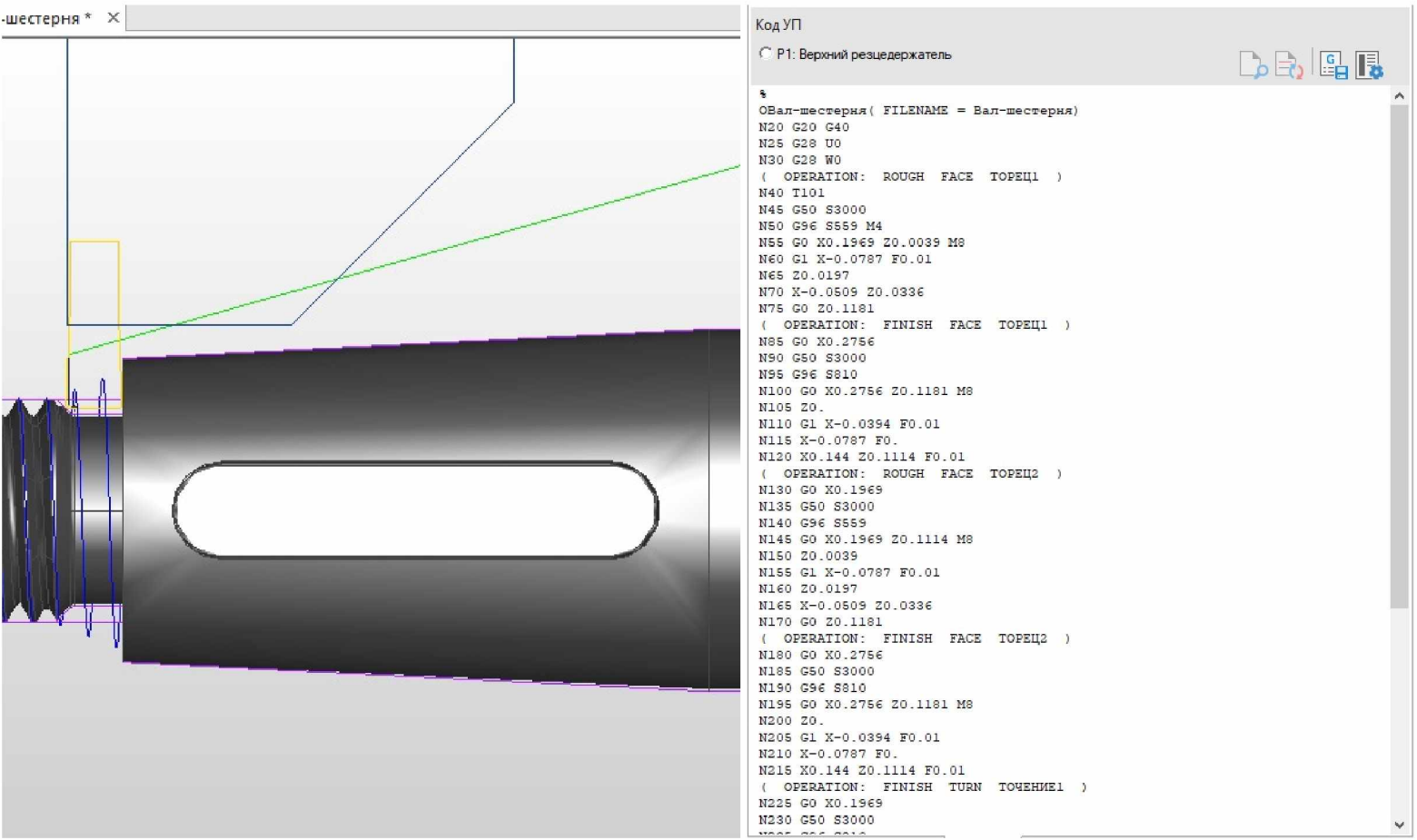
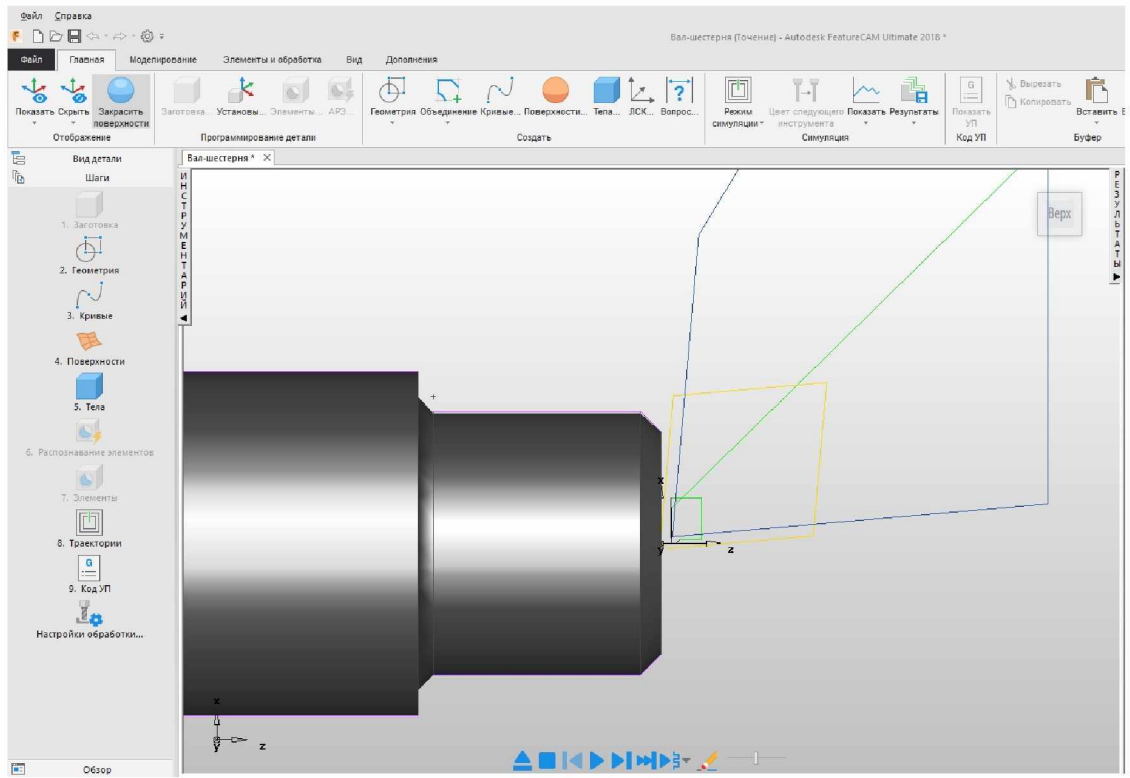
					КНУ.КБР.131.24.1-01.ІАСРІ			
					Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Літ.	Маса	Масштаб
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата			Н		
Разробив	Корж					Лист	Листів	1
Керівник	Рязанцев					Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Н.контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							



Фрагмент моделирования процесса обработки детали (точения канавки)

Фрагментом управляющей программы

Фрагмент моделирования процесса обработки детали (подрезания торца)



						КНУ.КБР.131.25.1-11.МПМО					
						Моделювання процесу механічної обробки			Літ.	Маса	Масштаб
									Н		
									Лист	Листів	1
									Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата								
Розробив	Корж										
Керівник	Рязанцев										
Н.контр.	Нечаєв										
Затв.	Рязанцев										