

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Шестерня» та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

Виконав: здобувач групи ПМ-22
Осташко В.Д.

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

Кривий Ріг
2026 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь
деталі «Шестерня» та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Владислав ОСТАШКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

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

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

(дата)

(підпис)

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну бакалаврську роботу**

Здобувача групи ПМ-22 Осташко Владислава Денисовича

1. Тема: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Шестерня» та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-систем

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

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

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

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

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

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Шестерня. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Довбач. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2026
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	01.03.2026
3.	Призначення об'єкту виробництва	03.03.2026
4.	Аналіз технологічності деталі.	10.03.2026
5.	Креслення деталі (А1-А4).	18.03.2026
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2026
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2026
8.	Вибір параметрів різальної частини інструментів.	12.04.2026
9.	Розрахунок конструктивних параметрів різальної частини інструменту.	19.04.2026
10.	Вибір розмірів різального інструменту.	25.04.2026
11.	Креслення спеціального різального інструменту (А2-А4).	01.05.2026
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	04.05.2026
13.	Вибір допоміжних інструментів.	08.05.2026
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2026
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2026
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	22.05.2026
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2026
18.	Висновки	01.06.2026
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2026
20.	Попередній захист	15.06.2026

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2026 р.

Завдання видав керівник КБР

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти

/Осташко В.Д./

[illegible]

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 52 стор., 37 рисунок, 12 таблиць, 5 листів графічної частини.

Тема кваліфікаційної бакалаврської роботи присвячена розробці спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Шестерня» та проведенню його інженерного аналізу із застосуванням сучасних систем автоматизованого інженерного аналізу (CAE). У роботі передбачається обґрунтування конструктивних параметрів інструменту, дослідження його напружено-деформованого стану та оцінювання працездатності за допомогою програмних засобів, зокрема типу SolidWorks.

Сучасне машинобудування характеризується високими вимогами до точності, надійності та довговічності деталей машин, зокрема зубчастих передач. Шестерні є одними з найпоширеніших елементів механізмів, що забезпечують передавання крутного моменту та зміни швидкості обертання в приводах різноманітного призначення – від транспортних засобів до енергетичного обладнання. Якість поверхонь зубців шестерні безпосередньо впливає на плавність роботи передачі, рівень шуму, зносостійкість і ресурс вузла в цілому.

Використання сучасних CAE-систем дозволяє ще на етапі проектування виконувати розрахунки міцності, жорсткості, деформацій і температурних полів, що значно знижує ризик помилок і скорочує витрати на виготовлення дослідних зразків. Особливо актуальним є застосування інженерного аналізу для спеціального інструменту, який працює в умовах підвищених навантажень, циклічних контактних напружень і динамічних впливів, характерних для обробки зубчастих коліс.

Крім того, розвиток цифрового виробництва та концепції Industry 4.0 зумовлює необхідність інтеграції CAD/CAE-технологій у навчальний процес і виробничу практику. Отже, дослідження, спрямоване на проектування спеціального різального інструменту та його інженерний аналіз, є своєчасним і відповідає сучасним тенденціям розвитку машинобудування.

Об'єктом дослідження є процес механічної обробки поверхонь зубчастої деталі типу «Шестерня» спеціальним різальним інструментом.

Предметом дослідження є конструкція спеціального різального інструменту та його напружено-деформований стан, що визначається за допомогою інженерного аналізу в CAE-системах.

Таким чином, виконання даної роботи сприятиме підвищенню ефективності проектування різального інструменту, зниженню матеріаломісткості та забезпеченню надійності технологічного процесу обробки зубчастих коліс.

ШЕСТЕРНЯ, РАДІАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНИЙ ВЕРСТАТ, ДОВБАЧ, ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ, ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.Р			
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата				
Розроб.		Осташко			Реферат			
Перевір.		Рязанцев						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркцшів	
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22			

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 52 pages, 37 figures, 12 tables, 5 sheets of the graphic part.

The topic of the bachelor's qualification thesis is devoted to the development of a special cutting tool for machining the surfaces of a "Gear" part and conducting its engineering analysis using modern Computer-Aided Engineering (CAE) systems. The work involves substantiating the design parameters of the tool, investigating its stress-strain state, and evaluating its performance using software tools, particularly SolidWorks.

Modern mechanical engineering is characterized by high requirements for the accuracy, reliability, and durability of machine components, especially gear transmissions. Gears are among the most common elements of mechanisms that ensure torque transmission and rotational speed variation in drives of various applications – from vehicles to power engineering equipment. The quality of gear tooth surfaces directly affects the smoothness of transmission operation, noise level, wear resistance, and the overall service life of the assembly.

The use of modern CAE systems makes it possible to perform calculations of strength, stiffness, deformation, and thermal fields already at the design stage, significantly reducing the risk of errors and lowering the costs of manufacturing prototype samples. The application of engineering analysis is particularly relevant for special tools operating under conditions of increased loads, cyclic contact stresses, and dynamic effects characteristic of gear machining processes.

In addition, the development of digital manufacturing and the Industry 4.0 concept necessitates the integration of CAD/CAE technologies into the educational process and industrial practice. Therefore, research aimed at designing a special cutting tool and conducting its engineering analysis is timely and corresponds to current trends in the development of mechanical engineering.

The object of the research is the process of machining the surfaces of a gear-type part using a special cutting tool.

The subject of the research is the design of the special cutting tool and its stress-strain state determined through engineering analysis in CAE systems.

Thus, the implementation of this work will contribute to improving the efficiency of cutting tool design, reducing material consumption, and ensuring the reliability of the technological process of gear machining.

GEAR, RADIAL DRILLING MACHINE, GEAR SHAPER CUTTER, ENGINEERING ANALYSIS, HIGH-PRODUCTIVITY EQUIPMENT.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.P	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 Проектування технологічного процесу складання вузла	12
2 Технологічна підготовка виробництва деталі	15
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін	15
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей	16
2.3 Технічний контроль робочого креслення	17
2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання	18
3 Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами	23
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	23
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	27
3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів	28
3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	29
3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	30
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	33
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	33
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	35
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	39
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	39
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	40
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	43
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	43
6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці легованих хромонікелевих сталей	48
Висновки	51
Список використаних джерел	52

					КНУ.КБР.131.26.1-213					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Осташко			Зміст			Літ.	Арк.	Аркцифр
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв						Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Зав. каф.		Рязанцев								

ВСТУП

Металорізальний інструмент - інструмент, призначений для зміни форми та розмірів заготовки шляхом видалення частини матеріалу у вигляді стружки, або шламу, тобто різальний інструмент використовується для оброблення матеріалів різанням. Оброблення різанням – вид механічного оброблення, яке полягає в утворенні нових поверхонь шляхом відділення поверхневих шарів матеріалу з утворенням стружки. Способи обробки металів тиском і литтям, як правило, не дають необхідної точності розмірів і чистоти поверхні заготовок (винятки складають спеціальні види лиття і холодне штампування). Тому куванням, штампуванням і литтям в більшості випадків виготовляють заготовки (напівфабрикати), що потребують додаткової обробки. Остаточна обробка виконується різанням, яке полягає в знятті з поверхонь заготовки визначеного шару металу, що залишається спеціально для цього. Шар металу, що знімається з металу, називається припуском на обробку. В результаті видалення припуску заготовка набуває точніших форми, розмірів та заданої шорсткості поверхонь, тобто перетворюється в деталь.

На цей вид оброблення припадає понад 90 % трудомісткості виготовлення більшості деталей. Для його реалізації існує ціла низка різноманітного металорізального обладнання, різного за розмірами, продуктивністю, ступенем автоматизації, яке забезпечує здійснення різних способів обробки різанням практично в усіх типах виробництва.

Обробка різанням є складним і дорогим процесом, який відрізняється значною трудомісткістю і значними втратами металу (при масовому виробництві зі стружкою втрачається 5 – 15 % металу, а при дрібносерійному і одиничному – до 25 %).

Обробка різанням включає дві множини способів її реалізації: лезову та абразивну обробки. Лезова обробка передбачає оброблення поверхонь заготовки одно- та багатолезовими інструментами – різцями, свердлами, фрезами, розвертками, протяжками та ін. Абразивна обробка – це обробка поверхонь абразивними інструментами, виготовленими з природних або штучних абразивних матеріалів, – абразивними кругами, сегментами, брусками, стрічками та вільними абразивами у вигляді порошків, паст тощо.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-21.B</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Осташко</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>Архів</i>
					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>		

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Вихідною інформацією для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи були робочі креслення деталі «Шестерня» та складальної одиниці – коробки швидкостей верстата моделі 2Н55, до складу якої входить дана деталь. Крім того, враховано задану річну програму випуску, що становить 2000 виробів. На рисунку 1.1 наведено тривимірну модель цієї деталі.

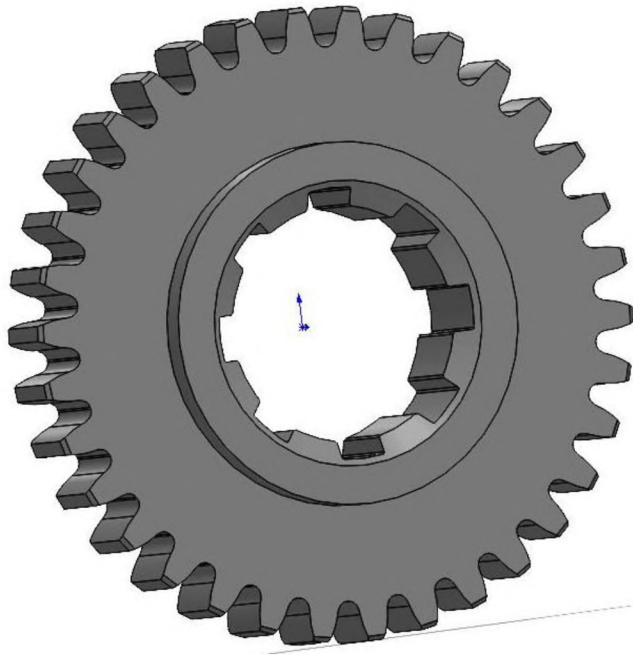


Рисунок 1.1 – 3D модель деталі «Шестерня»

Метою роботи є розробка конструкції спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Шестерня» та проведення його інженерного аналізу з використанням САЕ-систем з метою забезпечення необхідної міцності, жорсткості та працездатності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати конструктивні та технологічні особливості деталі «Шестерня».
2. Обґрунтувати вибір типу та конструкції спеціального різального інструменту.
3. Виконати 3D-моделювання інструменту в САД-середовищі.
4. Провести інженерний аналіз напружено-деформованого стану інструменту із застосуванням САЕ-засобів.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ</i>		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Осташко				<i>Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі</i>	Літ.	Арк.
Перевір.	Рязанцев						Аркцшів
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв					<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	
Заб. каф.	Рязанцев						

5. Оцінити отримані результати та визначити шляхи оптимізації конструкції.

6. Сформулювати рекомендації щодо впровадження розробленого інструменту у виробництво.

1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини

Шестерня входить до складу коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату мод. 2Н55 (рис. 1.2). Радіально-свердлильний верстат 2Н55 – це універсальний металорізальний верстат, призначений для свердління, зенкерування, розгортання та нарізання різьби у великих і важких деталях без їх переміщення. Його конструкція дозволяє переміщувати шпиндель у просторі за рахунок повороту та переміщення радіальної балки, що значно підвищує зручність обробки габаритних заготовок. Технічні характеристики верстату наведено в таблиці 1.1.



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд верстата мод. 2Н55

Основні складові частини верстата 2Н55

1. Станина (основа). Масивна чавунна база, яка забезпечує жорсткість і стійкість верстата.

2. Колона (стійка). Вертикальний елемент, навколо якого обертається радіальна балка.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

3. Радіальна балка (рукав). Горизонтальна частина, що переміщується вгору/вниз по колоні та обертається навколо неї.

4. Свердлильна головка (шпиндельна бабка). Вузол, у якому розміщено шпиндель, коробку швидкостей і подач.

5. Шпиндель. Основний робочий орган, що передає обертання інструменту.

6. Механізм подачі. Забезпечує поступальний рух шпинделя.

7. Привід (електродвигун). Джерело енергії для обертання шпинделя та переміщення вузлів.

8. Стіл або плита. Поверхня для встановлення та закріплення заготовки.

9. Система керування. Включає рукоятки, кнопки та механізми перемикання режимів.

Коробка подаче важливим функціональним вузлом верстата 2Н55. Розташована всередині свердлильної головки, вона забезпечує основний рух металорізального верстата – рух подачі.

Серед найважливіших функціональних вузлів, включених у кінематичну схему свердлильної головки, слід назвати коробку швидкостей (рис. 1.3), в склад якої входить задана деталь «Шестерня», що дозволяє вибирати швидкісний режим обертання шпинделя. Коробка швидкостей є функціонально закінченим вузлом, розташованим у верхній частині свердлильної головки. Конструктивно вона представлена: збірним корпусом, скріпленим стяжкам; валами разом із блоками зубчастих коліс (шестерень).

Отримуючи потужність приводу електродвигуна, розташованого у верхній частині зовні свердлильної головки, вона після вибору потрібної швидкості передає моменти обертання шпинделю.



Рисунок 1.3 – Коробка швидкостей верстату мод. 2Н55

					КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Основні технічні дані і характеристики верстата 2Н55

Параметр	Значення
Максимальний діаметр свердління в сталі	50 мм
Максимальний діаметр свердління в чавуні	55 мм
Виліт шпинделя (радіус обробки)	450 – 1600 мм
Відстань від торця шпинделя до столу	450 – 1500 мм
Хід шпинделя	350 мм
Кількість швидкостей шпинделя	16
Діапазон обертів шпинделя	20 – 2000 об/хв
Кількість подач	8–12
Діапазон подач	0,04 – 3,2 мм/об
Потужність електродвигуна	~4–5,5 кВт
Габаритні розміри (Д×Ш×В)	~2500 × 1000 × 2800 мм
Маса верстата	~3500–4000 кг

1.3 Проектування технологічного процесу складання вузла

Розрахунок розмірних ланцюгів є ключовим етапом для визначення допустимих відхилень розмірів компонентів, що входять до складу збірної одиниці. Після завершення складання правильно встановлені допуски повинні автоматично забезпечувати точність з'єднувальних елементів. Відповідальність за якість машини лежить на технологіві разом із конструктором. Тому перед розробкою технологічного процесу виготовлення деталі необхідно переконатися в правильності визначених допусків і посадок. Для цього необхідно перевірити коректність побудови розмірних ланцюгів, обґрунтованість вибору точності вихідних елементів та правильність призначених допусків для компонентів. У разі виявлення помилок слід узгодити зміни з конструктором. Збільшення вимог до точності виготовлення деталей може сприяти підвищенню довговічності машини, проте це також може призвести до зростання витрат на її виробництво. Якщо ж вимоги до машини є нижчими за оптимальні, це може призвести до зниження довговічності та збільшення витрат на ремонт.

2.3.1 Розрахунок лінійного розмірного ланцюга методом регулювання прокладкою

Для забезпечення ефективної роботи вузла необхідно зберігати відстань між правою кришкою та підшипником $A_{\Sigma\min}=0,05\text{мм}$; $A_{\Sigma\max}=1,25\text{мм}$. Таким чином, лінійний зазор (вихідна ланка) має такі значення: $A_{\Sigma} = 0^{+1,25}_{+0,05}\text{мм}$, тобто $T_{\Sigma} = 1,2\text{мм}$, $\Delta C_{\Sigma} = +0,65\text{мм}$.

На всі ланки розмірного ланцюга призначаємо технологічно досяжні допуски.

Визначаємо допуск замикаючої ланки:

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (T_{Ai} + \beta_i) \quad (1.1)$$

T_{Ai} – допуск ланки ланцюга, β_i – допуск биття торцю при ланках ланцюга

					КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_{\Sigma} = 1,75 + 0,12 \cdot 2 + 0,97 + 0,36 \cdot 2 + 0,62 + 0,02 + 0,06 + 0,1 \cdot 2 + 0,02 = 4,6 \text{ мм.}$$

Величина компенсації:

$$T_K = T_{\Sigma} - [T_{\Sigma}] \quad (1.2)$$

$$T_K = 4,6 - 1,2 = 3,4 \text{ мм.}$$

У якості прокладок використовуємо металевий лист, товщина якого S рівна:

$$S = A_{\text{комп}} = [T_{\Sigma}] = 1,2 \pm 0,1 \text{ мм}$$

Приймаємо допуск на товщину листа $T_{\text{комп}} = 0,2 \text{ мм}$, тобто $\Delta C_{\text{комп}} = 0 \text{ мм}$.

Попередня кількість прокладок в наборі:

$$Z = \frac{T_K}{[T_{\Sigma}]} \quad (1.3)$$

$$Z = \frac{3,4}{1,2} = 2,83$$

Приймаємо $Z = 3$ прокладки

Будуємо остаточний розмірний ланцюг з урахуванням компенсаційних вкладок. Вкладку визначаємо, як ланку A_8 .

Величина компенсатора:

$$A_8 = Z \cdot A_{\text{комп}} \quad (1.4)$$

$$A_8 = 3 \cdot 1,2 = 3,6 \text{ мм.}$$

Новий номінальний розмір замикаючої ланки:

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n A_i + \sum_{j=1}^m A_j \quad (1.5)$$

A_i – номінальний розмір ланки ланцюга, що збільшує;

A_j – номінальний розмір ланки ланцюга, що зменшує

$$A_{\Sigma} = (561 + 3,6) - (456 + 21 + 10 + 39 + 25 + 10) = 3,6 \text{ мм.}$$

Допуск для нового розміра визначаємо за виразом 2.1:

$$T'_{\Sigma} = 1,75 + 0,12 \cdot 2 + 0,97 + 0,36 \cdot 2 + 0,6 + 0,62 + 0,02 + 0,06 + 0,1 \cdot 2 + 0,02 = 5,2 \text{ мм.}$$

Визначаємо координату середини поля допуску:

$$\Delta C'_{\text{комп}} = \sum_{i=1}^n (\Delta C'_i + \Delta \beta_i) - (\Delta C'_j + \Delta \beta_j) \quad (1.6)$$

$\Delta C'_i$ - координата середини поля допуску ланок, що збільшують;

$\Delta C'_j$ - координата середини поля допуску ланок, що зменшують;

$\Delta \beta_i$ та $\Delta \beta_j$ – допуск биття торцю при відповідних ланках.

$$\Delta C'_{\text{комп}} = \sum_{i=1}^n (0 + 0 + 0,05) - (-0,06 + 0 + 0 + 0,31 - 0,06 + 0,18 + 0,01 + 0,03 + 0,05 + 0,05) = -0,46$$

Визначаємо нову величину компенсації з виразу 1.2:

$$T'_K = 5,2 - 1,2 = 4 \text{ мм}$$

Остаточна кількість прокладок:

$$Z' = \frac{T'_K}{[T_{\Sigma}]} + 1 \quad (1.7)$$

$$Z' = \frac{4}{1,2} + 1 = 4,33$$

Остаточна кількість прокладок $Z = 4$ прокладки.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В якості залежної ланки обираємо ланку A_7 та визначаємо величину поправки:

$$\Delta' = [\Delta C_{\Sigma}] - \Delta C'_{\Sigma} + \frac{T'_{\Sigma}}{2} - \Delta C_{A_7} - A_{\text{Комп}} \quad (1.8)$$

$$\Delta' = 0,65 - (-0,46) + \frac{5,2}{2} - 0,18 - 1,2 = 2,24 \text{ мм.}$$

Визначаємо нову середину координат:

$$\Delta C'_{A_7} = \Delta C_{A_7} + \Delta' \quad (1.9)$$

$$\Delta C'_{A_7} = 0,18 + 2,24 = 2,42 \text{ мм.}$$

Визначаємо граничні відхилення залежної ланки:

$$\begin{cases} es_{A_7} = \Delta C'_{A_7} + 0,5 \cdot A_{ck} \\ ei_{A_7} = \Delta C'_{A_7} - 0,5 \cdot A_{ck} \end{cases} \quad (1.10)$$

A_{ck} – середній розмір компенсатора.

$$\begin{cases} es_{A_7} = 2,42 + 0,5 \cdot 0,5 = 2,67 \\ ei_{A_7} = 2,42 - 0,5 \cdot 0,5 = 2,17 \end{cases}$$

$$A_7 = 10^{+2,67}_{+2,17}$$

Визначаємо середній розмір компенсаційної вкладки:

$$A_{CA_7} = A_{\text{Комп}} + \Delta C_{\text{Комп}} - \Delta C'_{\Sigma} + [\Delta C_{\Sigma}] \quad (1.11)$$

$$A_{CA_7} = 1,2 + 0 + 0,46 + 0,65 = 2,31 \text{ мм.}$$

Визначаємо максимальний та мінімальний розмір компенсатора:

$$A_{K \max} = A_{CA_7} + \frac{T'_K}{2} \quad (1.12)$$

$$A_{K \min} = A_{CA_7} - \frac{T'_K}{2} \quad (1.13)$$

$$A_{K \max} = 2,31 + 2 = 4,31 \text{ мм.}$$

$$A_{K \min} = 2,31 - 2 = 0,31 \text{ мм.}$$

Визначаємо максимальне та мінімальне число прокладок:

$$Z_{\max} = \frac{A_{K \max}}{[T_{\Sigma}]} \quad (1.14)$$

$$Z_{\min} = \frac{A_{K \min}}{[T_{\Sigma}]} \quad (1.15)$$

$$Z_{\max} = \frac{4,31}{1,2} = 3,6$$

Остаточно прийmemo $Z_{\max} = 4$.

$$Z_{\min} = \frac{0,31}{1,2} = 0,25$$

Остаточно прийmemo $Z_{\min} = 0$.

Визначаємо кількість прокладок у наборі:

$$Z = Z_{\max} - Z_{\min} = 4 - 0 = 4$$

Отже розрахунок проведено вірно.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Шестерня коробки швидкостей радіально-свердлильного верстату є важливою складовою частиною механізму передачі руху, яка входить до складу коробки швидкостей і забезпечує зміну частоти обертання шпинделя. Основне призначення шестерні полягає у передачі обертального руху від електродвигуна до робочого органу верстата, а також у забезпеченні різних режимів швидкості обертання, необхідних для виконання технологічних операцій. Завдяки взаємодії декількох шестерень у коробці швидкостей досягається можливість ступінчастої зміни швидкостей, що дозволяє підбирати оптимальні умови обробки залежно від матеріалу заготовки, типу інструмента та характеру виконуваної роботи. Крім того, шестерні забезпечують зміну крутного моменту, що є важливим для ефективного свердління.

Умови роботи шестерень у коробці швидкостей характеризуються значними механічними навантаженнями. У процесі роботи вони сприймають як постійні, так і змінні крутні моменти, а також можуть зазнавати ударних навантажень під час перемикання швидкостей або запуску верстата. У зоні контакту зубів виникають високі напруження, що потребує високої міцності та точності виготовлення деталей. Шестерні працюють при різних швидкостях обертання, які можуть змінюватися в широких межах, що додатково ускладнює умови їх експлуатації. Важливим фактором є також тертя між зубами, яке призводить до поступового зношування, тому для забезпечення довговічності необхідне ефективне змащення. Робота шестерень відбувається у закритому середовищі коробки передач, зазвичай у масляній ванні, однак при порушенні герметичності можливе потрапляння абразивних частинок, що прискорює знос. У зв'язку з цим до шестерень висуваються високі вимоги щодо міцності, твердості, зносостійкості, точності виготовлення та стійкості до втоми матеріалу, що забезпечується правильним вибором матеріалу та застосуванням відповідної термічної обробки. Деталь «Шестерня» виготовляється зі сталі 45 ДСТУ 7809:2015. Дані про матеріал наводяться у таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 45 ДСТУ 7809:2015

Хімічний елемент	%
Вуглець (C)	0.42-0.5
Сіліційум (Si)	0.17-0.37
Марганець (Mn)	0.5-0.8
Сірка (S)	до 0.04
Фосфор (P)	до 0.035

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД				
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата					
Розроб.		Осташко			Технологічна підготовка виробництва деталі		Літ.	Арк.	Аркциф
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Зав. каф.		Рязанцев							

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 45 ДСТУ 7809:2015

Сортамент	Розмір, мм	$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_B , %	ψ , %	Термообробка
Прокат 45	до 80 мм	355	600	16	40	Нормалізація 860-880°C, охолодження в повітрі. Відпуск 600-630°C. О, охолодження в повітрі або піч.

Шестерні коробки швидкостей радіально-свердлильних верстатів часто виготовляються зі сталі 45, яка належить до середньовуглецевих конструкційних сталей і характеризується достатньою міцністю, твердістю після термічної обробки та задовільною зносостійкістю. Як замітники сталі 45 можуть застосовуватися інші вуглецеві та леговані конструкційні сталі. До вуглецевих сталей належать сталі 40 і 50, які мають близький вміст вуглецю та подібні механічні властивості, але можуть забезпечувати дещо інший баланс міцності та пластичності. Сталь 40 є більш пластичною і краще піддається обробці, тоді як сталь 50 має підвищену твердість і міцність після гартування. Серед легованих сталей доцільно використовувати сталь 40Х, яка містить хром і відзначається підвищеною міцністю, зносостійкістю та кращою прокаліюваністю, що особливо важливо для деталей, які працюють при підвищених навантаженнях.

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Проведемо аналіз поверхонь деталі, попередньо виконавши їх нумерацію. На підставі цієї нумерації визначається послідовність технологічної обробки, яку наведено в таблиці 2.3.

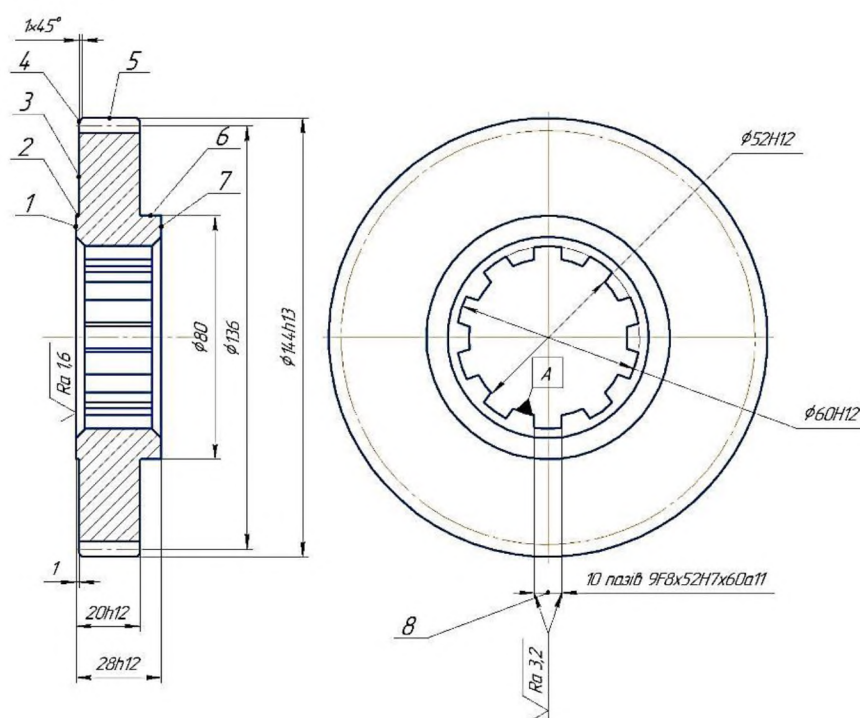


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь деталі «Шестерня»

Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
------	------	----------	--------	------	-----------------------------	------

Таблиця 2.3 – Технологічні методи з обробки поверхонь деталі:

№ пов.	Розмір, мм	Технологічні методи обробки	Допуск, IT	Шорсткість Ra, мм
1,7	L28		h14	1,6
		Чорнове підрізання торця;	h14	12,5
		Півчистове підрізання торця;	h14	6,3
		Чистове підрізання торця;	h14	3,2
		Шліфування;	h14	1,6
2,6	Ø80		h14	6,3
		Чорнове точіння;	h14	12,5
		Півчистове точіння;	h14	6,3
3	L20		h12	6,3
		Чорнове підрізання торця;	h12	12,5
		Півчистове підрізання торця;	h12	6,3
4	1x45° 2 фаски		h14	12,5
		Чорнове точіння	h14	12,5
5	Ø144		h13	6,3
		Чорнове точіння;	h13	12,5
		Півчистове точіння;	h13	6,3
8	Шліци B9	Протягання чистове	H8	3,2
9	m=4, z=34	Довбання чистове	IT 7	6,3

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення шестерні виконано на аркуші формату А3. Деталь зображена головним видом в розрізі та видом зліва. Технічний контроль робочого креслення деталі «Шестерня» показує, що креслення в цілому відповідає основним вимогам до оформлення конструкторської документації, проте має ряд недоліків, які можуть ускладнити виготовлення та контроль деталі. У кресленні зазначено основні відомості, зокрема найменування деталі, матеріал – сталь 45 за ДСТУ 7809:2015, масштаб 1:1, а також позначення креслення. Основний напис заповнений коректно, що дає можливість ідентифікувати деталь та документацію.

Геометричні параметри деталі в цілому задані, на кресленні присутні основні розміри, такі як зовнішній діаметр, посадкові діаметри, ширина елементів та фаски. Параметри зубчастого вінця чітко визначені у відповідній таблиці.

На кресленні наведено загальні допуски та посадки, зокрема H12, а також вказано ступінь точності зубчастого колеса за ISO 1328:2013. Це свідчить про відповідність сучасним стандартам. Однак не всі розміри мають індивідуально задані допуски, а також відсутні геометричні допуски, такі як співвісність, биття чи перпендикулярність, які є важливими для правильної роботи деталі у вузлі.

Шорсткість поверхонь визначена, зокрема вказані значення Ra 6.3, Ra 3.2 та Ra 1.6 для окремих поверхонь. На кресленні зазначено вимоги до термообробки, а саме твердість поверхні зубів у межах 48-52 HRC. Це є важливою умовою забезпечення довговічності зубчастого колеса. Проте не вказано конкретний

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

метод термообробки, наприклад гартування чи цементацію, що є необхідним для технологічного процесу виготовлення.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Технологічний процес виготовлення даної деталі включає послідовний перелік операцій, представлений у таблиці 2.4. Використане обладнання наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Технологічний процес виготовлення деталі «Шестерня»

№ опер.	Назва операції, зміст операції	Обладнання
005	Токарна чорнова	Горизонтальний токарний верстат з ЧПК Hi-TECH 200
010	Токарна чистова	
015	Протяжна	Горизонтально-протяжний верстат 7HBM25.1
020	Зубодовбальна	Довбальний верстат ГД200
025	Круглошліфувальна	Круглошліфувальний верстат з ЧПК Tsugami G300F
030	Контрольна	

Таблиця 2.5 – Вибір металорізальних верстатів по обробці поверхонь деталі

№ пов.	Найменування операції	Тип верстату
1	Чорнове підрізання торця; Півчистове підрізання торця; Чистове підрізання торця;	Hi-TECH 200 A
	Шліфування;	Tsugami серії G300F
2	Чорнове точіння; Півчистове точіння;	Hi-TECH 200 A
3	Чорнове підрізання торця; Півчистове підрізання торця;	Hi-TECH 200 A
4	Чорнове точіння	Hi-TECH 200 A
5	Чорнове точіння; Півчистове точіння;	Hi-TECH 200 A
6	Чорнове точіння; Півчистове точіння;	Hi-TECH 200 A
7	Чорнове підрізання торця; Півчистове підрізання торця; Чистове підрізання торця;	Hi-TECH 200 A
	Шліфування	Tsugami серії G300F
8	Протягання	Горизонтально-протяжний 7HBM25.1
9	Довбання чорнове Довбання чистове	Довбальний верстат ГД200

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Отримання зубчастого вінця виконується на довбальному верстаті мод. ГД200 (рис. 2.2).



Рисунок 2.2 – Довбальний верстат ГД200

Технічні характеристики:

Тип приводу – механічний

Робочий хід довбача – 20 - 200 мм

Діаметр робочого столу – 500 мм

Відстань від столу до нижнього краю напрямних довбача – 320 мм

Відстань від зовнішньої поверхні різцевої головки до внутр. пов. станини – 450 мм

Найбільша висота оброблюваної заготовки при зовнішній обробці – 300 мм

Найбільша висота оброблюваної заготовки при внутрішній обробці – 100 мм

Поздовжнє переміщення столу – 500 мм

Поперечне переміщення столу – 400 мм

Кругове переміщення столу – 360°

Поздовжні подачі столу на один подвійний хід довбача – 0,1 - 1,2 мм

Поперечні подачі столу на один подвійний хід довбача – 0,1 - 1,2 мм

Кругові подачі столу на один подвійний хід довбача – 0,07 - 0,8°

Кількість фіксованих положень стіл – позицій 12

Потужність головного приводу – 3,6 кВт

Габаритна довжина верстата – 1900 мм

Габаритна висота верстата – 1270 мм

Габаритна ширина верстата – 2175 мм

Вага верстата – 2000 кг

Токарно-розточувальна обробка виконується на горизонтальному токарному верстаті з ЧПК моделі Ні-ТЕСН 200 А (рис. 2.3).

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Горизонтальний токарний верстат з ЧПК моделі Hi-TECH 200 А

Технічні характеристики:

Найбільший діаметр над станиною – 350 мм

Максимальний діаметр обробки – 210 мм

Максимальна довжина обробки – 401,5 мм

Діаметр патрона – 8 дюймів

Шпиндель:

- Тип конуса – ASA;
- Максимальна швидкість обертів – 5000 об/хв.
- Діаметр отвору у шпинделі – 75 мм
- Максимальний діаметр прутка – 51 мм
- Внутрішній діаметр підшипника шпинделя – 100 мм
- Двигун шпинделя – 15/11кВт

Револьверна головка:

- Кількість позицій – 12 шт
- Розмір інструмента – $\square 25 \times \varnothing 40$

Швидкість подачі:

- Швидке переміщення (X/Z) – 30/30 м/хв.
- Максимальний хід (X/Z) – 195/430 мм
- Двигун подачі (X/Z) – 1,6/3 кВт

Задня бабка:

- Діаметр пінолі – 80 мм
- Переміщення пінолі – 100 мм
- Конус пінолі – 4 МТ

Система ЧПК - Fanuc 0i-TD

Шліфувальна обробка виконується на круглошліфувальному верстаті з ЧПК Tsugami серії G300F (рис. 2.4).

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.4 – Круглошліфувальний верстат з ЧПК Tsugami серії G300F

Технічні характеристики:

Діаметр заготовки – 300 мм;

Відстань між центрами – 500-1000 мм;

Діаметр Шліфувального круга х Максимальна ширина – 455х75 мм;

Швидкість обертання кола – 2700 м/хв.;

Прискорене переміщення по осях XxZ – 16х20 м/хв.;

Потужність двигуна шліф. кола – 5,5/7,5 кВт (серводвигун), 9 кВт (кругле внутрішнє шліфування);

Вага – 5200, 6500 кг

Внутрішні шліци нарізаються на горизонтально-протяжному верстаті 7НВМ25.1 (рис. 2.5). Технічні характеристик и верстата наведено в табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстата 7НВМ25.1

Параметр	Значення
Максимальне тягове зусилля	250 кН (25 тс)
Максимальний хід інструмента	1400 мм
Швидкість робочого ходу повзуна	до 80 мм/с ($\approx 4,5$ м/хв)
Потужність електродвигуна	22 кВт
Максимальний діаметр круглої протяжки	70 мм
Максимальна ширина шпоночної протяжки	45 мм
Максимальний діаметр шліцьової протяжки	68 мм
Напруга живлення	380 В
Тип приводу	Гідравлічний

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

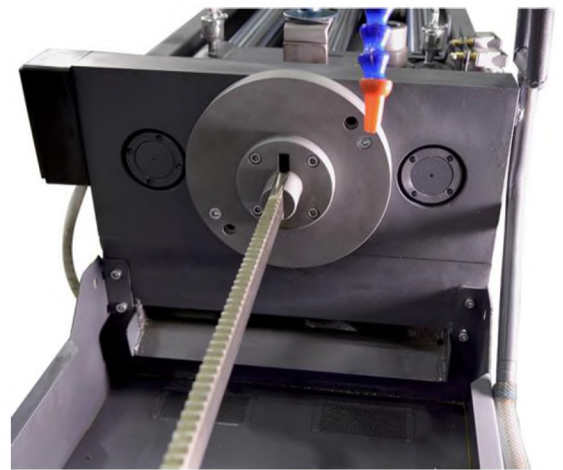


Рисунок 2.5 – Горизонтально-протяжный верстат 7HBM25.1

					КНУ.КБР.131.26.1-21.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

З ВИБІР РІЗАЛЬНИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

З урахуванням кількості та змісту раніше визначених технологічних методів обробки поверхонь здійснюється вибір сучасних типів інструментів. Для кожної поверхні деталі підбирається та обґрунтовується відповідний тип інструменту, а також наводиться його ескіз. Отримані дані подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№ пов. з/п	Найменування операції	Тип інструмента
1	2	3
1	Чорнове підрізання торця Півчистове підрізання торця Чистове підрізання торця Шліфування	Підрізний різець
2	Чорнове точіння Півчистове точіння	Прохідний різець
3	Чорнове підрізання торця Півчистове підрізання торця	Підрізний різець
4	Чорнове точіння	Прохідний різець
5	Чорнове точіння Півчистове точіння	Прохідний різець
6	Чорнове точіння Півчистове точіння	Прохідний різець
7	Чорнове підрізання торця Півчистове підрізання торця Чистове підрізання торця Шліфування	Підрізний різець
8	Розточення чорнове Розточення півчистове	Розточний різець
9	Довблення чорнове Довблення півчистове Довблення чистове	Довбач

Проводимо вибір металорізального інструменту за каталогами фірми SECO. Обираємо необхідні різальні та з'єднувальні частини інструменту.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами	Літ.	Арк.	Архів
Розроб.		Осташко						
Перевір.		Рязанцев						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв				Каф. ТМ, гр. ПМ-22		
Зав. каф.		Рязанцев						

Поверхні: 1, 3, 7 – чорнове, напівчистове, чистове підрізання торця.

Обираємо для даних операції державку фірми SECO – DCLNR2525M12-M (рис. 3.1), та відповідні пластини: чорнова – CNMG120404-M5 (рис. 3.2); напівчистова – CNMG120404W-FF2 (рис. 3.3); чистова – CNMG120404W-FF2 (рис. 3.4).

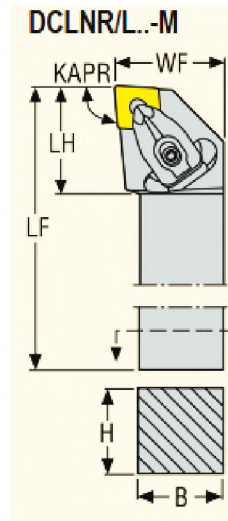


Рисунок 3.1 – Державка DCLNR2525M12-M [3, с. 227]:
H=25; B=25; LF=150; WF=32; LH=32; KAPR=95°

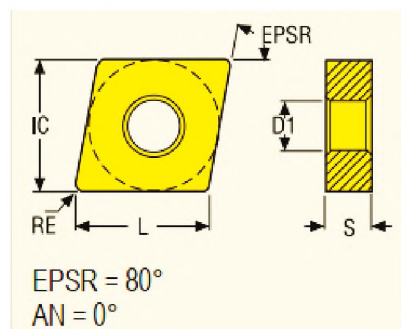


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG120404-M5; покриття – TP3501 [3, с. 428]:
L=12,9; IC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4

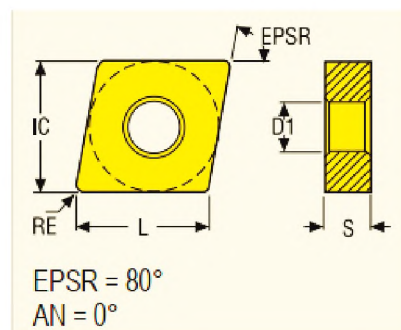


Рисунок 3.3 – Пластина CNMG120404W-FF2; покриття – TP2501 [3, с. 425]:
L=12,9; IC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

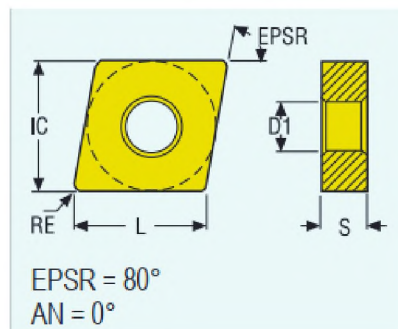


Рисунок 3.4 – Пластина CNMG120404W-FF2 покриття – TP2501 [3, с. 425]:
L=12,9; IC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4

Поверхні: 2, 4, 5, 6 – чорнове, півчистове точіння.

Обираємо для даних операції державку фірми SECO – DCLNR2525X12JETI (рис. 3.5), та відповідні пластини: чорнова – CNMG120408W-M6 (рис. 3.6); напівчистова – CNMG120404W-FF2 (рис. 3.7).

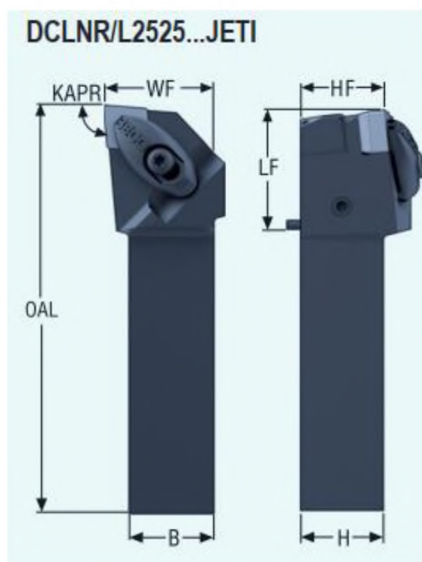


Рисунок 3.5 – Державка DCLNR2525X12JETI [3, с. 207]:
H=25; B=25; OAL=120; LF=36; WF=32,2; HF=32; KAPR=95°

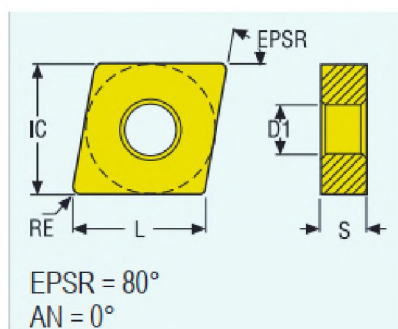


Рисунок 3.6 – Пластина CNMG120408W-M6; покриття – TP3501 [3, с. 428]:
L=12,9; IC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

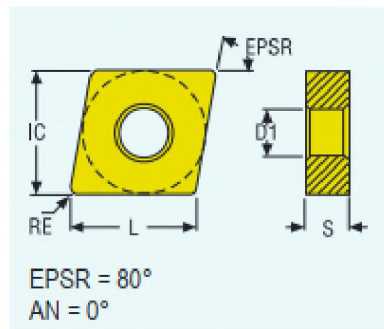


Рисунок 3.7 – Пластина CNMG120404W-FF2; покриття – TP2501 [3, с. 425]:
 $L=12,9$; $IC=12,7$; $S=4,76$; $D1=5,15$; $RE=0,4$

Поверхня 8 – розточування.

Обираємо для даної операції державку фірми SECO – C4-PCLNR-22110-12 (рис. 3.8), та відповідні пластини: чорнова – CNMG120408-M5 (рис. 3.9); напівчистова – CNMG120408-M3 (рис. 3.10).

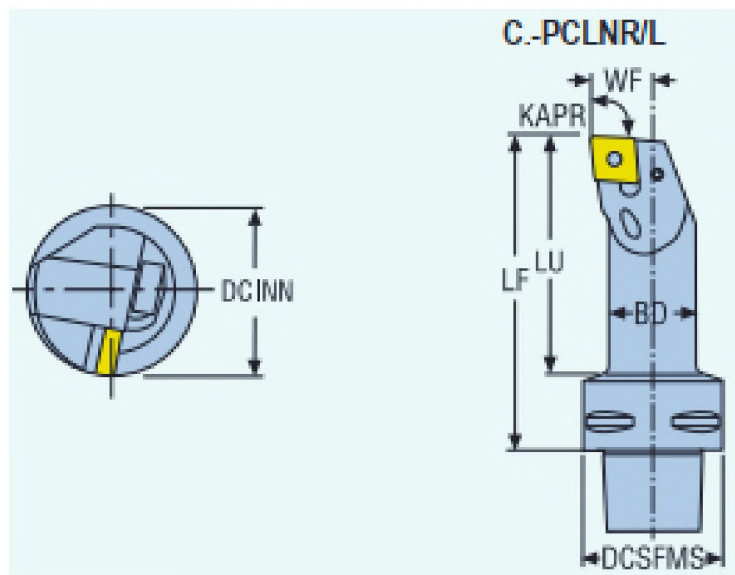


Рисунок 3.8 – Державка C4-PCLNR-22110-12 [3, с.330]:
 $BD=32$; $DCSFMS=40$; $WF=22$; $LF=110$; $LU=89$; $DCINN=40$; $KAPR=95^\circ$

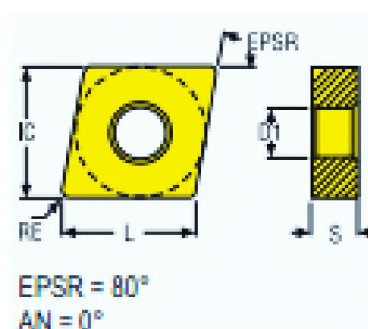


Рисунок 3.9 – Пластина CNMG120408-M5; покриття – TP1501 [3, с. 428]:
 $IC=12,7$; $L=12,9$; $S=4,76$; $D1=5,15$; $RE=0,8$

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

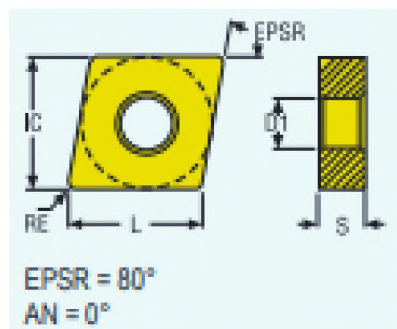


Рисунок 3.10 – Пластина CNMG120408-M3; покриття – TP1501 [3, с. 427]:
 $IC = 12,7$; $L = 12,9$; $S = 4,76$; $D1 = 5,15$; $RE = 0,8$

Поверхня 9 – шліфування.

Обираємо для даної операції відповідний шліфувальний круг (рис. 3.11) – 40x25x10 14AF90R7AA1 (Тип 1).

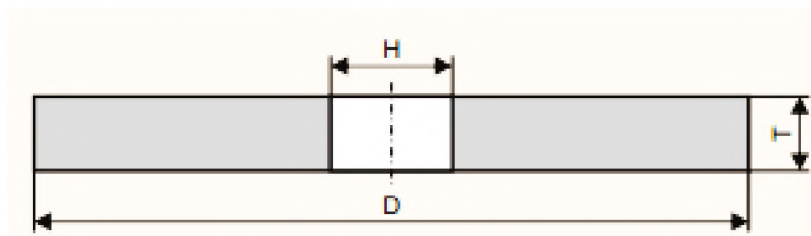


Рисунок 3.11 – Шліфувальний круг 1 40x25x10 14AF90R7AA1 [5 с. 111]:
 $D = 40$ мм; $T = 25$ мм; $H = 10$ мм

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Враховуючи властивості матеріалу деталі (сталь 45), типу обробки та застосованого металорізального обладнання, обрано матеріал різальної частини інструменту й визначено його геометричні параметри. Отримані дані наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ пов.	Тип інстр.	Матеріал різальної частини інстр.	Матеріал державки інструменту	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1, 3, 7	Прохідний різець	чорнова – TP3501; напівчистова та чистова – TP2501	DCLNR2525 M12-M	чорнова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $IC = 12,7$; $L = 12,9$; $S = 4,76$; $D1 = 5,15$; $RE = 0,4$ напівчистова та чистова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; $IC = 12,7$; $L = 12,9$; $S = 4,76$; $D1 = 5,15$; $RE = 0,4$.

Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
------	------	--------	--------	------	-----------------------------	------

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
2, 4, 5, 6	Прохідний різець	чорнова – TP3501; напівчистова – TP2501;	DCLNR2525 X12JETI	чорнова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8 напівчистова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4
8	Розточний різець	Чорнова, напівчистова – TP1501;	C4-PCLNR- 22110-12	чорнова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8 напівчистова: $\varepsilon = 80^\circ$; $\alpha = 0^\circ$; L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8
9	Шліфувальне коло	14A	1 40x25x10 14AF90R7AA1	D=40 мм; T=25 мм; H=10 мм;

3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів

З урахуванням способу обробки, виду інструмента, геометричних параметрів його різальної частини та розмірів, визначених із умови міцності, виконується підбір типорозмірів металорізальних інструментів. Результати заносяться до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір типорозміру різальних інструментів

№ пов.	Тип інструменту і пластини	Основні розміри інструменту, пластини	Матеріал різальної частини інструменту	Шифр інструменту (державки, пластини)
1	2	3	4	5
1, 3, 7	Прохідний різець для підрізання	H=25; B=25; LF=150; WF=32; LH=32; KAPR=95° Пластина: чорнова: L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4	TP3501	Державка: DCLNR2525M1 2-M; Пластина: чорнова – CNMG120404- M5

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
2, 4, 5, 6	Прохідний різець для точіння	H=25; B=25; OAL=120; LF=36; WF=32,2; HF=32; KAPR=95° Пластина: чорнова: L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8 напівчистова: L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4	чорнова – TP3501; напівчистова – TP2501;	Державка: DCLNR2525X12 JETI Пластина: чорнова – CNMG120408W- M6 напівчистова – CNMG120404W- FF2
8	Розточний різець	BD=32; DCSFMS=40; WF=22; LF=110; LU=89; DCINN=40; KAPR=95° Пластина: чорнова: L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8 напівчистова: L=12,9; lC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8	TP1501	Державка: C4-PCLNR- 22110-12 Пластина: чорнова – CNMG120408- M5 напівчистова – CNMG120408- M3

3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Виконаємо розрахунок державки різця на жорсткість і міцність. Розміри поперечного перерізу корпусу різця встановлюють залежно від величини сил різання, матеріалу корпусу, вильоту різця та інших факторів. При цьому корпус різця з квадратним поперечним перерізом має вищу стійкість до вигину.

Для розрахунку обираємо прохідний різець DCLNR2525M12-M, так як він знімає найбільший припуск на механічну обробку та працює в найбільш тяжких умовах. Розміри різця: h=25мм; b=25мм; LF=150мм, допустима напруга різця $\sigma_{и.д.} = 196$ МПа, матеріал заготовки – сталь 45 з межею міцності $\sigma_B = 600$ МПа, твердість – 192 НВ. Діаметр заготовки – 147 мм, припуск на обробку (на сторону – 1,5 мм), подача S=0.52 мм/об, виліт різця l=32 мм.

1. Визначаємо силу різання:

$$P_z = 30 \cdot t \cdot s^{0,75} \cdot HB^{0,35}, \quad (3.1)$$

$$P_z = 30 \cdot 1,5 \cdot 0,52^{0,75} \cdot 192^{0,35} = 173 \text{ кгс} = 1696 \text{ Н}$$

2. Ширина і висота перетину державки h = 25 мм, b = 25мм.

3. Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{bh^2 \sigma_{\text{н.д.}}}{6l}, \quad (3.2)$$

$$P_{z \text{ доп}} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 192 \cdot 10^6}{6 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} = 15625 \text{ Н}$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z \text{ жорст}} = \frac{3fEJ}{l^3}, \quad (3.3)$$

$$P_{z \text{ жорст}} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,25 \cdot 10^{-8}}{(32 \cdot 10^{-3})^3} = 59\,509 \text{ Н}$$

де $f = 0,1$ мм – допустима стріла прогину при чорновому точінні;

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

J – момент інерції прямокутного перетину державки:

$$J = \frac{bh^3}{12}, \quad (3.4)$$

$$J = \frac{25 \cdot 25^3}{12} = 32\,550 \text{ мм}^4$$

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

$$P_{z \text{ доп}} > P_z < P_{z \text{ жорст}}$$

$$15625 > 1696 < 59509$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Розроблення інструментального налагодження здійснюється для токарної операції. Обробка виконується на верстаті Ні-ТЕСН 200 А. Склад інструментального комплексу визначено на основі даних таблиць 3.2 та 3.3 відповідно до вимог технологічної операції. Узагальнені дані наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір типу допоміжного інструменту

№ пов.	Метало-різальний верстат	Параметри посадочного місця верстата під інструмент	Тип ріжучого інструменту (шифр)	Допоміжний інструмент (шифр)
1	2	3	4	5
1, 3, 7	Ні-ТЕСН 200А	Розмір інстр. – □25хØ40	DCLNR2525M1 2-М	Різцетримач правий радіальний короткий DIN 10889-3 форми В3

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
2, 4, 5, 6	Hi-TECH 200 серії А;	Розмір інстр. – □25хØ40	DCLNR2525X1 2JETI	Різцетримач правий радіальний короткий 10889-4 форми С3
8	Hi-TECH 200 серії А;	Розмір інстр. – □25хØ40	C4-PCLNR- 22110-12	Різцетримач розточний 30х40 тип С2

Для різального інструменту, яким обробляються поверхні 1, 3, 7 (операція токарна, підрізання торця) обираємо різцетримач правий радіальний короткий DIN 10889-3 форми В3 (рис. 3.12).

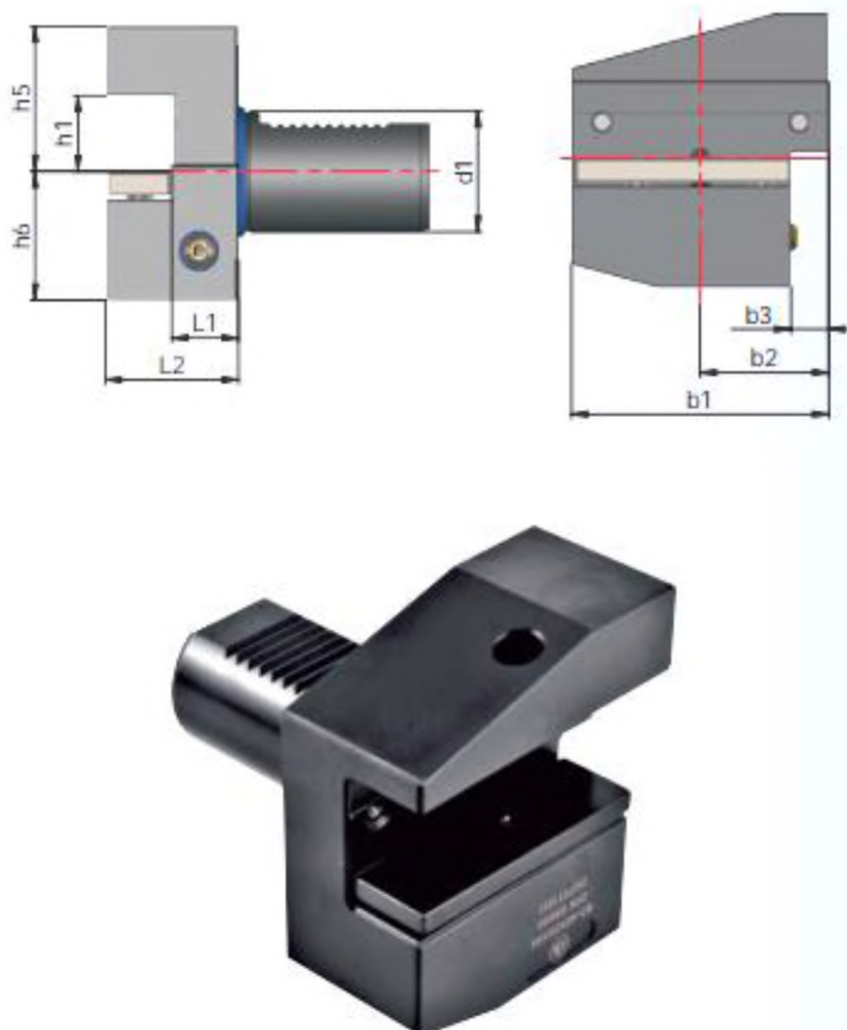


Рисунок 3.12 – Різцетримач правий радіальний короткий DIN 10889-3 форми В3 [7, с. 5.03]: d1=40; h1=25; L1=22; L2=44; h5=48; h6=42,5; b1=85; b2=42,5; b3=12,5

Для різального інструменту, яким обробляються поверхні 2,4,5,6 (операція токарна, точіння) обираємо різцетримач правий, короткий DIN 10889-4 С3 (рис. 3.13).

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

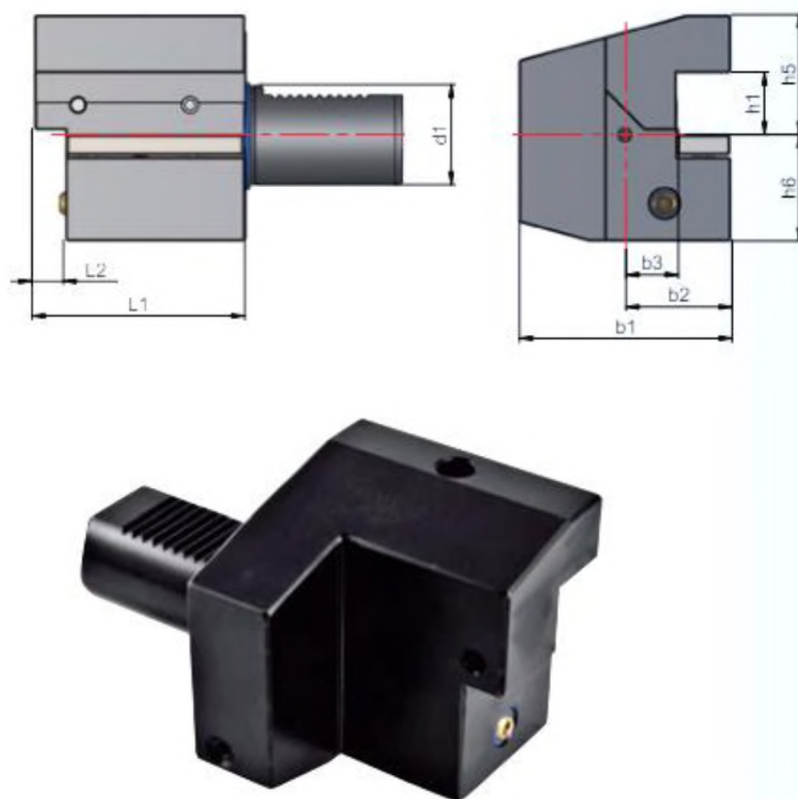


Рисунок 3.13 – Різцетримач правий, короткий DIN 10889-4 C3 [7, с. 5.07]:
 $d1=40$; $h1=25$; $L2=12,5$; $L1=85$; $h5=48$; $h6=42,5$; $b1=85$; $b2=42,5$; $b3=21$.

Для різального інструменту, яким обробляється поверхня 8 (операція токарна, розточування) обираємо різцетримач розточний 30x40 тип C2 (рис. 3.14).



Рисунок 3.14 – Різцетримач розточний 30x40 тип C2 [7, с. 5.12]:
 $d1=30$; $d2=40$; $A=90$; $L3=22$; $h1=32$; $h=30$; $d3=66$; $d6=68$

					КНУ.КБР.131.26.1-21.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

На основі аналізу методів обробки поверхонь та вибраних типів ріжучих інструментів виконуємо розрахунок спеціального ріжучого інструменту — евольвентного довбача.

Вихідні дані:

Розраховуємо основні конструктивні параметри евольвентного довбача для оброблення фланця зубчастого з наступними параметрами:

Матеріал заготовки – сталь 45;

Твердість – 229 НВ;

Стан поверхні – після механічної обробки;

$m = 4$;

$\alpha_0 = 20^\circ$;

$z_{min} = 16$;

$z_{max} = 34$;

$D_t^{ном} = 50$;

$\gamma = 4^\circ$;

$\alpha_B = 6^\circ$;

1. Кількість зубців довбача:

$$z_{дол} = \frac{D_t^{ном}}{m} = \frac{50}{4} = 12,5 \quad (4.1)$$

Прийmemo $z_{дол} = 12$

2. Новий (розрахунковий) діаметр ділильного кола з урахуванням прийнятої кількості зубців:

$$D_t = m \cdot z_{дол} = 4 \cdot 12 = 48 \text{ мм} \quad (4.2)$$

3. Допустиме зміщення початкового перерізу від торця інструмента:

$$\alpha = \frac{\xi_{max} \cdot m}{tg \alpha_B} \quad (4.3)$$

Спочатку визначаємо найменшу величину товщини зубця на колі виступів:

$$S'_e = k_s m, \quad (4.5)$$

При $m=4$ приймаємо $k_s=0,3$.

$$k_s = 0,53e^{-0,17m} = 0,53e^{-0,17 \cdot 4} = 0,3$$

$$S'_e = k_s m = 0,3 \cdot 4 = 1,2 \text{ мм}$$

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-21.04.ПІА/І</i>		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розроб.		Осташко			Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	Літ.	Арк.
Перевір.		Рязанцев					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв				Каф. ТМ, гр. ПМ-22	
Зав. каф.		Рязанцев					

$$\alpha = \frac{\xi_{max} \cdot m}{tg \alpha_B} = \frac{0,15 \cdot 4}{tg 6^\circ} = 5,7 \text{ мм}$$

Приймаємо відстань від різального торця довбача до початкового перерізу (зміщення початкового контуру) рівним 2,5 мм.

4. Висота головки зубця довбача:

$$h' = 1,3m = 1,3 \cdot 4 = 5,2, \quad (4.6)$$

5. Висота ніжки зубця довбача:

$$h'' = 1,3m = 1,3 \cdot 4 = 5,2, \quad (4.7)$$

6. Зовнішній діаметр довбача:

$$D_e = D_t + h' + h'' + 2\alpha tg \alpha_B, \quad (4.8)$$

$$D_e = 48 + 5,2 + 5,2 + 11,4 tg 6^\circ = 59,6 \text{ мм}$$

7. Діаметр кола западин:

$$D_1 = D_e - h' - h'' = 59,6 - 5,2 - 5,2 = 49,2 \text{ мм}, \quad (4.9)$$

8. Товщина зуба по дузі ділильного кола на відстані від початкового перерізу

$$S'_d = m \left(\frac{\pi}{2} + 2\xi_{max} tg \alpha_0 \right) = 4 \left(\frac{\pi}{2} + 2 \cdot 0,15 \cdot tg 6^\circ \right) = 6,4 \text{ мм}, \quad (4.10)$$

Отже так, як

$$z_{min}^{доп} < z_{min}$$

умова формоутворення виконується

9. Кут профілю довбача з урахуванням наявності переднього та заднього кутів

$$tg \alpha_N = \frac{tg \alpha_0}{1 - tg \alpha_B \cdot tg \gamma} = \frac{tg 20^\circ}{1 - tg 6^\circ \cdot tg 4^\circ} = 0,36, \quad (4.11)$$

Звідки $\alpha_N = 19^\circ 47' 55''$

10. Сила різання:

$$P_x = 10 C_p t^x s^y v^n K_p, \quad (4.12)$$

$$P_x = 10 \cdot 40 \cdot 0,3^{1,15} 15^{0,75} 10^0 \cdot 1 = 914,6 \text{ Н},$$

					КНУ.КБР.131.26.1-21.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

У даному пункті роботи проведено статичний інженерний аналіз довбача для нарізання зубчастого вінця із використанням методу скінченних елементів у середовищі SOLIDWORKS Simulation.

Матеріал інструменту – сталь 1.2842 (90MnCrV8), яка характеризується високою твердістю та зносостійкістю та є аналогом швидкорізальної сталі Р6М5. Основні механічні характеристики: границя текучості: $1,75 \cdot 10^9$ Па; границя міцності: $1,93 \cdot 10^9$ Па; модуль пружності: $2,1 \cdot 10^{11}$ Па.

До моделі прикладено навантаження у вигляді сили різання 7000 Н, що діє на робочі поверхні інструменту. Закріплення виконано по одній із базових граней (рис. 4.1).

Аналіз сітки (Mesh): елементів – 38487; вузлів – 57723; висока якість, оскільки 99,1% елементів мають хорошу форму.

Висновок: результати є достовірними; похибка чисельного методу мінімальна; модель придатна для інженерного аналізу.

Аналіз сил і реакцій: реакція опори $R = 18204$ Н.

Це означає, що система знаходиться в рівновазі. Сили мають просторовий характер (по X, Y, Z). Це відповідає реальному процесу різання, де: діє тангенціальна сила; радіальна складова; осьова складова.

Таким чином навантаження змодельоване реалістично та коректно.

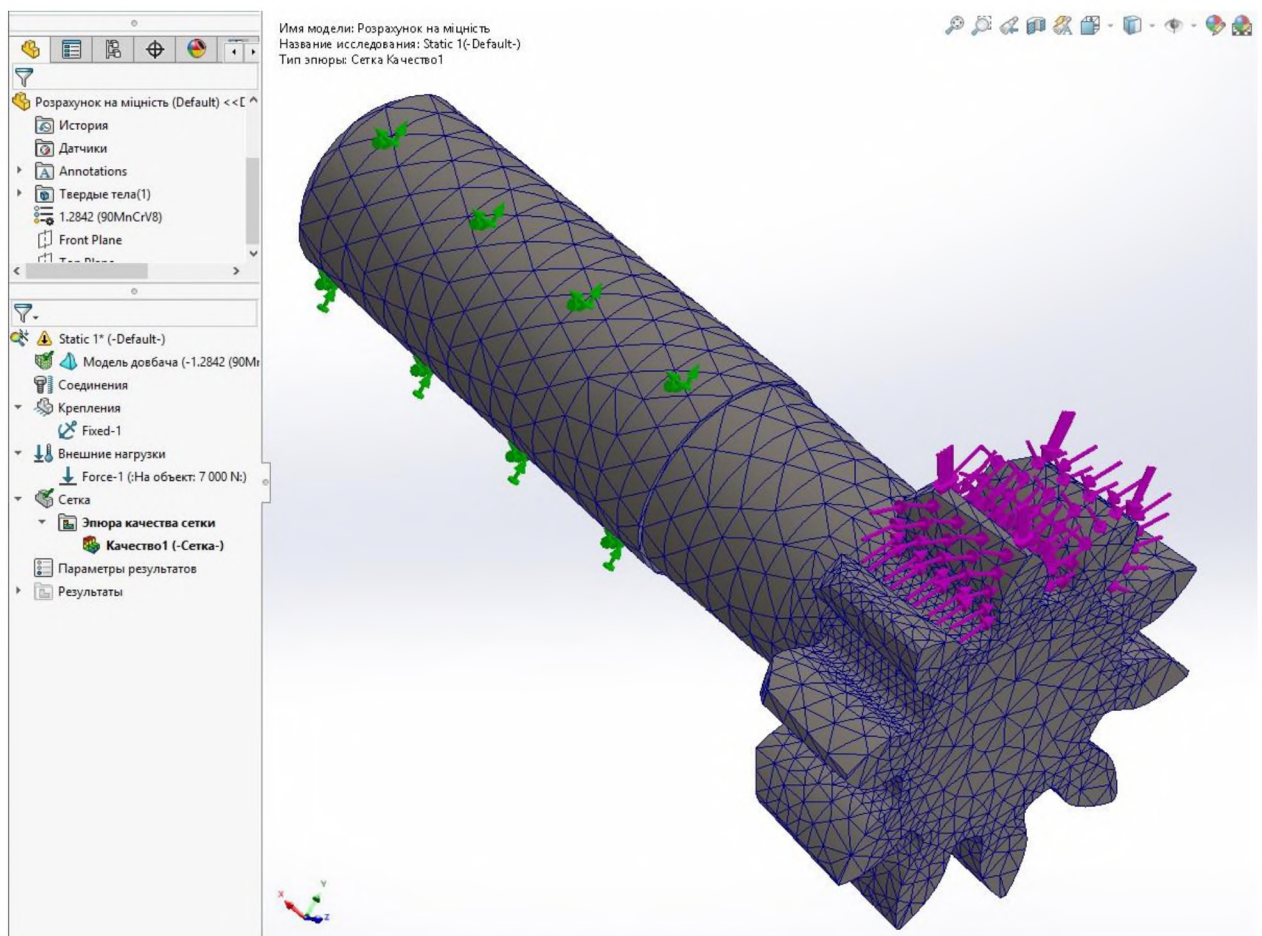


Рисунок 4.1 – Сітка кінцевих елементів довбача з прикладеними силами

					КНУ.КБР.131.26.1-21.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4.2.1 Аналіз напружень (Von Mises) довбача

Максимальне еквівалентне напруження становить: $\sigma_{\max} = 1,324 \cdot 10^9$ Па (рис. 4.2).

Це значення складає приблизно 75-76% від границі текучості матеріалу, що дозволяє визначити коефіцієнт запасу міцності: $n \approx 1,32$.

Напруження мають виражений локальний характер. Максимуми спостерігаються: у зоні різальної кромки; у місцях різких переходів геометрії; в області прикладання навантаження.

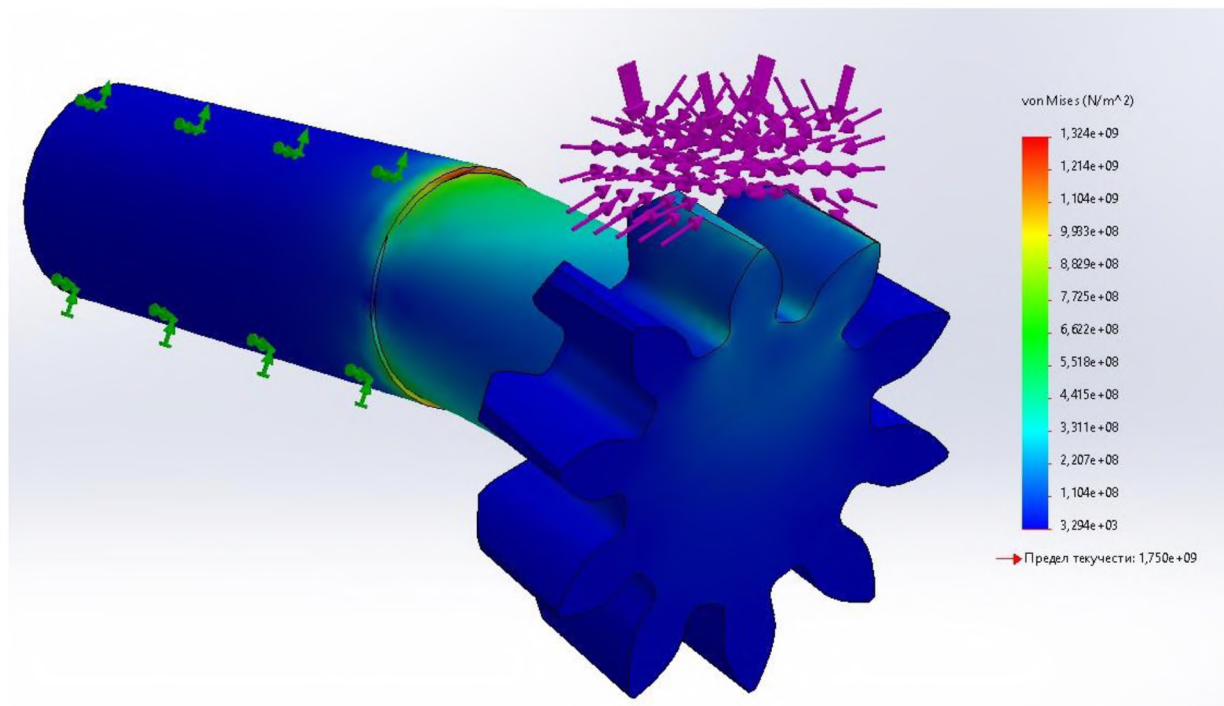


Рисунок 4.2 – Результати дослідження – епюра напружень

Основна частина об'єму працює при значно нижчих напруженнях.

Конструкція загалом міцна, але працює на межі допустимих значень, що є типовим для різального інструменту.

Проте такі рівні напружень можуть призвести до:

- втомного руйнування;
- утворення мікротріщин;
- прискореного зносу ріжучої частини.

4.2.2 Аналіз переміщень довбача

Максимальне переміщення: $U_{\max} = 0,262$ мм (рис.4.3).

Характер розподілу:

- мінімальні переміщення → у зоні закріплення (≈ 0);
- максимальні → на вільному кінці інструменту;
- плавний градієнт деформації вздовж довжини.

Отже переміщення невелике, що свідчить про достатню жорсткість інструмента. Але для зубообробки навіть такі значення можуть: впливати на точність профілю зуба; викликати відхилення кроку; погіршувати якість поверхні.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

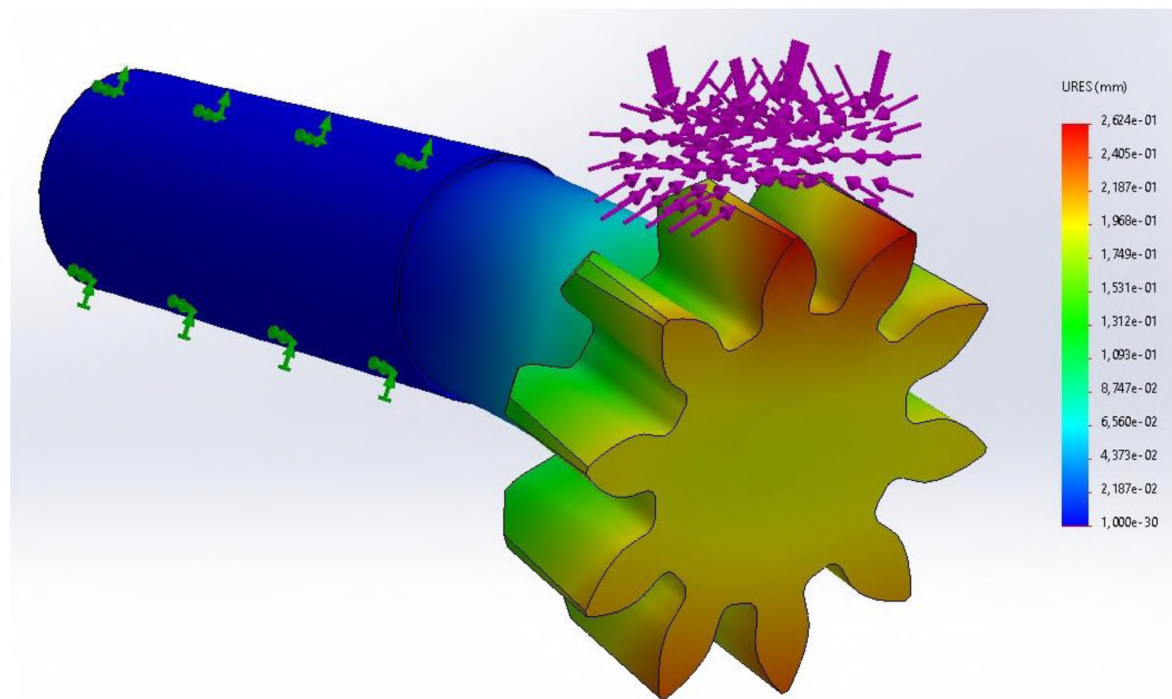


Рисунок 4.3 – Результати дослідження – епюра переміщень

Жорсткість конструкції задовільна, але при високоточній обробці бажано її підвищити.

4.2.3 Аналіз деформацій довбача

Максимальна еквівалентна деформація: $\epsilon_{\max} = 3,88 \cdot 10^{-3}$ (рис. 4.4).

Деформації повністю відповідають пружній області. Вони локалізовані в тих самих зонах, що і напруження. Відсутні ознаки пластичної течії.

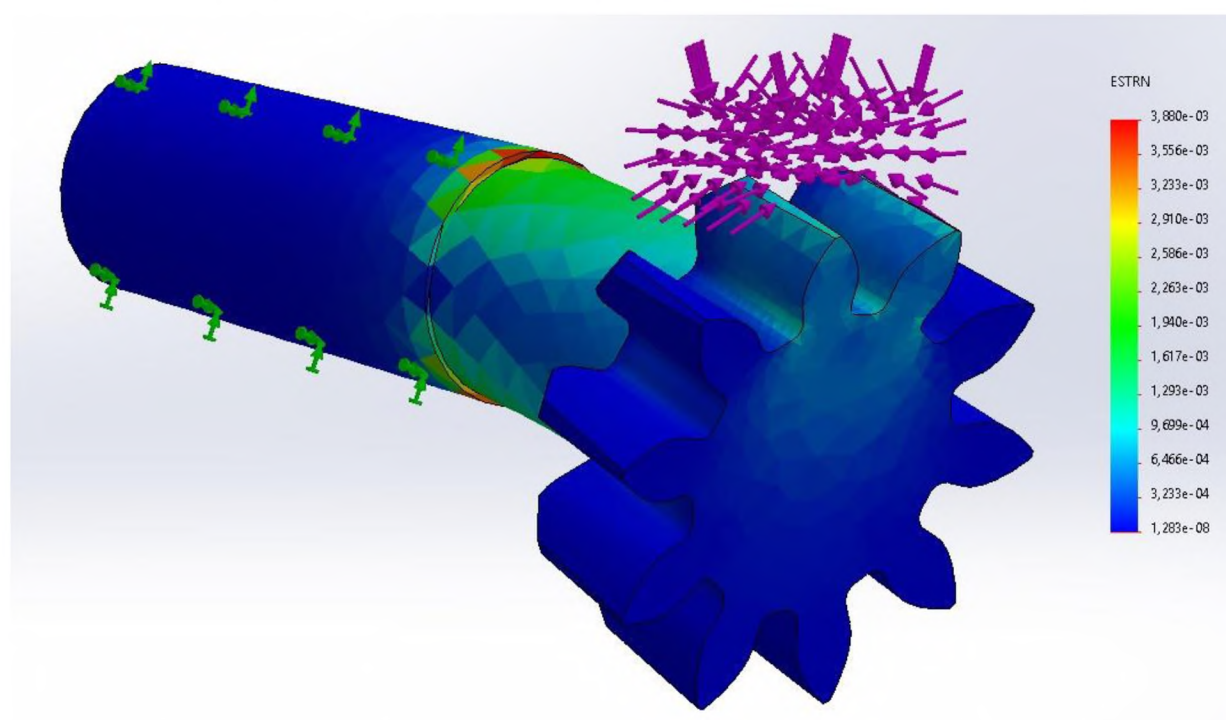


Рисунок 4.4 – Результати дослідження – епюра деформацій

					КНУ.КБР.131.26.1-21.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Інженерний висновок по епюрі деформацій: матеріал працює у безпечному пружному режимі; після зняття навантаження форма повністю відновлюється; немає ризику миттєвого руйнування.

4.2.4 Загальний висновок та рекомендації

Довбач працює в умовах: високих локальних напружень; достатньої жорсткості; пружної деформації матеріалу.

Конструкція в цілому працездатна, однак: має зони концентрації напружень; працює з обмеженим запасом міцності.

Це створює ризики при тривалій експлуатації: втомне руйнування; сколювання різальної кромки; зниження точності обробки.

Рекомендації:

- згладити переходи перерізів (зменшити концентрації);
- оптимізувати геометрію зубців;
- збільшити радіуси заокруглення
- використати більш міцні сталі або застосувати покриття (TiN, TiAlN);
- провести втомний (Fatigue), контактний та термомеханічний аналізи.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.04.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 деталі «Шестерня» було розроблено керуючу програму та змодельовано повний технологічний процес із використанням програмного середовища Autodesk FeatureCAM. Обробку передбачається здійснювати на горизонтальному токарному верстаті з ЧПК моделі Ні-ТЕСН 200 А, основні технічні характеристики якого наведені в розділі 2. Керування роботою верстата забезпечується системою ЧПК Fanuc 0i-TD (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики системи ЧПК Fanuc 0i-TD

Параметр	Характеристика
Кількість керованих осей	Зазвичай 2–4 осі (X, Z + додаткові C, Y)
Тип приводів	Серводвигуни змінного струму (AC Servo)
Керування шпинделем	Частотне або сервоуправління шпинделем
Дисплей	Кольоровий LCD (~10.4”) з графічним інтерфейсом
Інтерфейси	RS-232C, USB, іноді Ethernet
Пам'ять програм	Вбудована пам'ять + можливість підключення зовнішніх носіїв
Мова програмування	ISO-код (G-коди, M-коди)
Макропрограмування	Підтримка макрокоманд (Custom Macro B)
Мінімальний крок переміщення	До 0,001 мм
Інтерполяція	Лінійна, кругова (G01, G02, G03)
Стандартні цикли	Токарні цикли (G70–G76 та ін.)
Корекції інструменту	Радіус/діаметр (G40–G42)
Діагностика	Самодіагностика, журнал аварій
Фонове редагування	Є (редагування програми під час виконання)
Орієнтація шпинделя	Є
Підтримка циклів обробки	Автоматичні цикли чорнової/чистої обробки
Система координат	Абсолютна та відносна (G90/G91)
Захист	Soft limit (Soft O.T)

Система Fanuc 0i-TD – це універсальне та надійне рішення для токарних верстатів, яке забезпечує: високу точність і продуктивність; гнучкість у налаштуванні; підтримку сучасних функцій автоматизації; простоту програмування та експлуатації.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.05.МПОМО						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Осташко			Моделювання та програмування операцій механічної обробки			Літ.	Арк.	Аркцифів	
Перевір.		Рязанцев									
Реценз.											
Н. контр.		Нечаєв						Каф. ТМ, гр. ПМ-22			
Зав. каф.		Рязанцев									

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

У ході розроблення керуючої програми для виготовлення деталі «Шестерня» здійснено поетапне моделювання повного технологічного процесу в середовищі FeatureCAM. З урахуванням технічних можливостей верстата Hi-TECH 200 A та характеристик обраного різального інструменту (див. розділ 3) було визначено раціональну послідовність виконання технологічних операцій. Також виконано перевірку прийнятих технологічних рішень для підтвердження їх обґрунтованості та ефективності.

На рисунках 5.1-5.6 подано основні етапи симуляції обробки деталі «Шестерня», а також результати моделювання, які підтверджують відповідність розробленого технологічного процесу вимогам точності виготовлення та продуктивності виробництва.

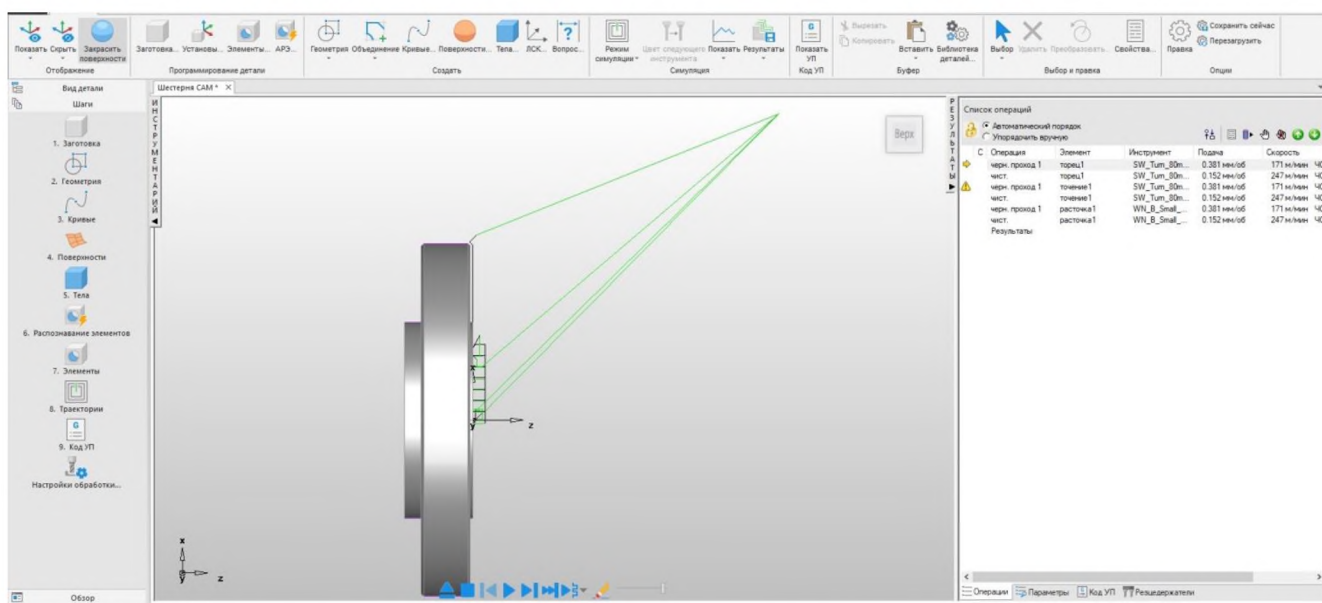


Рисунок 5.1 – Заготовка деталі «Шестерня» у FeatureCAM з траєкторією руху інструменту та етапами обробки

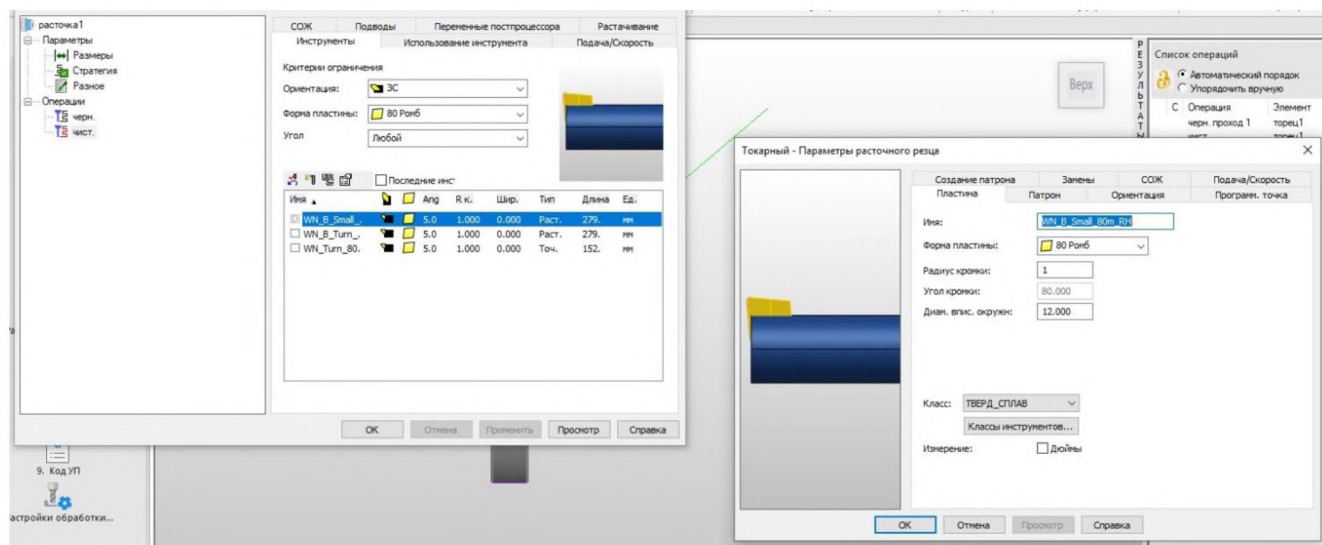


Рисунок 5.2 – Обраний різальний інструмент – різець розточний

					КНУ.КБР.131.26.1-21.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата			

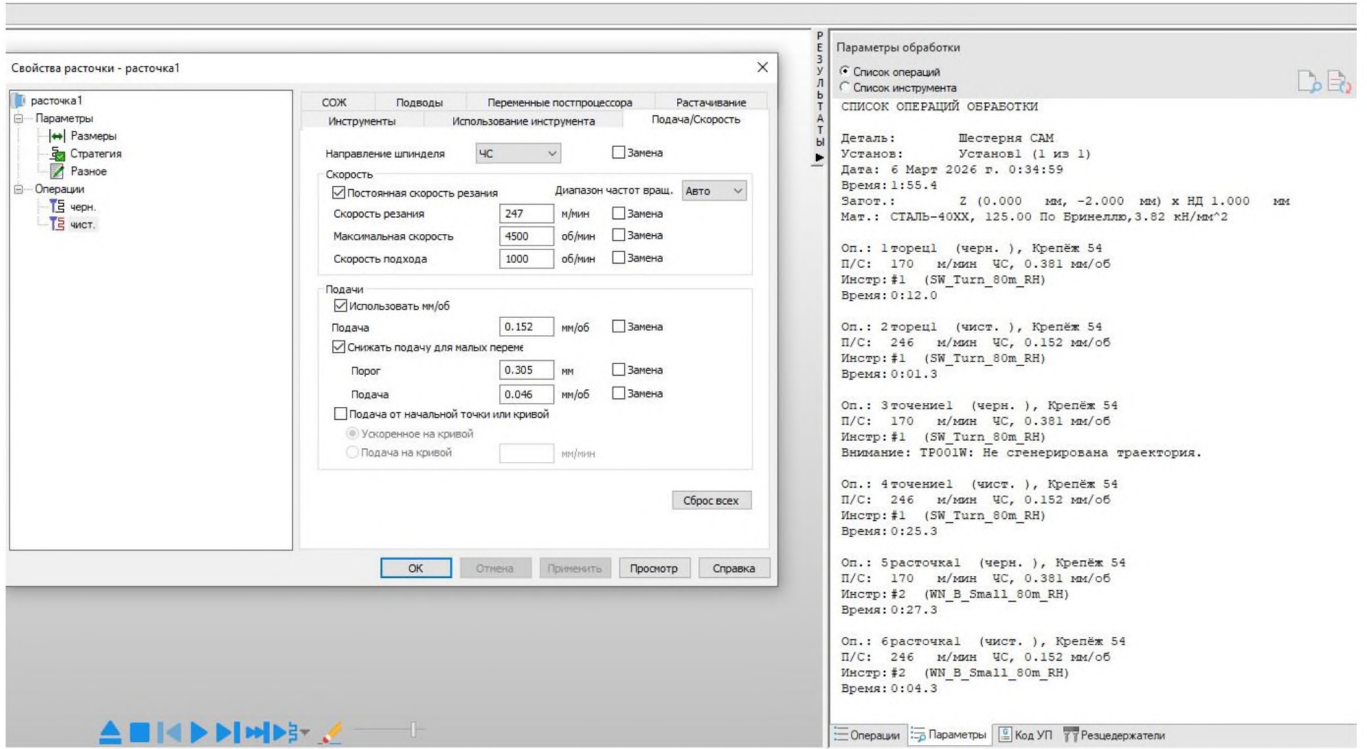


Рисунок 5.3 – Режими різання та «Список операцій обробки» деталі

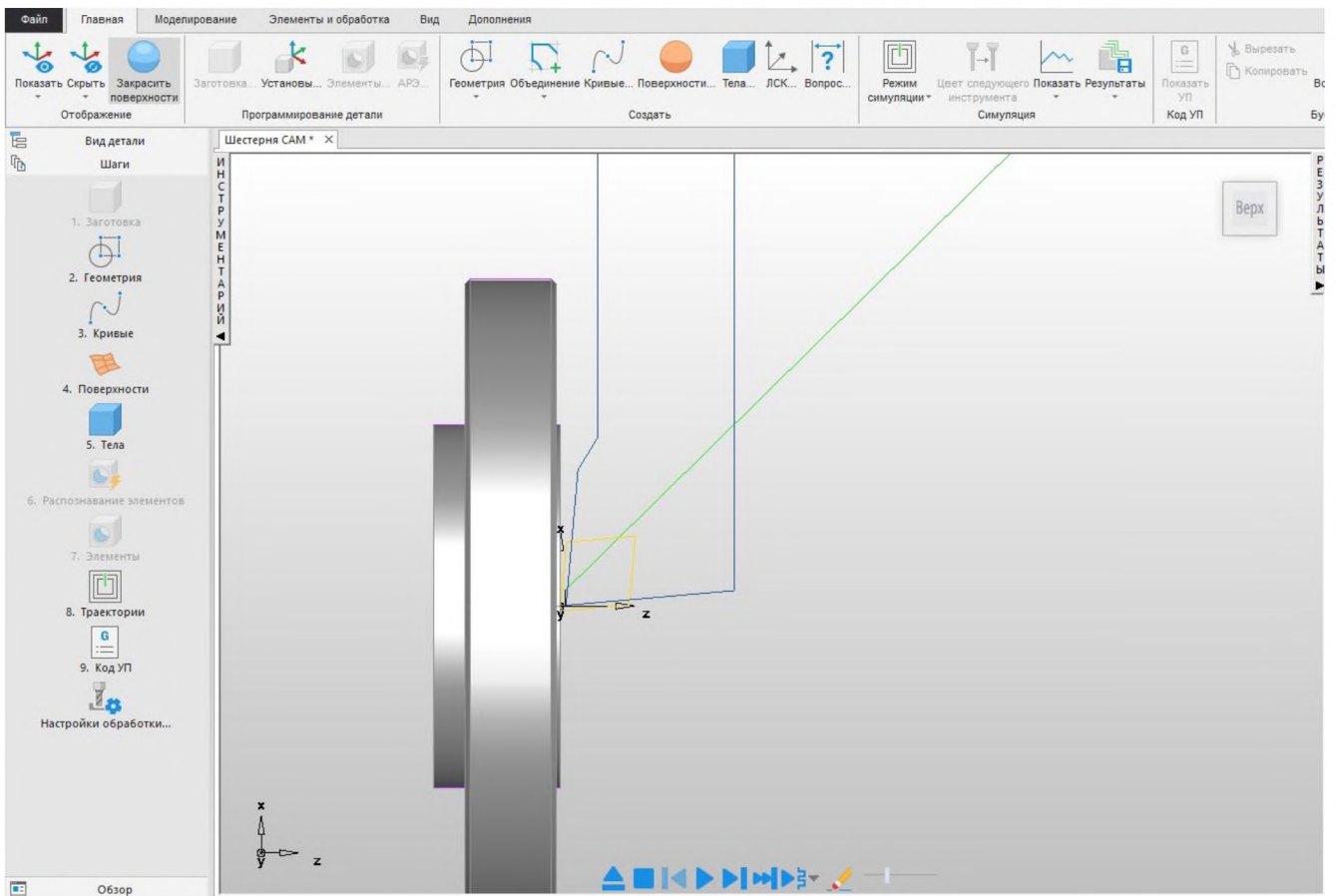


Рисунок 5.4 – Візуалізація обробки деталі – підрізання торця

					КНУ.КБР.131.26.1-21.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



					КНУ.КБР.131.26.1-21.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Виконано техніко-економічне обґрунтування та визначено собівартість виготовлення деталі «Шестерня» для двох альтернативних варіантів технологічного процесу механічної обробки. У процесі дослідження проаналізовано ефективність модернізації виробництва шляхом заміни морально та фізично зношеного обладнання – двох токарно-гвинторізних верстатів моделі 16K20 – на горизонтальний токарний верстат з ЧПК Ні-ТЕСН 200 А.

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

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Вихідні дані			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16K20	16K20	Ні-ТЕСН 200 А
Деталь			
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	2000		2000
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	20		20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3		3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	16	9	17
Час наладки верстата, хв.	16	16	22
Розряд: контролера верстатника наладчика наладчика інструменту	5		5
	4	4	2
	3	3	5
	4	4	4
Кількість кадрів програми, шт.			220
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	270		270

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Організаційно- економічна підготовка виробництва		
Розроб.	Осташко						
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Арк.шіф
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22		

Продовження таблиці 6.1

Вартість комплекту спец. пристосувань К _{пр} , грн	50000	50000	55000
Оптова ціна на прокат одного УСП Ц _{усп} , грн			
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1,5	1,5	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 к _т	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.			8,9
Вартість розробки ПК К _{пк} , грн.			1958
Середньочасова зарплатня робітника, грн:			
верстатника Н _{ст}	130	130	130
наладчика Н _{нал}	135	135	135
наладчика інструмента Н _{ін}	120	120	120
контролера Н _к	115		115
Верстати			
Клас точності верстата	Н	Н	А
Маса верстата, т	6,875	6,875	4,5
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,545 x 2,01	5,545 x 2,01	2,65x 1,68
Габарити пристрою ЧПК, м			0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК			Fanuc 0i-TD
Строк служби верстата до капітального ремонту Т _{рц} , років	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	17	17	14
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:			
механічної частини R _м	18,6	18,6	26,86
електротехнічної частини R _е	13,4	13,4	18,8

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d, шт	1	1	2
Оптова ціна верстата Ц, грн.	295000	295000	1835000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,7	0,45	0,9
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	9,0	9,0	4,5
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	4	3,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата Ф _{об} , год	4055	4055	3935
Виробничі та інші площі			
Вартість 1 м. кв. площі механічної Ц _{пл.зд.} , грн	500		500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення Ц _{сл. поб.} , грн	1000		1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого А _б , м. кв.	7		7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху Н _{пл} , грн.	180	180	200

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників			
Дані	Базовий варіант		Новий варіант
	16K20	16K20	Hi-TECH 200 A
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	650	400	1300
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,33333	5,333333	7,333333333
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0	0,00	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	53,95	33,2	107,9
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,35	0,22	0,35
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0029	0,0039
(дійсна)	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0	0,0000	0,01075
(дійсна)	0	0	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,03	0,02	0,06
(дійсна)	1		1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,18
(дійсна)	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	5		5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,23	0,18	0,37

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ	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															
										<table><tr><td>C_1 на деталь =</td><td>161,17</td></tr><tr><td>C_2 на деталь =</td><td>119,72</td></tr></table>		C_1 на деталь =	161,17	C_2 на деталь =	119,72
C_1 на деталь =	161,17														
C_2 на деталь =	119,72														
I_3	I_n	I_{in}	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k				
$C_1 = 225363$	$+ 2264,37$	$+ 0,00$	$+ 0,00$	$+ 37333,3$	$+ 0$	$+ 6307,07$	$+ 2505,47$	$+ 35000$	$+ 3538$	$+ 0$	$+ 10022,25 =$	322333,59			
$C_2 = 140449$	$+ 1556,76$	$+ 234,00$	$+ 652,67$	$+ 20533,3$	$+ 0$	$+ 19256,49$	$+ 3024,00$	$+ 35000$	$+ 5604$	$+ 719,84$	$+ 12408,50 =$	239438,76			
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	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$										
$K_1 = 133328$	$+ 6960$	$+ 35000$	$+ 43214$	$+ 100000$	$+ 0$	$= 318502$									
$K_2 = 363330$	$+ 1496$	$+ 28000$	$+ 35625$	$+ 55000$	$+ 1958$	$= 485409,10$									

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

Приведені витрати			
$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$	C_1	E_n	K_1
370109	322334	0,15	318502
$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$	C_2	E_n	K_2
312250	239439	0,15	485409

Річний економічний ефект		
$E = Z_1 - Z_2$	Z_1	Z_2
57859	370109	312250

Строк окупності				
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$	K_2	K_1	C_1	C_2
2,01	485409	318502	322334	239438,8

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За результатами виконаних розрахунків встановлено, що заміна чотирьох одиниць морально застарілого обладнання одним сучасним верстатом з числовим програмним керуванням дає змогу суттєво скоротити час обробки деталей. Запропонований варіант модернізації є економічно обґрунтованим, оскільки термін окупності інвестицій становить 2 роки, а очікуваний річний економічний ефект досягає 57859 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при обробці легованих хромонікелевих сталей

Операції протягання є високопродуктивним методом обробки отворів і зовнішніх поверхонь складного профілю, який характеризується одночасною роботою великої кількості різальних зубців. Це зумовлює специфічні умови формування виробничих факторів, що мають як екологічне, так і гігієнічне значення. Інтенсивність різання, значні контактні напруження, використання мастильно-охолоджувальних рідин і висока точність процесу формують комплекс впливів, які необхідно враховувати при організації безпечного виробництва.

З екологічної точки зору протягування належить до механічних процесів із відносно невисоким рівнем прямих викидів, проте супроводжується утворенням специфічних забруднювачів. Основними джерелами впливу на довкілля є: тверді відходи (металева стружка), відпрацьовані МОР, аерозольні викиди та шумове навантаження. Стружка, що утворюється, має переважно стрічкову або сегментовану форму і може містити залишки мастильних матеріалів, що ускладнює її вторинну переробку. Згідно з Законом України «Про управління відходами», підприємства повинні забезпечувати ієрархію поводження з відходами: запобігання утворенню, підготовку до повторного використання, рециклінг та утилізацію. У цьому контексті доцільним є впровадження систем централізованого збору стружки, її знежирення та брикетування, що дозволяє зменшити об'єм і підвищити економічну ефективність повторного використання.

Мастильно-охолоджувальні рідини становлять одну з найбільших екологічних проблем металообробки. У процесі протягування вони виконують функції зниження тертя, охолодження інструменту та видалення стружки, проте з часом забруднюються металевими частинками, бактеріями та продуктами окислення. Потрапляння таких рідин у навколишнє середовище без очищення заборонене відповідно до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища». Сучасні підходи передбачають використання замкнених систем циркуляції МОР, застосування фільтраційних установок (магнітних, гравітаційних, центрифужних), а також біостійких і малотоксичних складів рідин.

Особливу увагу слід приділити повітрю робочої зони. У процесі різання утворюється масляний туман, який може містити дрібнодисперсні частинки розміром менше 10 мкм. Вони легко проникають у дихальні шляхи людини та можуть викликати професійні захворювання. Відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря» необхідно забезпечувати очищення повітря та контроль концентрацій шкідливих речовин. Для цього застосовуються локальні

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відсмоктувачі, масловловлювачі, електростатичні фільтри та системи загальнообмінної вентиляції.

Акустичне забруднення є ще одним важливим фактором. Робота протяжних верстатів супроводжується шумом, який формується внаслідок різання, вібрації інструменту та роботи приводів. Тривалий вплив шуму понад допустимі рівні може призвести до зниження слуху та нервово-психічних розладів. Нормування шуму здійснюється відповідно до санітарних норм і стандартів безпеки праці. Для його зниження використовуються конструктивні заходи (балансування механізмів, демпфування), а також організаційні (режими роботи, чергування операцій).

З точки зору охорони праці, протягування характеризується рядом небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До небезпечних належать: рухомі частини верстата, можливість обриву протяжки, виліт стружки, а також ризик затягування одягу. Шкідливими факторами є шум, вібрація, аерозолі МОР та несприятливий мікроклімат. Основні вимоги до забезпечення безпеки визначені Законом України «Про охорону праці», який передбачає пріоритет життя і здоров'я працівника.

Організація безпечної роботи на протяжних верстатах включає низку технічних і організаційних заходів. До технічних належать: оснащення верстатів захисними кожухами, блокувальними пристроями, аварійними вимикачами; використання автоматичних систем подачі та видалення заготовок; контроль стану інструменту. Важливою є також перевірка кріплення протяжки, оскільки її руйнування може мати тяжкі наслідки.

Організаційні заходи включають проведення інструктажів, навчання персоналу, медичні огляди та контроль дотримання правил безпеки. Відповідно до Типового положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці працівники повинні регулярно підтверджувати свої знання з безпеки праці.

Засоби індивідуального захисту є невід'ємною частиною системи безпеки. При роботі на протяжних верстатах застосовуються: захисні окуляри або щитки для захисту від стружки, рукавиці для роботи з заготовками (з урахуванням вимог безпеки), спецодяг, а також протишумові навушники. У разі роботи з інтенсивним утворенням аерозолів можуть використовуватися респіратори.

Окремим аспектом є ергономіка робочого місця. Розташування органів керування, висота робочих поверхонь, освітлення повинні відповідати антропометричним характеристикам працівника. Недотримання цих вимог призводить до підвищеної втоми, зниження продуктивності та зростання ризику травматизму.

Сучасні тенденції розвитку металообробки передбачають впровадження екологічно чистих і безпечних технологій. До них належать: мінімально-змазувальне різання (MQL), використання сухого різання, автоматизація процесів, цифровий моніторинг стану обладнання. Такі підходи дозволяють значно зменшити негативний вплив на довкілля та покращити умови праці.

Таким чином, розширений аналіз показує, що екологія виробництва та охорона праці при протягуванні є складною багатофакторною системою.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.ОЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ефективне управління цією системою можливе лише за умови дотримання нормативних вимог, впровадження сучасних технологій і постійного контролю за станом виробничого середовища.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У КБР розглянуто комплексне завдання з проектуванням спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Шестерня» та проведенням його інженерного аналізу із застосуванням сучасних САЕ-систем. Робота охоплює повний цикл інженерної підготовки виробництва – від аналізу даних до техніко-економічного обґрунтування запропонованих рішень.

У першому розділі виконано аналіз вихідних даних та функціонального призначення об'єкта виробництва. Встановлено, що шестерня є відповідальним елементом коробки швидкостей радіально-свердлильного верстата моделі 2Н55, що визначає підвищені вимоги до точності виготовлення та якості поверхонь. Проведено розрахунок розмірних ланцюгів, що дозволило обґрунтувати необхідні допуски та забезпечити працездатність вузла в складі механізму.

У другому розділі виконано аналіз службового призначення деталі та вимог до якості її поверхонь. Досліджено умови експлуатації шестерні, характер навантажень та зношування. Визначено оптимальний типовий технологічний процес виготовлення, здійснено обґрунтований вибір металорізального обладнання, що забезпечує необхідну точність та продуктивність обробки.

У третьому розділі здійснено вибір металорізальних та допоміжних інструментів для обробки поверхонь деталі. Враховано матеріал заготовки, геометрію зубчастого вінця та вимоги до шорсткості поверхонь.

У четвертому розділі виконано проектування спеціального різального інструменту – евольвентного довбача. Проведено його конструктивний розрахунок та інженерний аналіз у середовищі SOLIDWORKS Simulation. За результатами моделювання підтверджено працездатність інструменту, визначено характер розподілу напружень і деформацій, а також встановлено, що конструкція забезпечує необхідний запас міцності в умовах експлуатації.

У п'ятому розділі здійснено 3D-моделювання та програмування операцій механічної обробки деталі «Шестерня» із застосуванням Autodesk FeatureCAM. Розроблено керуючі програми для токарної обробки на верстаті Hi-TECH 200 А, що дозволило оптимізувати траєкторії інструменту, скоротити допоміжний час та підвищити ефективність обробки.

У шостому розділі проведено розрахунок основних техніко-економічних показників. Встановлено, що впровадження запропонованих рішень є економічно доцільним: очікуваний термін окупності становить близько 2 років, а річний економічний ефект – 57 859 грн. Додатково розглянуто питання екологічної безпеки виробництва та охорони праці при обробці легированих хромонікелевих сталей, визначено основні небезпечні фактори та заходи щодо їх мінімізації.

У цілому виконана робота підтверджує доцільність застосування сучасних CAD/CAE/CAM технологій при проектуванні спеціального різального інструменту та технологічних процесів виготовлення зубчастих коліс.

					<i>КНУ.КБР.131.26.1-21В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Осташко</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>Арх.шіф</i>
						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-22</i>	

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. Каталог SECO – Токарна обробка. 2020р.
4. Каталог EROGLU – Допоміжний інструмент. 2020р.
5. Каталог LucaAbrasive – «Абразивний інструмент» 2015р
6. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.
7. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.
8. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення
9. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.
10. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					КНУ.КБР.131.26.1-21.СВД				
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата					
Розроб.		Осташко			Список використаних джерел				
Перевір.		Рязанцев							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев							
					Літ.	Арк.	Архив		
					Каф. ТМ, гр. ПМ-22				

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

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО- ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь
деталі «Шестерня» та його інженерний аналіз за допомогою САЕ-
систем

Виконав здобувач гр. ПМ-22

(підпис)

Владислав ОСТАШКО

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

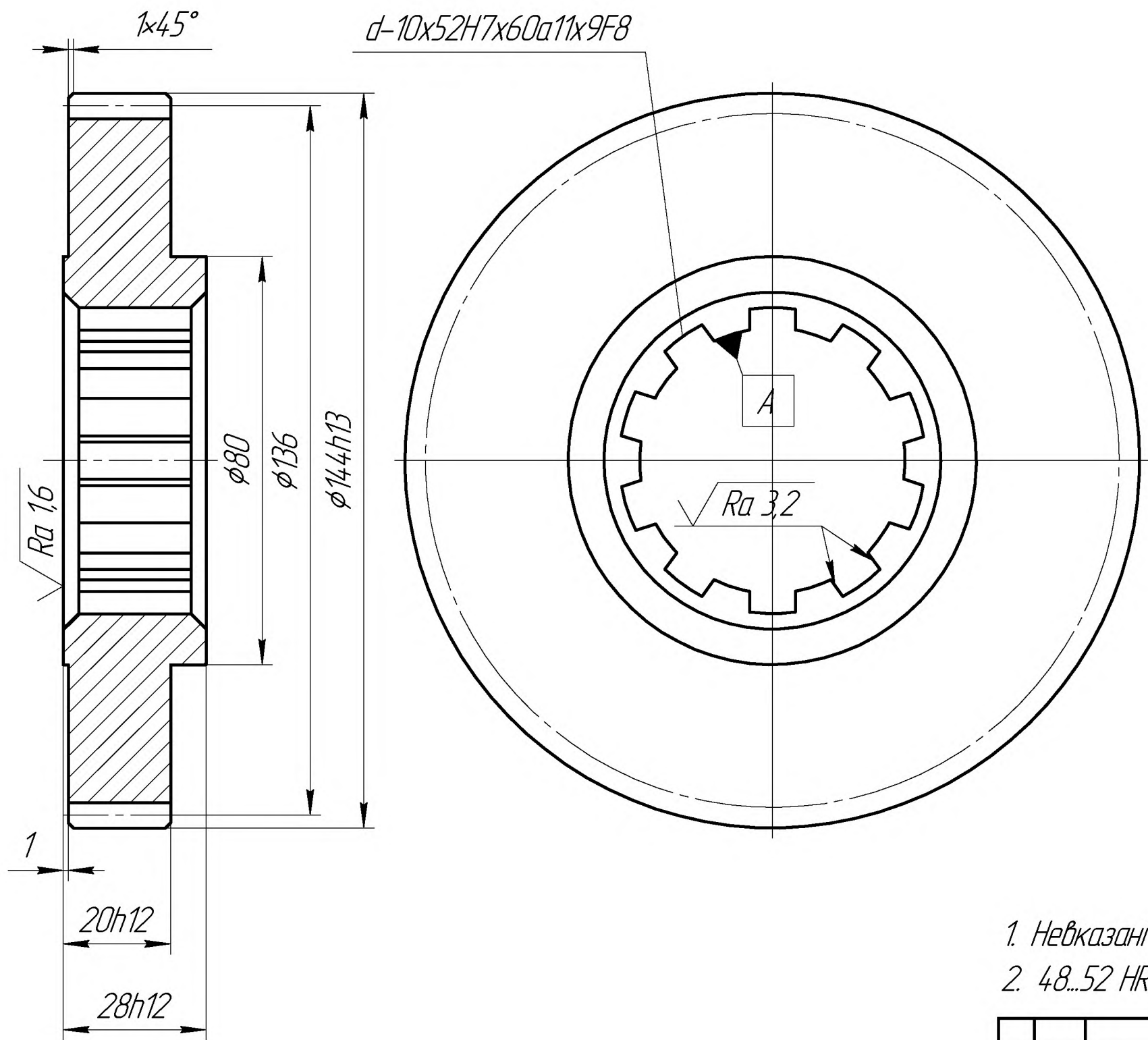
Завідувач кафедри

(підпис)

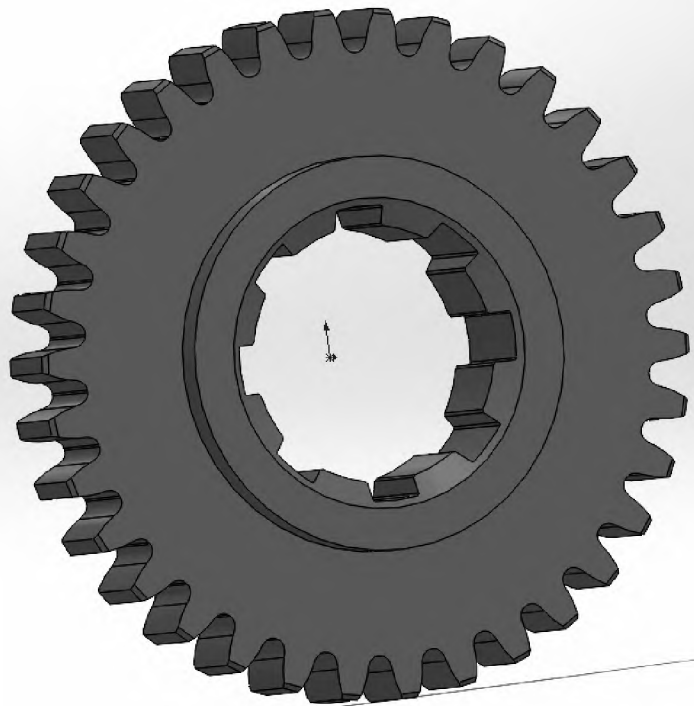
Антон РЯЗАНЦЕВ

Перв. примен.		Справ. №		Подп. и дата		Инв. № дубл.		Взам. инв. №		Подп. и дата		Инв. № подл.		Изм. Лист		№ докум.		Подп.		Дата		Лит.		Лист		Листов	
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание											Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.		Лист	Листов		
				Креслення																							
A3		1	КНУ.КБР.131.26.1-21.КГ	Шестерня	1																						
A3		2	КНУ.КБР.131.26.1-21.Д	Довбач	1																						
A1		3	КНУ.КБР.131.26.1-21.ВІН	Верстатно-інструментальне налагодження	1																						
A3		4	КНУ.КБР.131.26.1-21.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1																						
A3		5	КНУ.КБР.131.26.1-21.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1																						
КНУ.КБР.131.26.1-21.ВКІЗА																											
Відомість креслень та інформаційно-засвідчуючих аркушів КБР																											
Кафедра ТМ гр. ПМ-22																											
Формат А4																											

✓ Ra 6,3 (✓)



Кількість зубів	z	34
Кут профілю ріжучого інструменту	α	20°
Висота головки зуба	h'	4
Повна висота зуба	h	9
Товщина зуба по дузі діл. кола	S_{dk}	6,283
Ступінь точності за ISO 1328-1:2013		7-7-7D

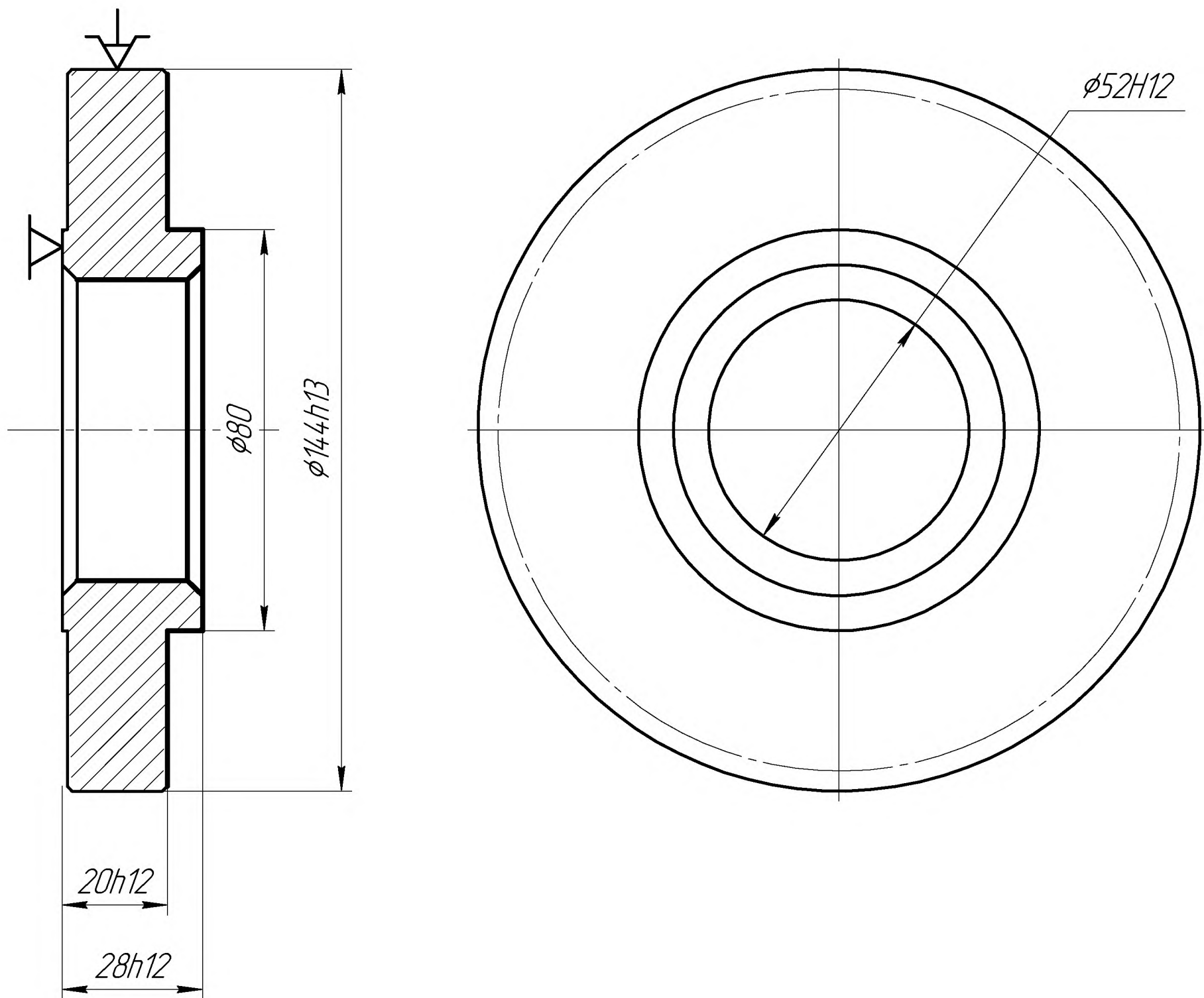


1. Невказані граничні відхилення H14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$.
2. 48...52 HRC, h0,8...1,2. поверхні зубів

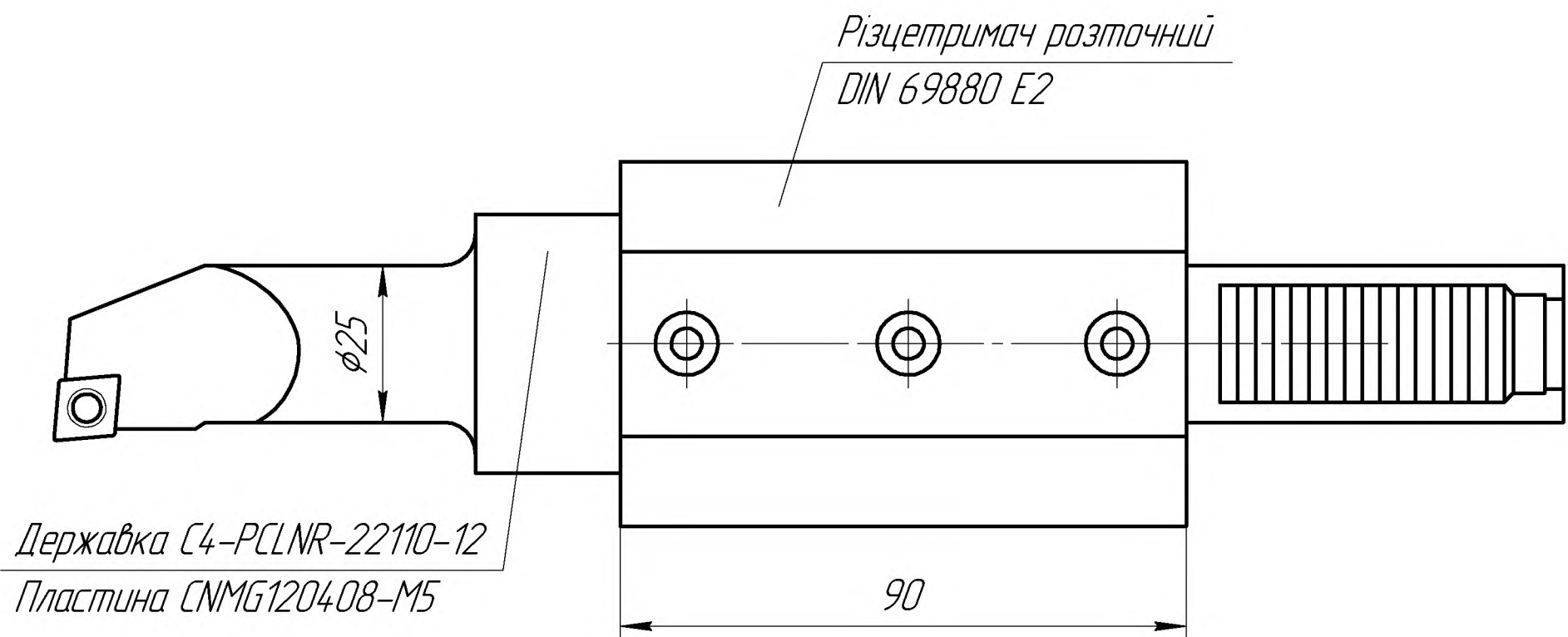
КНУ.КБР.131.26.1-21Ш					Шестерня		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Разробив	Осташко				Н		1:1
Керівник	Рязанцев				Аркцш	Аркцшів	1
Н.контр.	Нечаев				Сталь 45 ДСТУ 7809:2015		
Затв.	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		

					КНУ.КБР.131.26.1-21.Д				
					Довдач	Літ.	Маса	Масштаб	
						Н		1:1	
						Аркцш	Аркцшів	1	
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Сталь Р6М5 ДСТУ 4738:2007	Кафедра ТМ			
Розробив		Осташко				гр. ПМ-22			
Керівник		Рязанцев							
Н.контр.		Нечаєв							
Затв.		Рязанцев							

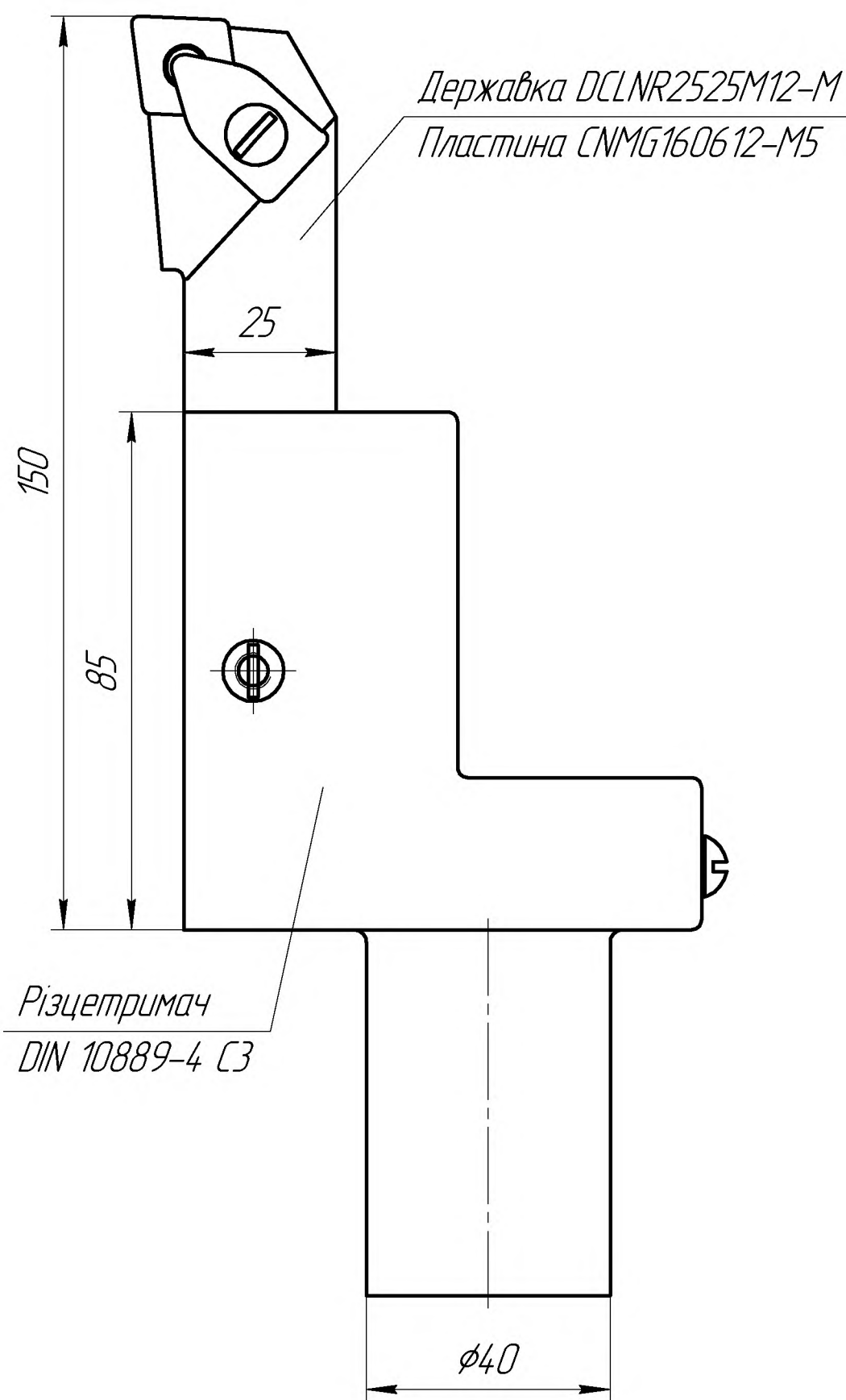
Операція токарна з ЧПК, верстат моделі HI-TECH 200 серії A



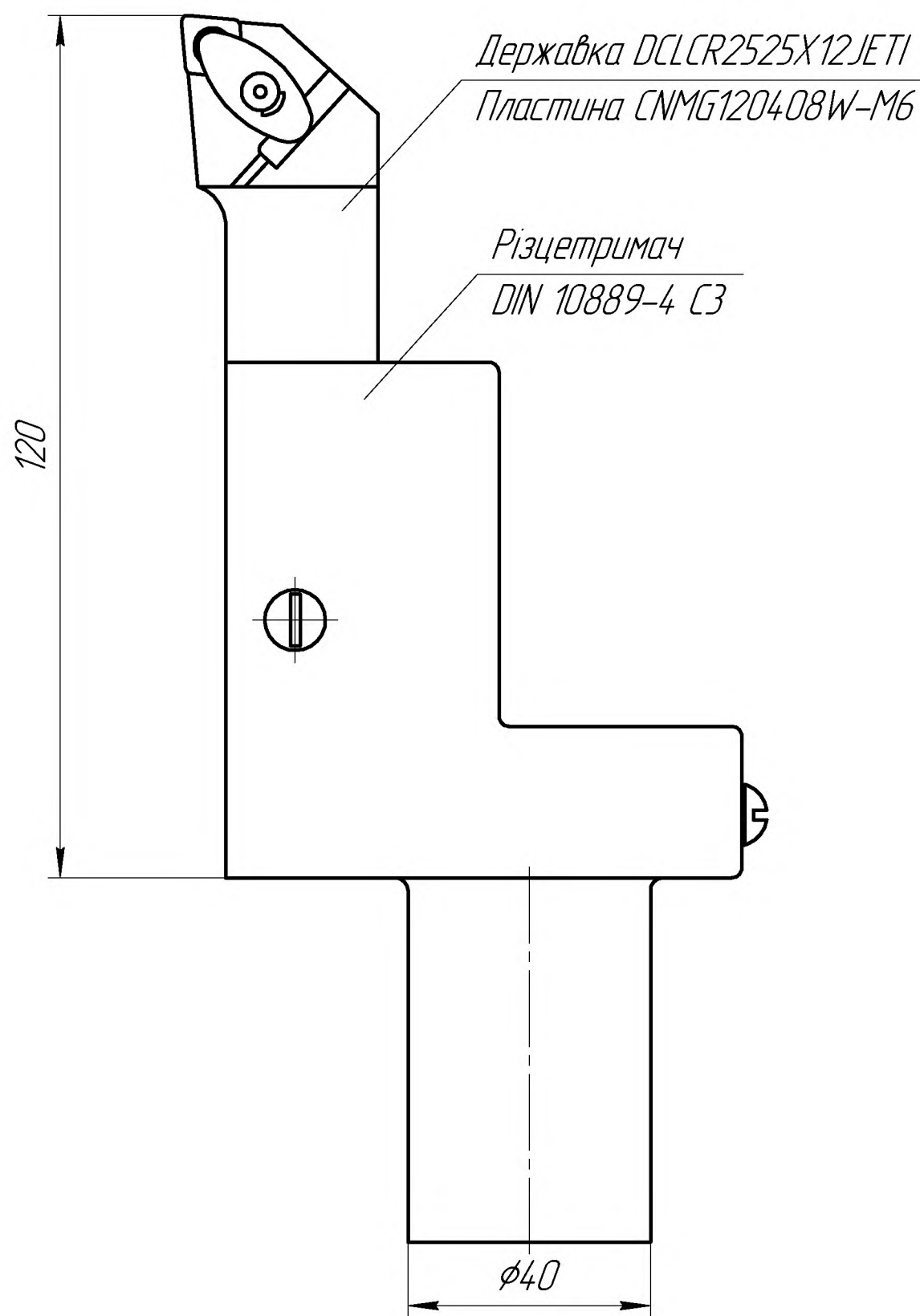
Поверхні: 8



Поверхні: 1, 3, 7



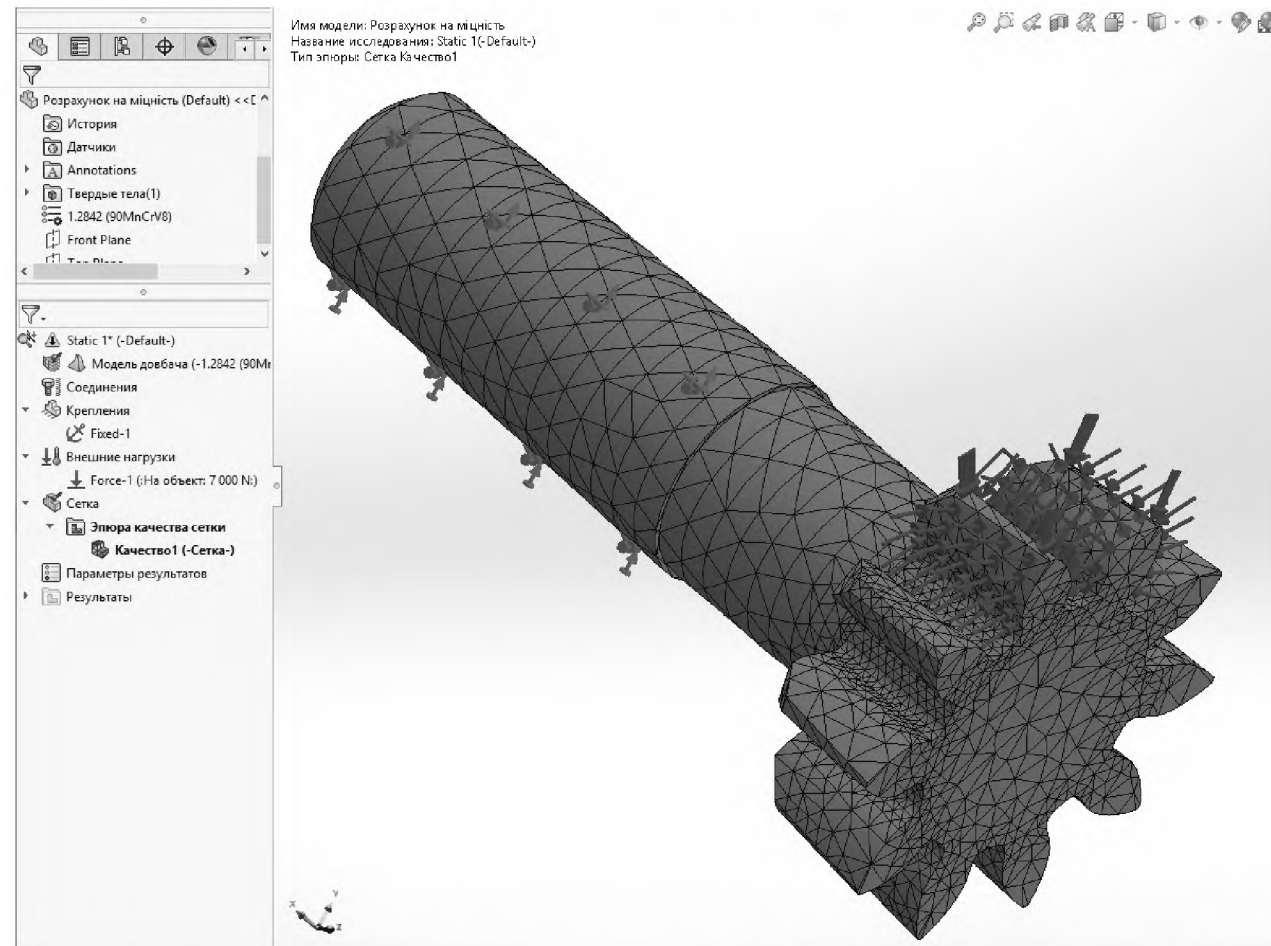
Поверхні: 2, 4, 5, 6



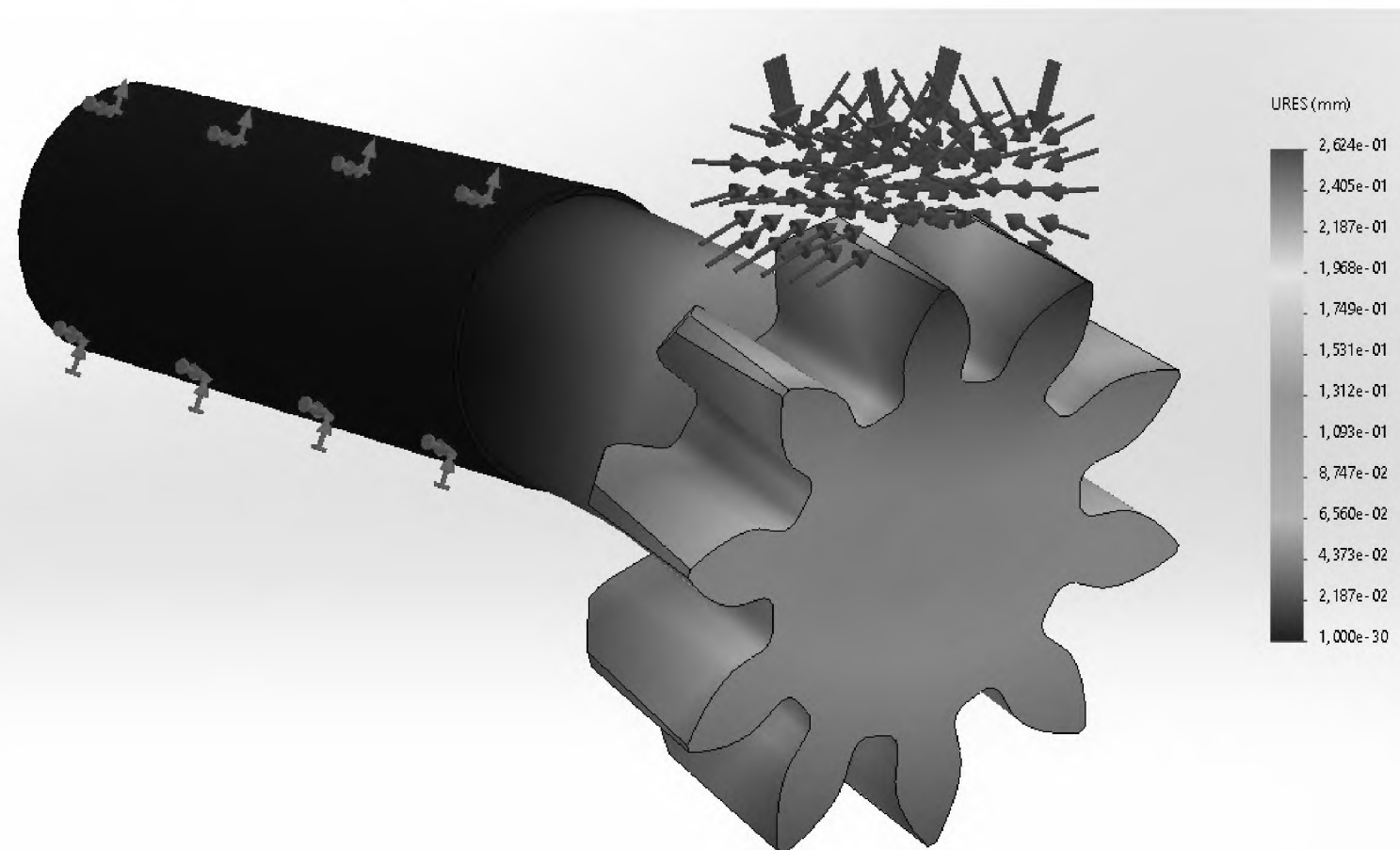
Типи різців	Шифр державки	Шифр пластини	Пластина	Матеріал пластини	Геометричні параметри пластини, мм	Геометричні параметри державки, мм
Підрізний різець	DCLNR2525M12-M	CNMG160612-M5		TP3501	IC=12,7; L=12,9; S=4,76; D1=5,15; RE=0,4; EPSR=80°; α=0°; γ=0°	H=25; B=25; WF=32; LF=150; LH=30; KAPR=95°
Прохідний різець	DCLNR2525X12JETI	CNMG120408W-M6		TP3501	L=12,9; IC=12,7; S=4,76; D1=5,15; RE=0,8; EPSR=80°; α=0°; γ=0°	H=25; B=25; OAL=120; LF=36; WF=32,2; HF=32; KAPR=95°
Розточний різець	C4-PCLNR-22110-12	CNMG120408-M5		TP1501	IC = 12,7; L =12,9; S = 4,76; D1 = 5,15; RE = 0,8	BD=32; DCSFMS=40; WF=22; LF= 110; LU=89; DCINN=40; KAPR=95°

КНУКБР.131.26.1-21ВІН				Верстатньо-інструментальне налагодження			Лист	Маса	Масштаб
Зм.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата	Н		1		1:1
Разроб.	Останко				Архив	Архив	1		
Керівник	Рязанцев				Кафедра ТМ гр. ПМ-22				
Н.контр.	Нечасов								
Затв.	Рязанцев								

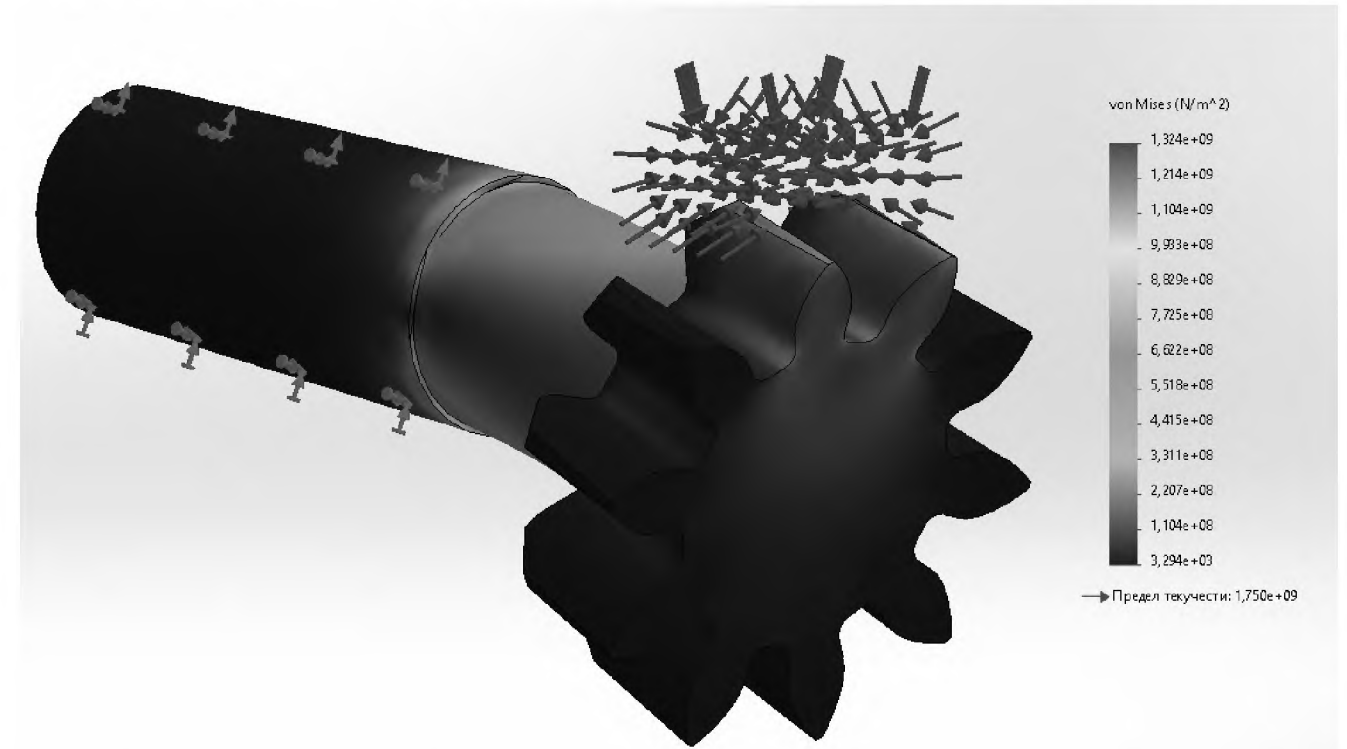
Сітка кінцевих елементів



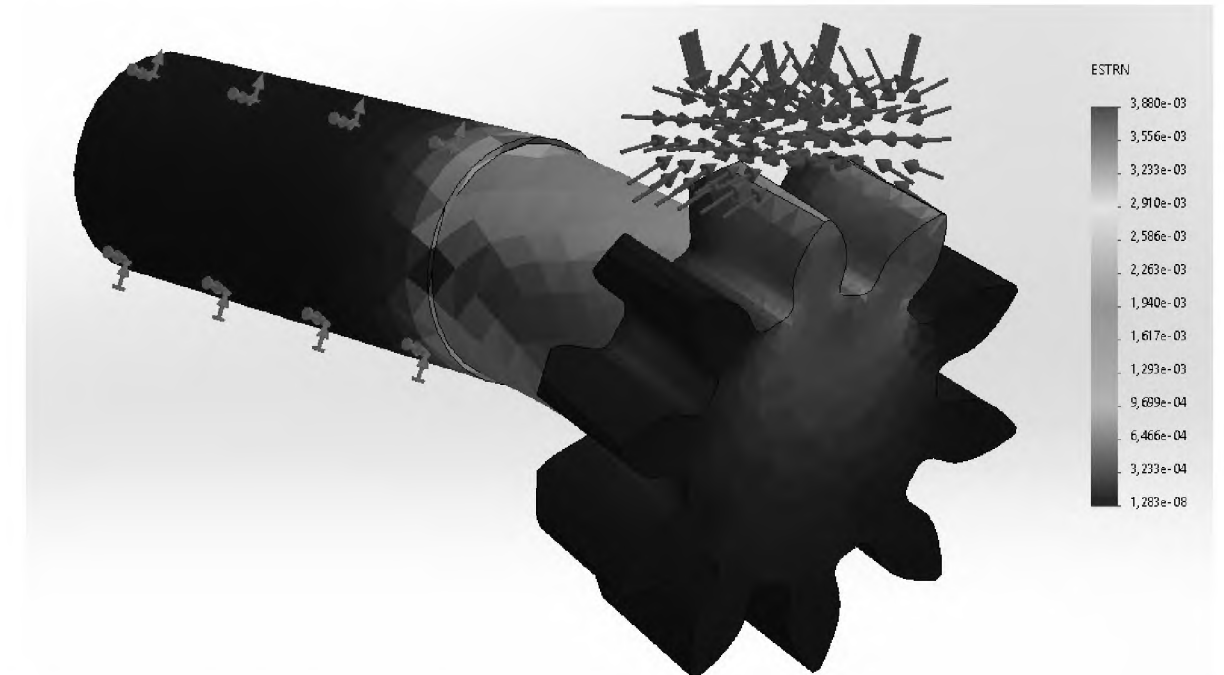
Симуляція «Переміщення» в SolidWorks Simulation



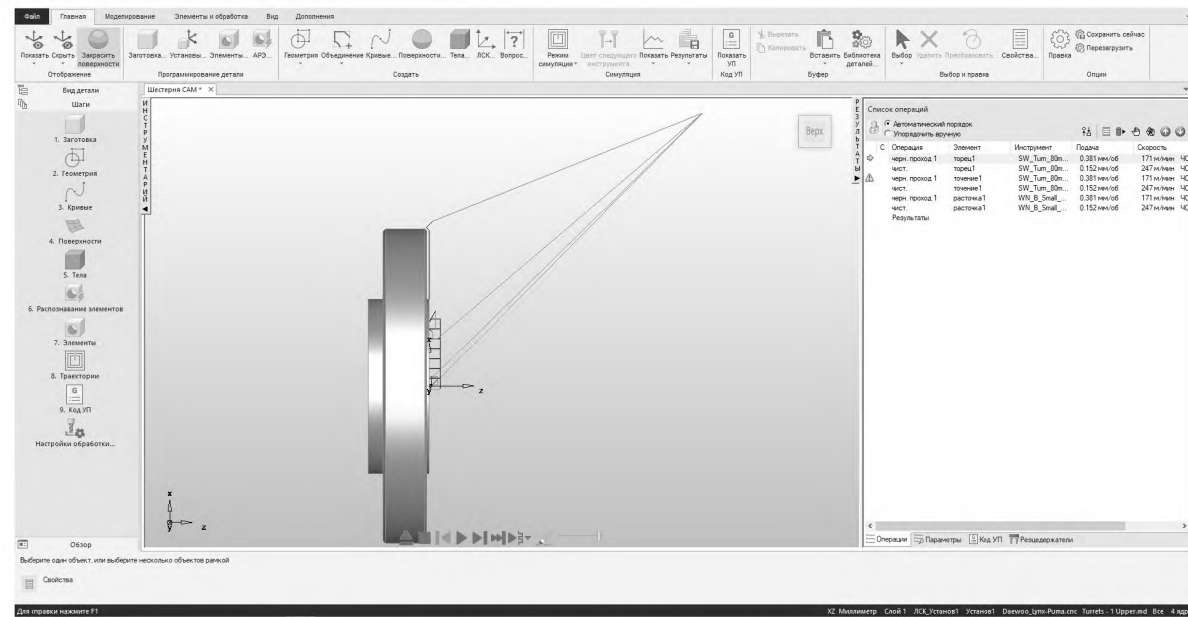
Симуляція «Напруження» в SolidWorks Simulation



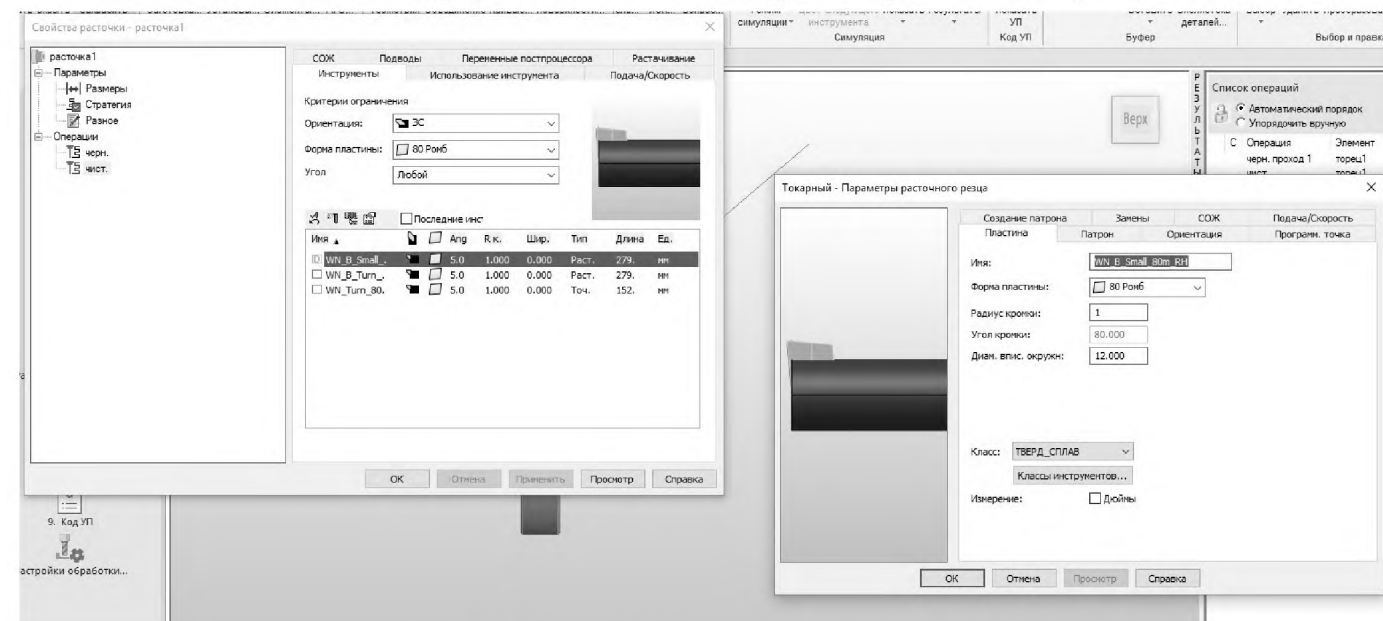
Симуляція «Деформація» в SolidWorks Simulation



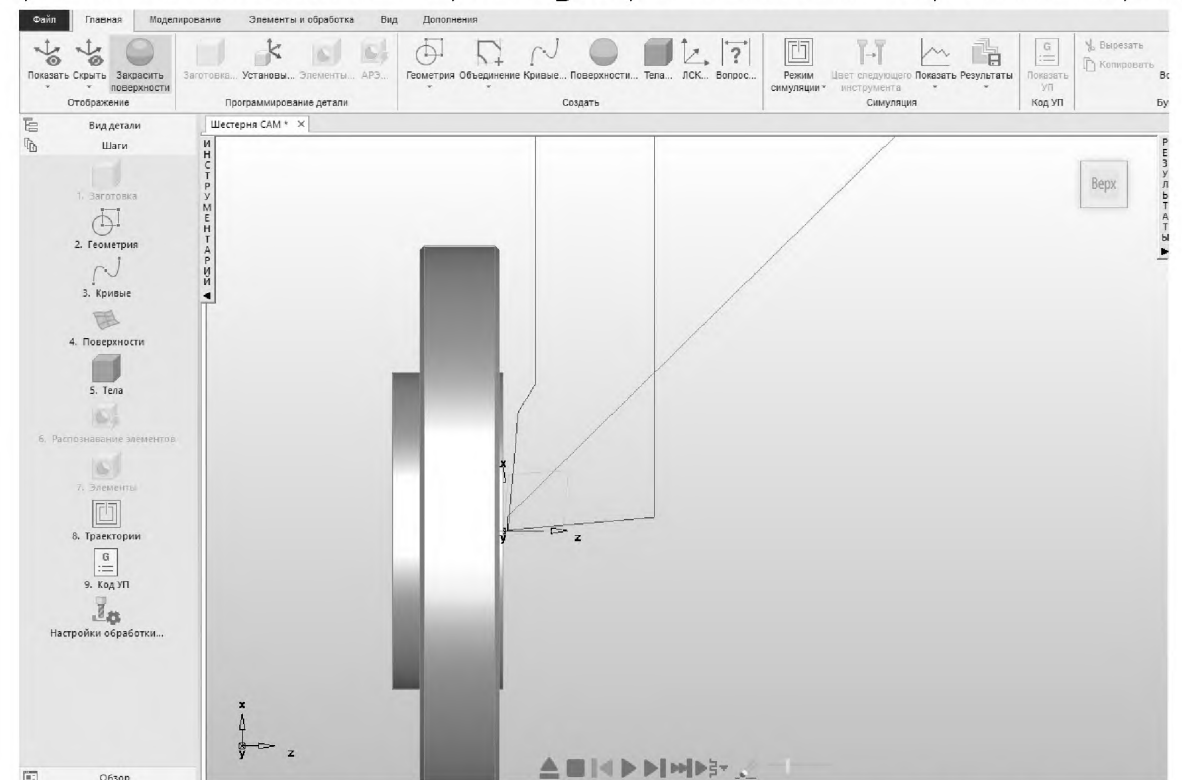
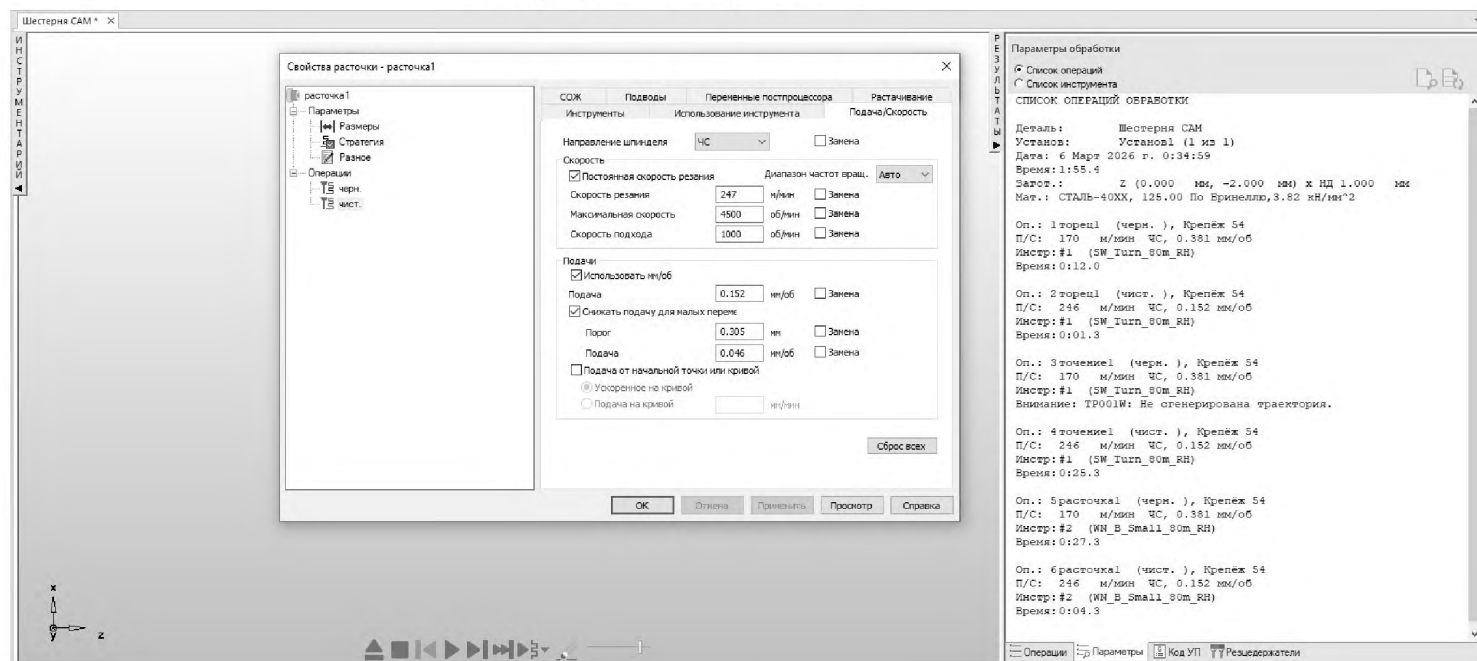
КНУ.КБР.131.26.1-21.ІАСРІ					Інженерний аналіз спеціального різального інструменту		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Лім.	Маса	Масштаб
Розробив	Осташко				Н		
Керівник	Рязанцев				Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Затв.	Рязанцев						



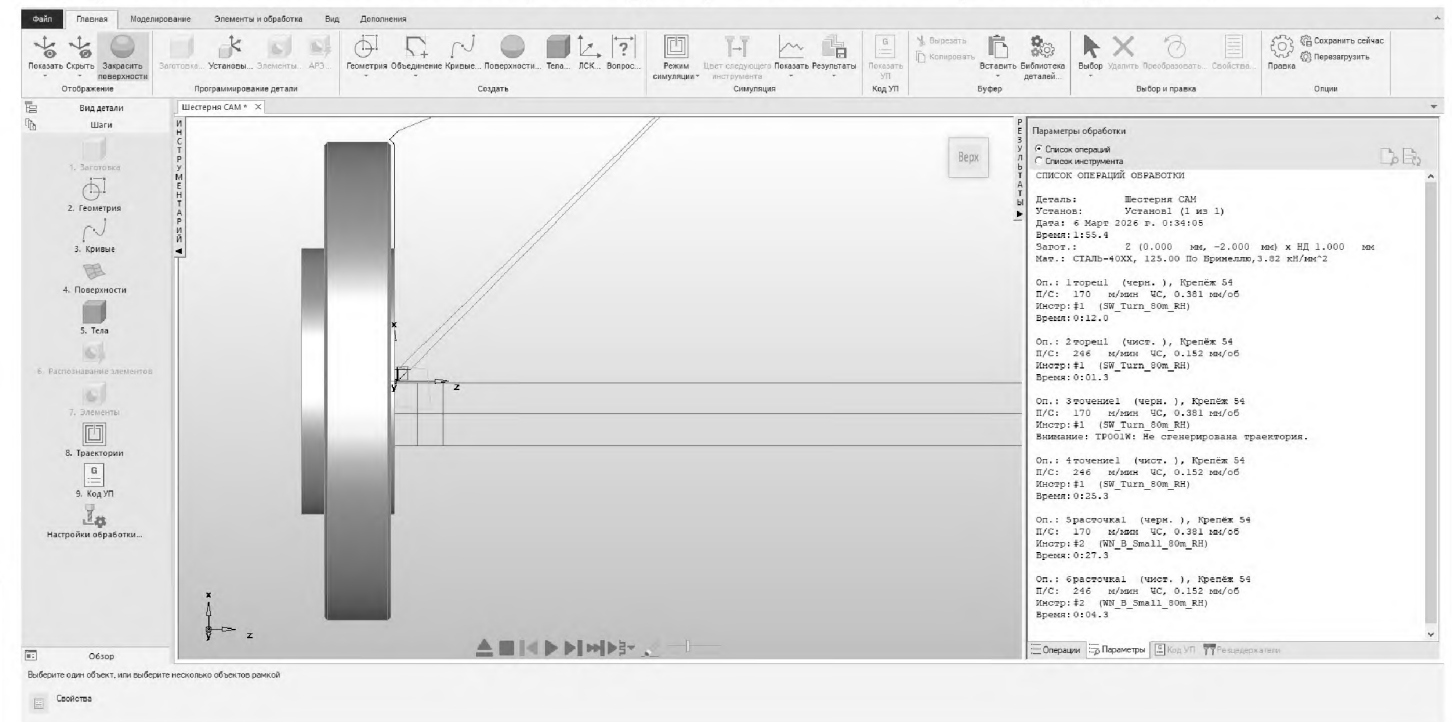
Етап вибору різального інструменту в меню програми



Вибір режимів різання



Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (розточування)



				КНУ.КБР.131.26.1-21МПМО		
				Лит.	Маса	Масштаб
				Н		
				Лист	Листів	1
				Кафедра ТМ гр. ПМ-22		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання процесу механічної обробки		
Розробив	Осташко					
Керівник	Рязанцев					
Н.контр.	Нечаев					
Затв.	Рязанцев					