

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 «Шпindel» та обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР технологій

Виконав: здобувач групи ПМ-21
Воробйов Ф.М.

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

Кривий Ріг
2025 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Шпindel» та обґрунтування параметрів різального
інструменту з використанням САПР технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-21

(підпис)

Федір ВОРОБІЙОВ

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-21 Воробйова Федіра Михайловича

1. Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Шпindel» 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. Шпindel. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Свердло-зенківка. 4. Моделювання процесу обробки. 5. Інженерний аналіз спеціального різального інструменту.

6. Календарний план:

№ з/п	Етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра	Термін виконання
1.	Розробка та узгодження технічного завдання	25.02.2025
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).	18.03.2025
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	24.03.2025
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	05.04.2025
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	12.04.2025
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	19.04.2025
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	25.04.2025
11.	Креслення спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	01.05.2025
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	04.05.2025
13.	Вибір допоміжних інструментів.	08.05.2025
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального налагодження (А1-А2)	12.05.2025
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	15.05.2025
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	22.05.2025
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.2025
18.	Висновки	01.06.2025
19.	Оформлення РПЗ	07.06.2025
20.	Попередній захист	15.06.2025

Дата видачі завдання: «_____» _____ 2025 р.

Завдання видав керівник КБР

/Рязанцев А.О./

Завдання отримав
здобувач освіти

/Воробйов Ф.М./

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 51 стор., 41 рисунок, 11 таблиць, 5 листів графічної частини.

Метою роботи є розробка ефективного технологічного процесу виготовлення деталі «Шпиндель» з урахуванням вимог до точності, економічності та продуктивності, а також обґрунтування параметрів різального інструменту з використанням САПР-технологій.

Об'єктом дослідження є процес технологічної підготовки виготовлення машинобудівної деталі «Шпиндель».

Предметом дослідження є методика проектування технологічного процесу виготовлення шпинделя та параметри різального інструменту, які визначають ефективність та якість механічної обробки, із застосуванням сучасних САПР-систем.

Дане дослідження охоплює комплекс питань, пов'язаних із проектуванням технологічного процесу виготовлення точної машинобудівної деталі – шпинделя, з акцентом на оптимізацію вибору параметрів різального інструменту, використовуючи сучасні засоби автоматизованого проектування (САПР).

У сучасному машинобудуванні високий рівень конкуренції та вимоги до якості продукції зумовлюють необхідність удосконалення процесів технологічної підготовки виробництва. Одним із ключових елементів у цьому процесі є використання САПР-систем, які дозволяють скоротити час розробки технологічної документації, підвищити точність проектування та забезпечити оптимальний вибір режимів обробки. Шпиндель – відповідальна деталь, що часто застосовується в системах передачі обертового руху, зокрема в верстатах та інших механізмах, де важливими є точність, жорсткість та зносостійкість. Тому удосконалення методики його виготовлення має високу практичну значущість.

ШПИНДЕЛЬ, ПЛОСКОШЛІФУВАЛЬНИЙ ВЕРСТАТА, КОМБІНОВАНЕ СВЕРДЛО, МОДЕЛЮВАННЯ, ВИСОКОПРОДУКТИВНЕ ОБЛАДНАННЯ.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.Р		
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата	Реферат Каф. ТМ, гр. ПМ-21		
Розроб.	Вородійов						
Перевір.	Рязанцев						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев						

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 51 pages, 41 figures, 1 tables, 5 sheets of the graphic part.

The aim of this work is to develop an efficient technological process for manufacturing the part "Spindle", taking into account the requirements for precision, cost-effectiveness, and productivity, as well as to justify the parameters of the cutting tool using CAD technologies.

The object of the research is the process of technological preparation for manufacturing the machine-building part "Spindle".

The subject of the research is the methodology for designing the technological process of spindle production and the parameters of the cutting tool that determine the efficiency and quality of machining, using modern CAD systems.

This study covers a range of issues related to the design of the technological process for manufacturing a precision machine part – the spindle – with a focus on optimising the selection of cutting tool parameters using modern computer-aided design (CAD) tools.

In modern mechanical engineering, the high level of competition and product quality requirements necessitate the improvement of production preparation processes. One of the key elements in this process is the use of CAD systems, which reduce the time required to develop technological documentation, improve design accuracy, and ensure optimal selection of machining conditions.

The spindle is a critical component frequently used in systems that transmit rotational motion, particularly in machine tools and other mechanisms where precision, rigidity, and wear resistance are essential. Therefore, improving the methodology for its manufacture has significant practical importance.

SPINDLE, SURFACE GRINDING MACHINE, COMBINED DRILL, MODELLING, HIGH-PERFORMANCE EQUIPMENT.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.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	14
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	22
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	22
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	27
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	29
3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	30
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	32
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	32
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 токарних операціях	48
Висновки	50
Список використаних джерел	51

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-03.3</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Зміст</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Вародійов</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

Метало різальний 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.131.25.1-03.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>	<i>Вародійов</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-21</i>	

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

У якості вихідної інформації для написання бакалаврської кваліфікаційної роботи були використані креслення деталі «Шпиндель» та вузла, до складу якого вона входить, а також річна програма випуску заданої деталі (2000 шт.). На рисунку 1.1 подано 3D модель цієї деталі.

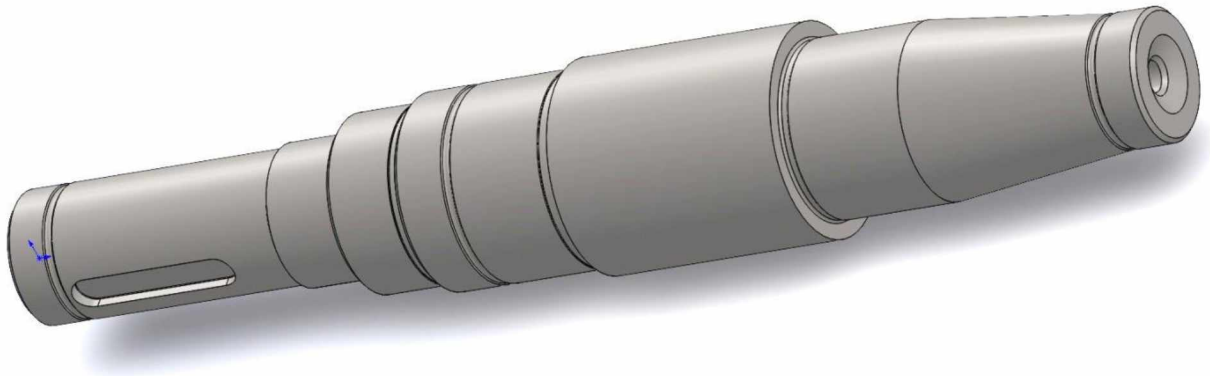


Рисунок 1.1 – Тривимірна модель деталі «Шпиндель»

У ході роботи було розроблено технічне завдання для створення оптимального технологічного процесу виготовлення шпинделя плоскошліфувального верстата мод. 7Л722, а також підібрано найдоцільніший інструмент для обробки.

Були поставлені наступні завдання роботи:

- провести аналіз конструкції деталі та її функціонального призначення;
- розробити технологічний маршрут та вибрати технологічне обладнання;
- обґрунтувати вибір і параметри різального інструменту;
- виконати технологічне моделювання з використанням САПР;
- оцінити ефективність запропонованих рішень та їх вплив на якість та економічні показники виробництва.

Об'єктом дослідження є процес технологічної підготовки виготовлення деталі «Шпиндель».

Предметом дослідження є методика проектування технологічного процесу виготовлення шпинделя та параметри різального інструменту, які визначають ефективність та якість механічної обробки, із застосуванням сучасних САПР-систем.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-03.01.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>Вородійов</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>		

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

Шпиндель є складовою частиною плоскошліфувального верстата мод. 7Л722 (рис. 1.2) та входить до складу шпиндельного вузла. Шпиндельний вузол включає: сам шпиндельний вал, підшипникові опори (часто прецизійні підшипники), корпус шпинделя, систему змащення та охолодження, іноді механізми балансування або автоматичного регулювання. Шпиндельний вузол є критичним елементом верстата, оскільки визначає точність, жорсткість і якість шліфування.

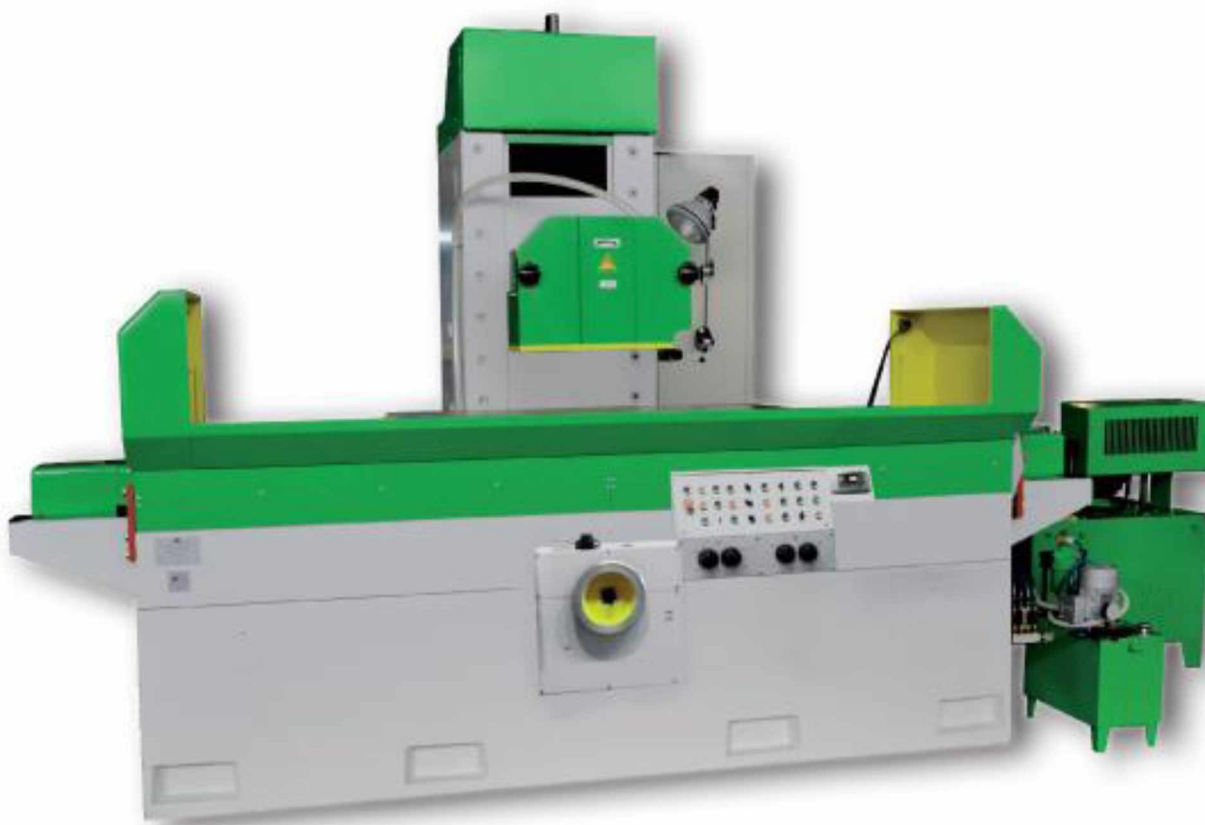


Рисунок 1.2 – Плоскошліфувальний верстат моделі 7Л722

Шпиндель (вал) призначений для: закріплення і обертання шліфувального круга; забезпечує точне й стабільне передавання обертального руху для шліфування плоских поверхонь; підтримує правильну вісь обертання шліфувального круга; гарантує мінімальні биття та вібрації, що критично для досягнення високої точності обробки; передає необхідний крутний момент від приводу до круга; забезпечує надійність і довговічність у важких умовах експлуатації (наприклад, при шліфуванні твердих матеріалів).

Складові елементи верстата наведено на рисунку 1.3, складальне креслення шліфувальної бабки, до якої входить деталь «Шпиндель», на рисунку 1.4, а технічні характеристики представлені в таблиці 1.1.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

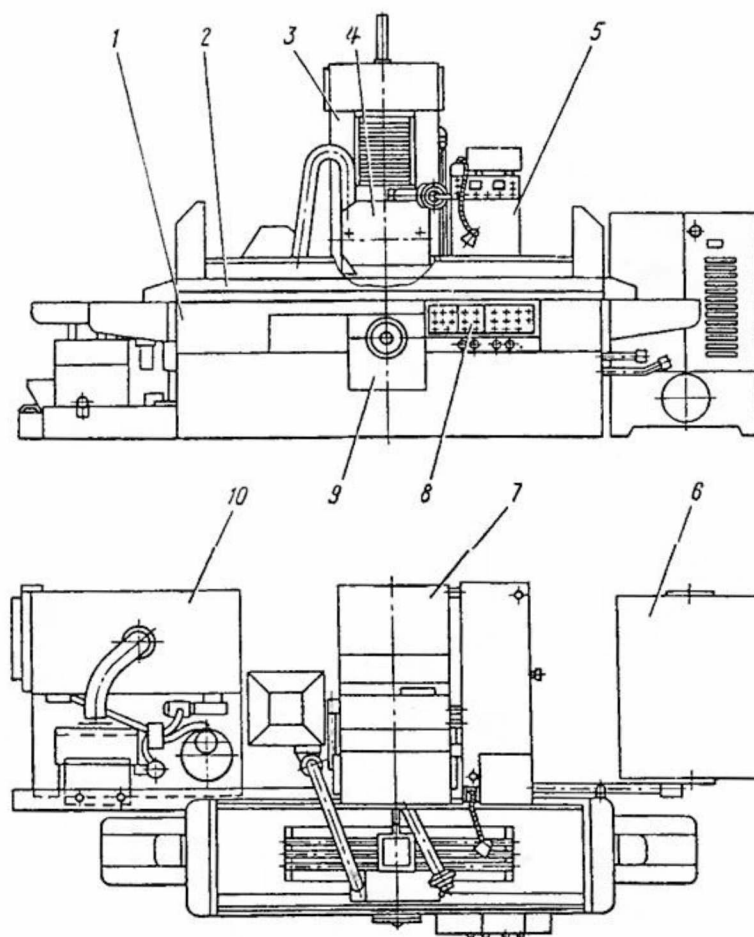


Рисунок 1.3 – Складові частини плоскошліфувального верстата моделі 7Л722:
 1 – станіна; 2 – стіл; 3 – стійка; 4 – шліфувальна бабка; 5 – електрошафа;
 6 – гідроагрегат; 7 – станина стійки; 8 – пульт керування; 9 – редуктор поперечної подачі; 10 – агрегат охолодження

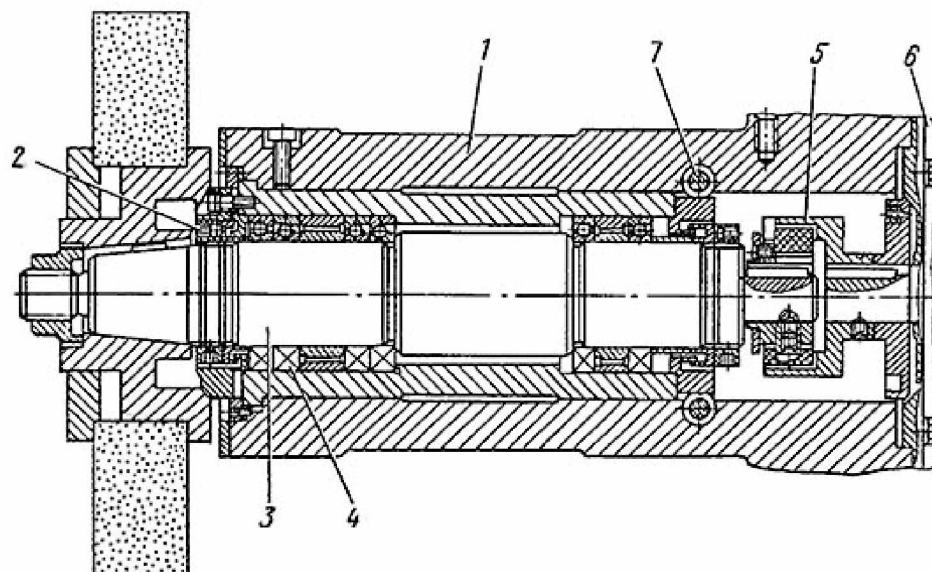


Рисунок 1.4 – Шліфувальна бабка:
 1 – гільза; 2 – регулювальний гвинт; 3 – шпиндель; 4 – підшипники; 5 – пружна муфта; 6 – електродвигун; 7 – клин

					КНУ.КБР.131.25.1-03.01.АСПМ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики плоскошліфувального верстата мод. 7Л722

Показники	Параметри
Найбільші розміри виробів, що обробляються (довжина x ширина x висота), мм	1250 x 320 x 400
Найбільші розміри оброблюваних виробів на електромагнітній плиті (довжина x ширина x висота), мм	1250 x 320 x 280
Найбільша маса виробів, що обробляються на столі, кг	600
Розміри робочої поверхні столу (довжина x ширина), мм	1000 x 320
Швидкість зворотно-поступального руху столу (регулювання безступінчасте), м/хв.	3..35
Число оборотів шліфувального кола за хвилину	1460
Максимальна швидкість шліфування, м/с	34,4
Найбільше вертикальне переміщення шліфувальної бабки, мм	415
Кількість електродвигунів на верстаті	13
Загальна встановлена потужність усіх електродвигунів, кВт	18,25
Габарит верстата (довжина x ширина x висота), мм	4810 x 2660 x 2660
Вага верстата, кг	7000

1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання

Шпиндель має поверхні з зовнішньою метричною різьбою. Проведемо розрахунок різьбового з'єднання.

Параметри різьби – M75x2-7h

M – метрична різьба;

75 – діаметр різьби номінальний, мм;

2 – крок різьби P (не стандартний – дрібний), мм;

7h – поле допуску для середнього діаметру;

7h – поле допуску для зовнішнього діаметру.

1.3.1 Визначаємо номінальні значення діаметрів різьби

Внутрішній – не нормується.

Зовнішній – $d = 75$ мм.

Середній – $d_2 = d - 2 + 0,701 = 75 - 2 + 0,701 = 73,701$ мм.

1.3.2 Визначення граничних відхилень діаметрів

Граничні відхилення залежать від кроку різьби, номінального діаметра та поля допуску:

Для d_2 – поле допуску 7h;

для d – поле допуску 7h.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\varnothing 73,701 - 7h;$$

$$es_2 = 0;$$

$$ei_2 = -224 \text{ мкм.}$$

$$\varnothing 75 - 7h;$$

$$es = 0;$$

$$ei = -280 \text{ мкм.}$$

1.3.3 Визначаємо граничні розміри та величини допусків

$$d_{2\max} = d_2 + es_2 = 73,701 + 0 = 73,701;$$

$$d_{2\min} = d_2 + ei_2 = 73,701 + (-0,224) = 73,477;$$

$$d_{\max} = d + es = 75 + 0 = 75;$$

$$d_{\min} = d + ei = 75 + (-0,280) = 74,720.$$

$$Td_2 = d_{2\max} - d_{2\min} = 73,701 - 73,477 = 0,224;$$

$$Td_2 = es_2 - ei_2 = 0 - (-224) = 224 \text{ мкм.}$$

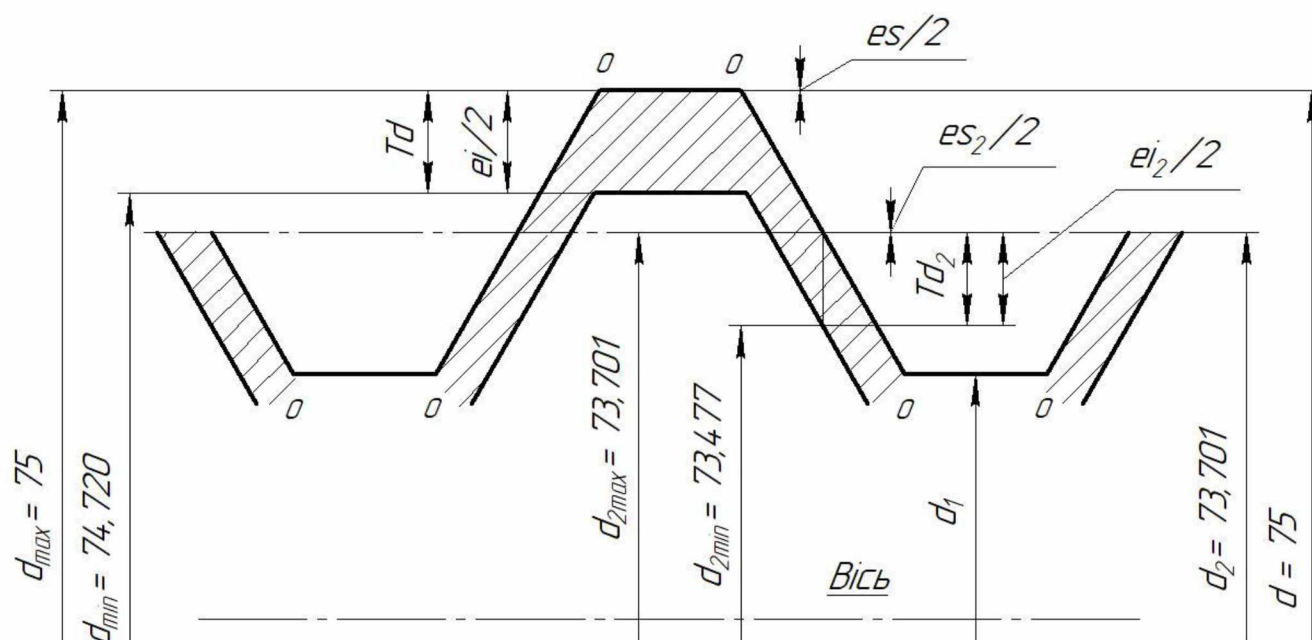
$$Td = d_{\max} - d_{\min} = 75 - 74,720 = 0,280;$$

$$Td = es - ei = 0 - (-280) = 280 \text{ мкм.}$$

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку параметрів різьби

Позначення різьби	Елементи різьби	Розміри (мм)			Допуск, мм
		номінальний	найбільший	найменший	
M75x2-7h	d	75	75	74,720	0,280
	d_2	73,701	73,701	73,477	0,224
	d_1	не нормується			

Схема полів допусків різьбової поверхні шпинделя наведена на рисунку 1.5.



Рисунку 1.5 – Схема полів допусків різьбової поверхні шпинделя (типу гвинт)

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Шпиндель плоскошліфувального верстата є ключовим вузлом, що забезпечує обертання шліфувального круга. Його основне призначення – передавати обертальний рух від приводу до шліфувального круга з необхідною точністю, стабільністю та жорсткістю, що критично важливо для досягнення високої якості обробки поверхні деталі. Заготовка для деталі «Шпиндель» - поковка зі сталі 40ХН2МА.

40ХН2МА - сталь конструкційна легована з вмістом хромонікельмолібдена.

Застосування: шестерні, шатуни, клапани, колінчаті вали, болти, муфти, диски, суцільнокатані кільця, а також валки для холодної прокатки металів.

Замінники 30Х3МФ, 40ХГТ, 40ХГР, 40ХА2МА, 45ХН2МФА.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сталі 40ХН2МА (ДСТУ 7806:2015), %

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
0.37-0.44	0.17-0.37	0.5-0.8	1.25-1.65	до 0.025	до 0.025	0.6-0.9	0.15-0.25	до 0.3

Таблиця 2.2 – Температура критичних точок матеріалу 40ХН2МА

Ac ₁	Ac ₃ (Acm)	Ar ₃ (Arcm)	Ar ₁	Mn
730°C	820°C	550°C	380°C	320°C

Таблиця 2.3 – Закордонні аналоги матеріалу 40ХН2МА

США	Германія	Франція	Англія	Болгарія	Польща
-	DIN, WNr	AFNOR	BS	BDS	PN
4340	1.6511	35NCD5	34CrNiMo6	36CrNiMo4	36HN
9840	1.7225	35NCD6	36NiCrMo4	40ChN2MA	40HNM
G43400	34CrNiMo6	36NiCrMo4	708M40		A
G43406	36NiCrMo4	40NCD3	816M40		
G98400	40NiCrMo6	42CD4TS	817M37		
Gr.9840	G36CrNiMo4		818M40		

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Відповідно до вимог щодо точності та якості обробки поверхонь, формується оптимальна послідовність технологічних операцій, яка у сукупності забезпечує досягнення необхідних параметрів, визначених у робочому кресленні. Обґрунтування вибраної послідовності обробки подано в таблиці 2.4, а схема деталі з нумерацією поверхонь представлена на рисунку 2.1.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата						
Розроб.		Вородійов			Технологічна підготовка виробництва деталі			Літ.	Арк.	Аркшів
Перевір.		Рязанцев								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ПМ-21					

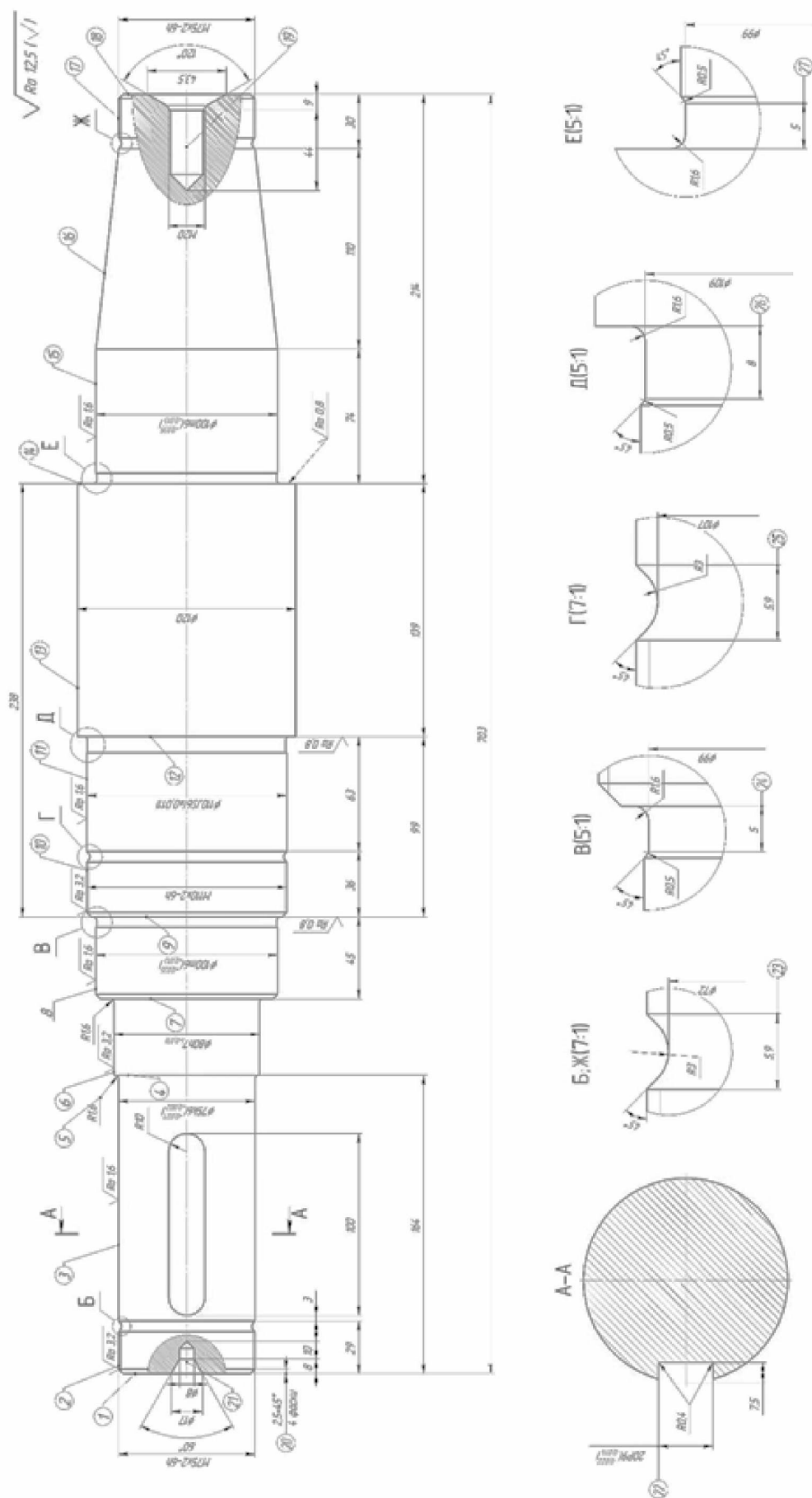


Рисунок 2.1 – Пронумеровані поверхні деталі «Шпиндель»

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.4 – Вибір і обґрунтування послідовності обробки

№ пов.	Розмір, мм	Шорсткість, Ra	Допуск, $\pm IT$	Послідовність технологічних методів обробки	Примітки
1	2	3	4	5	6
1	Торець M75x2-6h	12,5	h14	Точіння чорнове	
2	M75x2-6h	12,5 6,3 3,2	h14 h10 6h	Точіння чорнове, напівчистове Нарізання різьби	
3	Ø75	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h10 h8 k6	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування чистове	
4	Торець Ø80	12,5	h14	Точіння чорнове	
5	Радіус 1,6	12,5	h14	Точіння чорнове	
6	Ø80	12,5 6,3 3,2	h14 h10 h7	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове	
7	Торець Ø100	12,5	h14 m6	Точіння чорнове	
8	Ø100	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h10 h8 m6	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування чистове	
9	Торець M110x2-6h	12,5 6,3 3,2 1,6 0,8	6h	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування: чорнове, тонке	
10	M110x2-6h	12,5 6,3 3,2	h14 h10 h8 h6	Точіння чорнове, напівчистове, чистове Нарізання різьби чистове	
11	Ø110	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h10 h8 js6	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування чистове	
12	Торець Ø120	12,5 6,3 3,2 1,6 0,8	h14	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування: чорнове, тонке	

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6
13	Ø120	12,5	h14	Точіння чорнове	
14	Торець Ø120	12,5 6,3 3,2 1,6 0,8	h14	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування: чорнове, тонке	
15	Ø100	12,5 6,3 3,2 1,6	h14 h10 h8 m6	Точіння: чорнове, напівчистове, чистове Шліфування чистове	
16	Конічна поверхня Ø100-Ø75	12,5	h14	Точіння чорнове	
17	M75x2-6h	12,5 6,3 3,2	h14 h10 6h	Точіння чорнове, напівчистове Нарізання різьби	
18	Торець M75x2-6h	12,5	h14	Точіння чорнове	
19	Отвір M20, l=44мм	12,5 3,2	H8	Свердління Нарізання різьби	
20	2,5x45° 4 фаски	12,5	h14	Точіння чорнове	
21	Отвір Ø8, l=18мм	12,5	h14	Свердління чорнове	
22	Паз b=20, L=120	12,5 6,3 3,2	14 11 P9	Фрезерування чорнове напівчистове, чистове	
23, 25	Канавка 5,9мм	12,5	h14	Точіння чорнове	
24, 26	Канавка 5мм	12,5	h14	Точіння чорнове	
27	Канавка 8мм	12,5	h14	Точіння чорнове	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

На кресленні зображений головний вид деталі, вид зліва в розрізі, виносні елементи (шпонковий паз, канавки під вихід шліфувального ккруга), проставлені всі потрібні розміри, шорсткість та допуски на відхилення, які необхідні для виготовлення деталі.

Конструкція деталі є технологічно доцільною, хоча її виготовлення потребує використання високоточних верстатів. Найвищі вимоги до точності висуваються до обробки шийок, призначених для встановлення підшипників.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Деталь дає змогу застосовувати високопродуктивні режими обробки, має зручні базові поверхні для виконання початкових операцій, а також відзначається простою геометрією та раціональною формою.

Зовнішні поверхні можуть виконувати функцію як установчих, так і опорних баз під час механічної обробки. Крім того, вони придатні для використання як бази при складанні.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Технологічний процес виготовлення заданої деталі складається з послідовності операцій:

005 – токарна чорнова

010 – багатоцільова

015 – шліфувальна

З урахуванням обсягу та особливостей раніше визначених методів обробки поверхонь, здійснюється вибір відповідних типів металорізального обладнання та інструменту. Інформацію про обране обладнання та інструменти наведено в таблиці 2.7.

На операції 005 та 010 (токарні, фрезерні, сверлильні) обираємо токарно - фрезерний верстат з ЧПК моделі CTX 510 ecoline (рис. 2.2), технічні характеристики наведені в таблиці 2.5.



Рисунок 2.2 – Токарно - фрезерний верстат з ЧПК моделі CTX 510 ecoline

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстату

Система керування	15" DMG MORI SLIMline з Operate на SIEMENS
Розмір робочої зони верстата	
Найбільший діаметр встановлюваної заготовки, мм	Ø 680
Найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм	Ø 465
Поперечний хід револьверної головки (вісь X), мм	300
Поздовжній хід револьверної головки (вісь Z), мм	1050
Головний шпиндель	
Кінець шпинделя - плоский фланець, мм	Ø 220h5
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір в шпинделі, мм	Ø 76
Діаметр затискного патрона, мм	Ø 250/315
Потужність головного приводу, кВт	33
Діапазон швидкості обертання головного шпинделя, об / хв	0..3250
Точність позиціонування	
Точність позиціонування згідно ISO 230-2 по осі X- / Z-, мкм	8/8
Револьверна інструментальна головка	
Система кріплення інструменту	VDI 40
Діаметр кріплення держателя, мм	40
Число інструментальних позицій	12
Потужність приводного інструмента при 2000 об / хв, кВт	4,2
Крутний момент максимальний	20
Діапазон швидкості обертання приводного інструмента, об/хв	0..4000
Параметри різання. Силове різання	
Швидкість різання V_c , м / хв	280
Швидкість подачі, мм / об	0,5
Глибина різання, мм	6
Габарити и вага верстата	
Габаритні розміри верстата з ЧПК (ДхВхШ), мм	4443 × 1692 × 2161
Вага верстата з транспортером стружки, кг	8100

На шліфувальну операцію обираємо кругло – шліфувальний напівавтомат моделі 3М162 (рис. 2.3, табл. 2.6).

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 – Кругло - шліфувальний напівавтомат моделі 3М162

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстату

Параметр	Значення
Клас точності	П/В
Найбільший діаметр оброблюваного виробу, мм	280
Найбільша довжина оброблюваного виробу, мм	1000
Найбільший діаметр шліфування, мм	280
Відстань від осі шпинделя передньої бабки до дзеркала столу, мм	160
Найбільша вага виробу, кг	200
Конус шпинделя передньої бабки і пінолі задньої бабки	Морзе 5
Найбільша довжина переміщення столу, мм	980
Швидкість переміщення столу від гідросистеми, м / хв	0,05...5,0
Частота обертання шпинделя шліфувальної бабки, об / хв	1260
Швидкість різання шліфувального круга, м / с	50
Кількість електродвигунів на верстаті	8
Межі швидкостей різних подач, мм / хв	0,1...4,5
Найбільша висота встановлюваного круга, мм	100
Величина поперечного переміщення шліфувальної бабки за один оборот маховика, мм	0,5
Величина відведення пінолі задньої бабки від руки, мм	35±2
Величина відведення пінолі задньої бабки від гідросистеми, мм	35±2
Габаритні розміри верстата (Д x Ш x В), мм	5130x2930x 2070
Вага верстата з електроустаткуванням і охолодженням, кг	8100

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів

№ пов.	Найменування операції	Тип і модель верстату	Тип інструменту
1,4,7, 18	Підрізка торцю	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною пластиною
2,10, 17	Точіння зовнішньої циліндричної поверхні. Нарізання різьби	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною Різець з механічним кріпленням з різьбовою пластиною
3,8, 11,15	Точіння зовнішньої циліндричної поверхні	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною
	Шліфування	Напівавтомат кругло-шліфувальний моделі 3М162	Шліфувальний круг
5	Скруглення	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною пластиною
6	Точіння зовнішньої циліндричної поверхні	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною
9,12	Підрізка торцю	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною
	Шліфування	Напівавтомат кругло - шліфувальний моделі 3М162	Шліфувальний круг
19, 21	Свердління отвору	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Центровочне свердло
20	Точіння фаски	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною пластиною
22	Фрезерування пазу	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Шпонкова фреза
23,25 24,26 27	Точіння канавки	Токарний верстат з ЧПК моделі СТХ 510	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною пластиною

					КНУ.КБР.131.25.1-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

З ВИБІР РІЗУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

Перелік необхідного інструменту наведено в табл. 2.7.

Вибір параметрів інструменту проводимо за каталогом фірми SUMITOMO [8] для різців:

1. Вибираємо зовнішню державку для чорнової операції на [8, с. C1] Пластина - WN, державка – DWLN.

Обираємо державку DWLNR 2525M08 [8, с. C27]

Позначення (приклад розшифрування):

D – зажим пластини (штифт/клин);

W – форма пластини (ломана тригранна);

L – тип інструменту (тригранна пластина 80°)

N – задній боковий кут (0°)

R – напрямлення різання (відігнутий донизу);

25 – висота хвостовика;

25 – ширина хвостовика;

M – довжина інструменту;

08 – довжина ріжучої кромки.

Параметри: $h=25\text{мм}$; $b=25\text{мм}$; $l_1=150\text{мм}$; $f_1=32\text{мм}$; $l_2=32\text{мм}$; $\gamma_0= -6^\circ$; $\lambda_s= -6^\circ$.



Рисунок 3.1 – Приклад використання обраного різця для зовнішньої обробки з ламаною тригранною пластиною

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Вородійов			Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами			Літ.	Арк.	Архівів	
Перевір.		Рязанцев									
Реценз.											
Н. контр.		Нечаєв						Каф. ТМ, гр. ПМ-21			
Зав. каф.		Рязанцев									

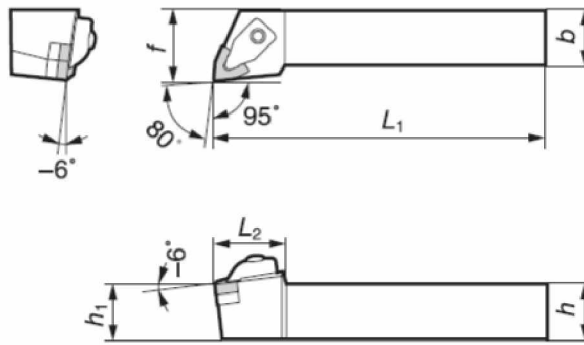


Рисунок 3.2 – Державка DWLNR 2525M08 для пластини WN

2. Обираємо стружколом LU покриття AC810P [8, с. А8]. За обраним видом сплаву та стружколома обираємо пластину WNMG 080408N-LU [8, с. В68].

Конструктивні параметри пластини WNMG 080408N-LU:

Розміри: $d=12,7\text{мм}$; $l=8,7\text{мм}$; $S=4,76\text{мм}$; $d_1=5,16\text{мм}$; $r_\epsilon=0,8\text{мм}$.

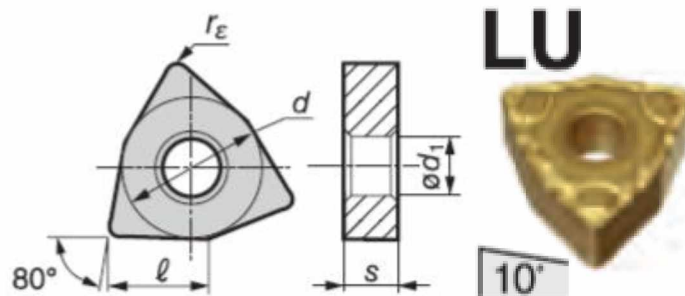


Рисунок 3.3 – ламана тригранна пластина WNMG 080408N-LU

3. Вибираємо зовнішню державку для напівчистої операції [8, с. С1].

Пластина - SN, державка – DSBN.

Обираємо державку DSBNL 2525M15 [8, с. С13].

Параметри: $h=25\text{мм}$; $b=25\text{мм}$; $l_1=150\text{мм}$; $f_1=22\text{мм}$; $h_1=25\text{мм}$; $l_2=36\text{мм}$; $\gamma_0=-6^\circ$; $\lambda_s=-5^\circ$; вага = 0,8кг.



Рисунок 3.4 – Приклад використання обраного різця для зовнішньої обробки з квадратною пластиною

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

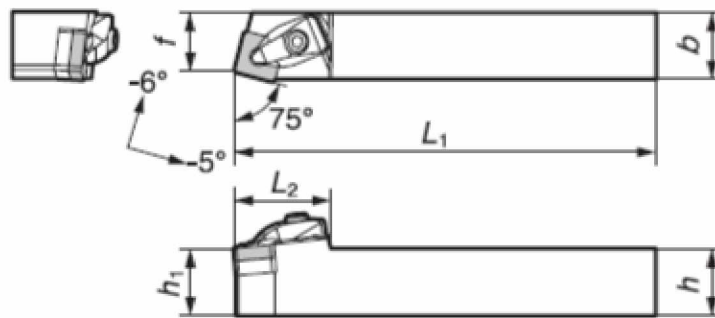


Рисунок 3.5 – Державка DSBNL 2525M15 для пластини SN

4. Обираємо стружколом MU покриття AC820P [8, с. А8]. За обраним видом сплаву та стружколома обираємо пластину SNMG 150616N- MU [8, с. В44].

Конструктивні параметри пластини SNMG 150616 N- MU:

Розміри: $d=15,875\text{мм}$; $l=15,875\text{мм}$; $S=6,35\text{мм}$; $d_1=6,35\text{мм}$; $r_\epsilon=1,6\text{мм}$.

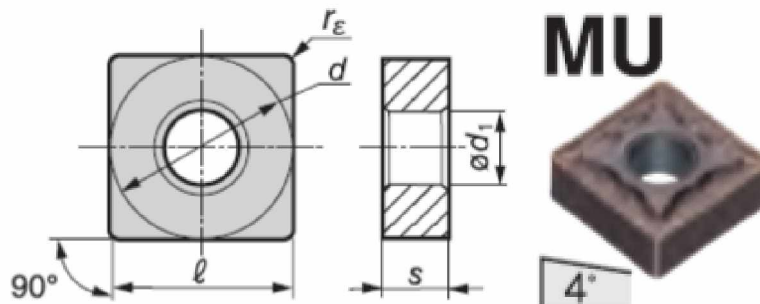


Рисунок 3.6 – Квадратна пластина SNMG 150616N- MU

5. Вибираємо зовнішню державку для чистової операції [8, с. С1]. Пластина - VN, державка – DVJN.

Обираємо державку DVJNR/L 2525M16 [8, с. В64].

Параметри: $h=25\text{мм}$; $b=25\text{мм}$; $l_1=150\text{мм}$; $f_1=32\text{мм}$; $h_1=25\text{мм}$; $l_2=35\text{мм}$; $\gamma_0= -5^\circ$; $\lambda_s= -9^\circ$; вага = 0,8кг.



Рисунок 3.7 – Приклад використання обраного різця для зовнішньої обробки з ромбічною пластиною

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

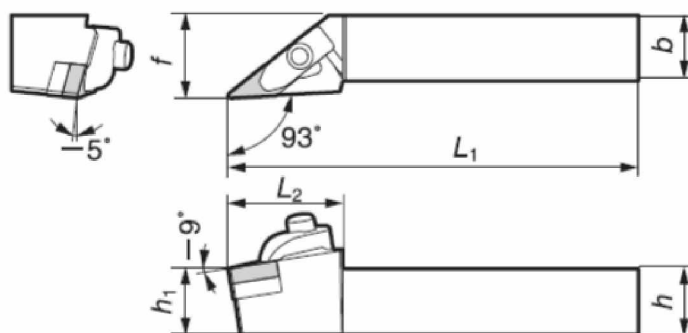


Рисунок 3.8 – Державка PVJNR/L 2525M16 для пластини VN

6. Обираємо стружколом LU покриття AC810P [8, с. A8]. За обраним видом сплаву та стружколома обираємо пластину VNMG 160404N-LU [8, с. B64].

Конструктивні параметри пластини VNMG 160404N-LU:

Розміри: $d=9,525\text{мм}$; $l=16,6\text{мм}$; $S=4,76\text{мм}$; $d_1=3,81\text{мм}$; $r_\epsilon=0,4\text{мм}$.

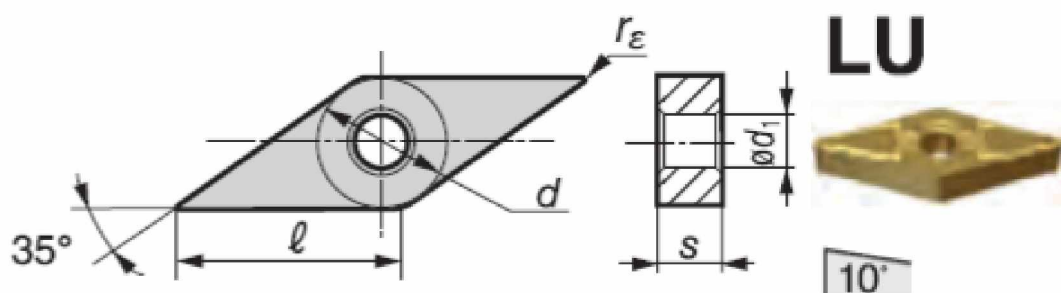


Рисунок 3.9 – Ромбічна пластина VNMG 160404N-LU

7. Вибираємо зовнішню державку для нарізання різьби чистової операції [8, с. D1]. Пластина - 16, державка – SSTE.

Обираємо державку SSTE R2525 M16 [8, с. F53].

Параметри: $h=25\text{мм}$; $b=25\text{мм}$; $l_1=150\text{мм}$; $f_1=25\text{мм}$; $l_2=30\text{мм}$; $h_1=25\text{мм}$; вага = 0,9кг.



Рисунок 3.10 – Приклад використання обраного різця для зовнішньої обробки з тригранною пластиною

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

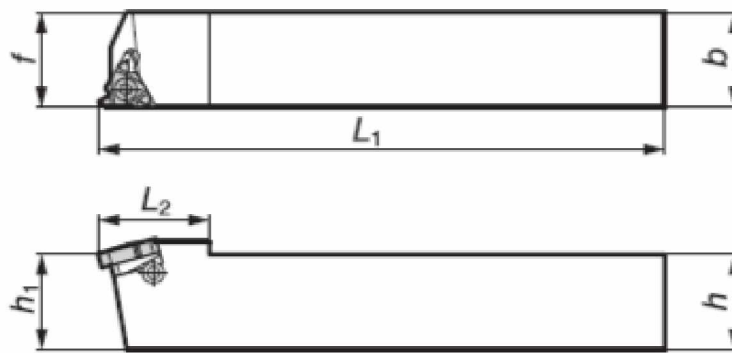


Рисунок 3.11 – Державка SSTE R2525 M16 для пластини 16

8. Обираємо стружколом СВ покриття AC530U [8, с. F54]. За обраним видом сплаву та стружколома обираємо пластину 16ER 200ISO-CB [8, с. F54].

Конструктивні параметри пластини 16ER 200ISO-CB:

Розміри: $e_1 = 1,5\text{мм}$; $e_2 = 1,1\text{мм}$; $r_{\text{ер}} = 0,26\text{мм}$.

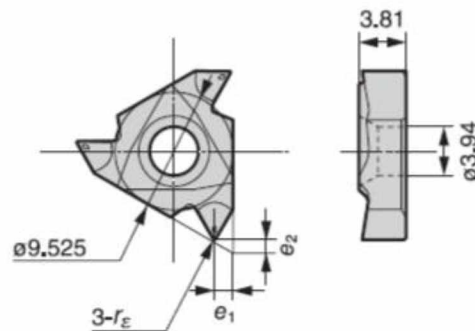


Рисунок 3.12 – Тригранна пластина 16ER 200ISO-CB

Вибір параметрів фрези за ДСТУ ГОСТ 9140:2018 для шпонкової фрези: 2234-0383 право ріжуча.

Розміри: $d = 20\text{мм}$; $d_1 = 20\text{мм}$; $L = 88\text{мм}$; $l = 22\text{мм}$; $l_1 = 50\text{мм}$; $R = 0,4\text{мм}$.

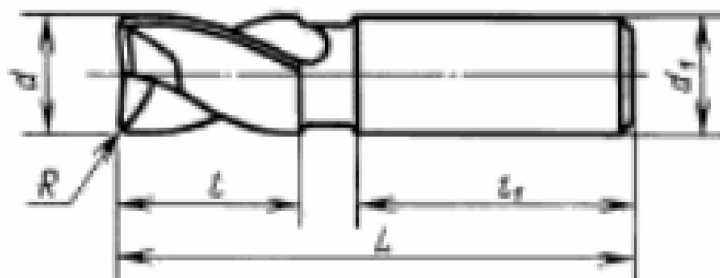


Рисунок 3.13 – Шпонкова фреза цільна з циліндричним хвостовиком

Вибір параметрів центровального свердла за ДСТУ ГОСТ 14952:2015:
Обираємо центровальне свердло типу А

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Розміри: $d=8\text{мм}$; $d_1=17\text{мм}$; $L=150\text{мм}$; $l=10\text{мм}$; $2\varphi=118^\circ$; $\alpha=11^\circ$.

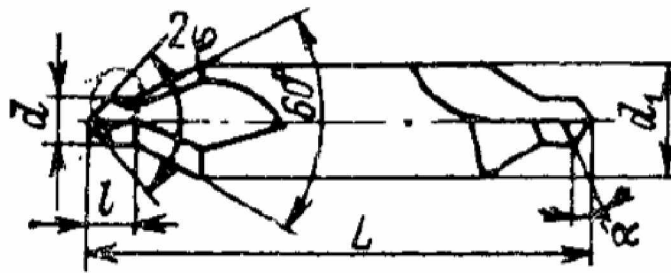


Рисунок 3.14 – Центрувальне свердло типу А

Вибір шліфувальних інструментів за ДСТУ ГОСТ 2424:2013.

Вибираємо шліфувальне коло:

для $Ra=1,6$ - 750 x 80 x 305 мм 25А 60-40 К-Р 6 V 50 м/с;

для $Ra=0,8$ - 750 x 80 x 305 мм 25А 16-8 К-Р 6 V 50 м/с.

Позначення:

Профіль - Тип 1 (ПП) прямий профіль

Діаметр зовнішній - 750 мм;

Товщина - 80 мм;

Розмір отвору - 305 мм;

Абразивного матеріалу - 25А (електрокорунд білий);

Зернистість - 60-40, 16-8;

Твердість - К-Р;

Матеріал зв'язки - V (керамічна);

Робоча швидкість - 50 м/с.

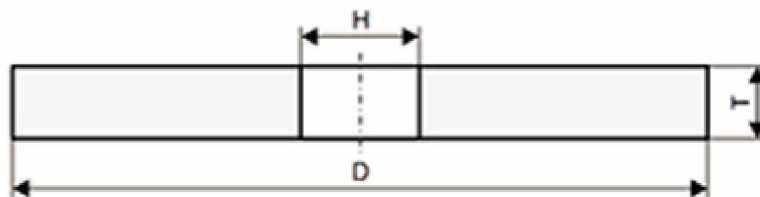


Рисунок 3.15 – Шліфувальне коло

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалу заготовки, тип обробки та характеристики застосованих металорізальних верстатів, для обраних типів інструментів необхідно визначити матеріал ріжучої частини та її геометричні параметри, а також матеріал державки (корпусу або хвостовика). Для цього слід використовувати інструменти, виготовлені як вітчизняними виробниками, так і зарубіжними компаніями.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 – Вибір параметрів різальної частини інструментів за каталогами

№ пов.	Тип інструмента	Матеріал різальної частини інструмента	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1,4,5,7, 13,18,16, 20,23,25, 24,26,27	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною пластиною	Для чорнової обробки -AC810P Стружколом – LU	Сталь конструкційна 50	$\varphi=95^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-6^\circ$
2,10, 17	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною	Для чорнової обробки -AC810P Стружколом – LU	Сталь конструкційна 50	$\varphi=95^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-6^\circ$
		Для напівчистої обробки – AC820P Стружколом – MU		$\varphi=75^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-5^\circ$
		Для чистої обробки – AC810P Стружколом – LU		$\varphi=93^\circ$ $\gamma_0=-5^\circ$ $\gamma_s=-9^\circ$
	Різець з механічним кріпленням з тригранною пластиною	Для чистої обробки – AC530U Стружколом – СВ		$e_1=1,5\text{мм};$ $e_2=1,1\text{мм};$ $per=0,26\text{мм}$
3,8,9,11, 12,14,15	Різець з механічним кріпленням з	Для чорнової обробки -AC810P Стружколом – LU	Сталь конструкційна 50	$\varphi=95^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-6^\circ$
	ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною	Для напівчистої обробки – AC820P Стружколом – MU		$\varphi=75^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-5^\circ$
		Для чистої обробки – AC810P Стружколом – LU		$\varphi=93^\circ$ $\gamma_0=-5^\circ$ $\gamma_s=-9^\circ$
	Шліфувальне коло	25A		
19, 21	Центрувальне свердло	P6M5	P6M5	$2\varphi=118^\circ$ $\alpha=11^\circ$
22	Шпонкова фреза	P6M5	Сталь конструкційна 40X	$\varphi=90^\circ$ $\gamma_0=10^\circ$ $\lambda_{sh}=30^\circ$

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5
6	Різець з механічним кріпленням з ламаною тригранною, квадратною, ромбічною пластиною	Для чорнової обробки - АС810Р Стружколом – LU	Сталь конструкційна 50	$\varphi=95^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-6^\circ$
		Для напівчистої обробки – АС820Р Стружколом – МУ		$\varphi=75^\circ$ $\gamma_0=-6^\circ$ $\gamma_s=-5^\circ$
		Для чистої обробки – АС810Р Стружколом – LU		$\varphi=93^\circ$ $\gamma_0=-5^\circ$ $\gamma_s=-9^\circ$

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з обраних типів інструментів визначаються максимально навантажені умови експлуатації (наприклад, чорнове точіння). Виходячи з умов різання – з урахуванням фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, технічних характеристик верстата та режимів обробки – орієнтовно визначаються сили різання. Обраний інструмент перевіряється на відповідність вимогам міцності та жорсткості в умовах максимальної експлуатаційної нагрзуки:

- для різця здійснюється розрахунок державки на міцність та жорсткість.
- поперечні розміри корпусу різця підбираються залежно від величини сили різання, матеріалу корпусу, довжини вильоту різця та інших чинників. Корпус із квадратним поперечним перерізом забезпечує кращу стійкість до складного вигинального навантаження.

Розміри державки - 25×25

$h \times b = 1$

Матеріал деталі – сталь 40ХН2МА;

$\sigma_B = 1080 \text{ МПа}$ ($\approx 108 \text{ кгс/мм}^2$);

$D = 120 \text{ мм}$;

$L = 139 \text{ мм}$;

1.) Матеріал корпусу різця – вуглецева сталь 50 з $\sigma_B = 650 \text{ МПа}$ ($\approx 65 \text{ кгс/мм}^2$) та допустимим напруженням на вигин $\sigma_{\text{в.д}} = 200 \text{ МПа}$ ($\approx 20 \text{ кгс/мм}^2$).

2.) Головна складова сили різання розраховується за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_{pz} \cdot t^{X_{pz}} \cdot S^{Y_{pz}} \cdot V^{n_{pz}} \cdot K_{pz}, H;$$

Пластина Т15К6;

Глибина різання $t = 3 \text{ мм}$;

подача різця $S_0 = 1,0 \text{ мм/об}$;

швидкість головного руху різання $V = 110 \text{ м/хв}$ ($\approx 1,8 \text{ м/с}$);

Геометричні елементи: $\varphi = 95^\circ$; $\varphi_1 = 15^\circ$; $\alpha = 6^\circ$; $\gamma = 10^\circ$; $C_{pz} = 300$; $X_{pz} = 1$;

$Y_{pz} = 0,75$; $n_{pz} = -0,15$ – загальний поправочний коефіцієнт.

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 3^1 \cdot 1^{0,75} \cdot 110^{-0,15} \cdot 1 = 4447 \text{ Н} (\approx 444,7 \text{ кгс});$$

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		

3.) Ширину b квадратного поперечного перерізу корпусу різця визначають за формулою:

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot P_z \cdot l}{\sigma_{и.д.}}}, \text{ мм};$$

$$b = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 444,7 \cdot 60}{20}} = 20 \text{ мм};$$

де $l=60\text{мм}$ - виліт різця.

4.) Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:

а) максимальне навантаження, що допускається міцністю різця.

$$P_{z_{доп}} = \frac{bh^2 \sigma_{и.д.}}{6 \cdot l}, \text{ Н};$$

$$P_{z_{доп}} = \frac{20 \cdot 10^{-3} (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 60 \cdot 10^{-3}} = 6\,940 \text{ Н} (\approx 694 \text{ кгс});$$

б) максимальне навантаження, що допускається жорсткістю різця.

$$P_{z_{жор}} = \frac{3fEJ}{l^3}, \text{ Н};$$

$$P_{z_{жор}} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 2,6 \cdot 10^{-8}}{(60 \cdot 10^{-3})^3} = 7\,220 \text{ Н} (\approx 722 \text{ кгс});$$

де $f=0,1 \cdot 10^{-3}\text{м}$ – допустима стріла прогину різця;

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

$l=60\text{мм}$ - виліт різця;

J – момент інерції прямокутного перетину державки;

$$J = \frac{bh^3}{12}, \text{ мм}^4;$$

$$J = \frac{20 \cdot 10^{-3} (25 \cdot 10^{-3})^3}{12} = 2,6 \cdot 10^{-8} \text{ м}^4;$$

Різець має достатню міцність і твердість, так як

$$P_{z_{доп}} = 6\,940 \text{ Н} > P_z = 4\,447 \text{ Н} < P_{z_{жор}} = 7\,220 \text{ Н}$$

3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

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

Під час проєктування інструментального налагодження враховуються тип виробництва, вимоги до точності та продуктивності, а також зручність експлуатації комплексу. Виходячи з параметрів оброблюваної поверхні, способу базування деталі, типу верстата й геометричних характеристик обраного

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

стандартного ріжучого інструмента, визначається конфігурація допоміжного інструмента з урахуванням необхідних конструктивних параметрів.

У нашому випадку інструментальне налагодження розробляється для токарної обробки.

Розробка інструментального комплексу ведеться для токарної операції. Виконується операція на токарно-фрезерному верстаті з ЧПК моделі СТХ 510. Деталь – Шпindel.

Операції проводимо на верстаті з ЧПК СТХ 510.

Інструмент обрано за каталогом фірми SUMITOMO.

- Для чорнової обробки – DWLNR 2525M08, стружколом LU покриття AC810P;

- Для напівчистої обробки – DSBNL 2525M15, стружколом MU покриття AC820P;

- Для чистої обробки – DVJNR/L 2525M16, стружколом LU покриття AC810P;

- Для чистої обробки різьби – SSTE R2525 M16, стружколом CB покриття AC530U.

Допоміжний інструмент обираємо за каталогом фірми EROGLU [9].

По каталогу обираємо комбінований різцетримач – Форма В5.

Таблиця 3.2 – Параметри різцетримача

Форма	Код	d1xh1xL2	L1	b1	b2	b3	h5	h6
В5	409.35.25	40x25x44	22	118	75,5	12,5	32,5	48

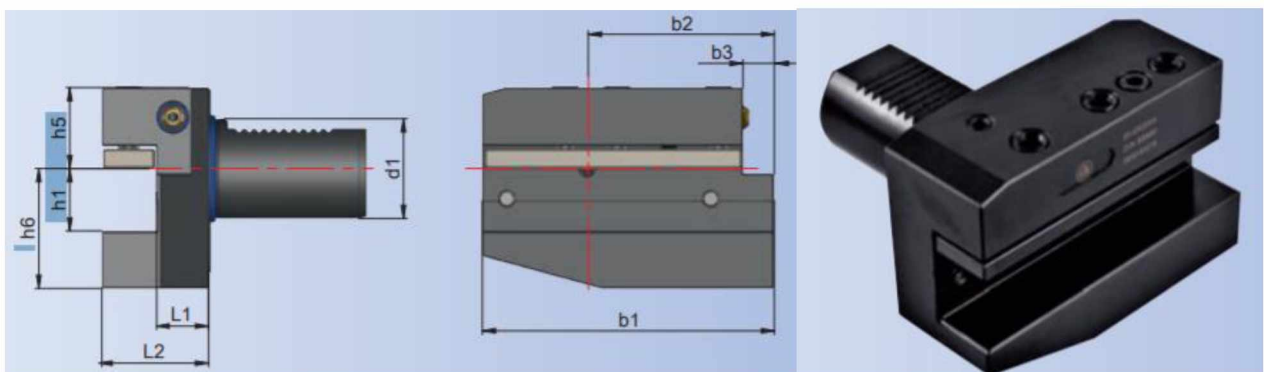


Рисунок 3.16 – Різцетримач В5-40x25x44, DIN 69880 (VDI 3425)

					КНУ.КБР.131.25.1-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Розрахувати та сконструювати комбіноване свердло для обробки глухого отвору під метричну різьбу зі швидкорізальної сталі Р6М5.

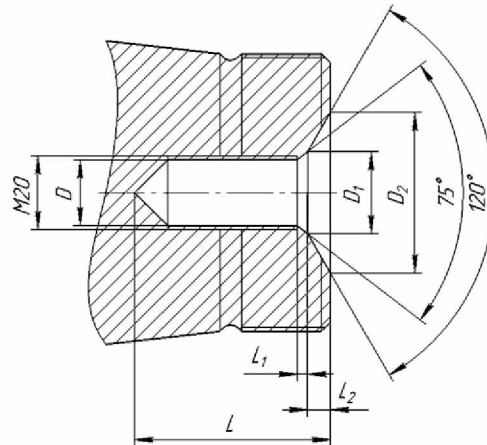


Рисунок 4.1 – Ескіз отвору деталі

Вихідні дані:

Метрична різьба М20мм

$D_1 = 22\text{мм}$

$D_2 = 43,5\text{мм}$

$L = 53\text{мм}$

$L_1 = 3\text{мм}$

$L_2 = 6\text{мм}$

Матеріал деталі сталь 40ХН2МА

4.1.1 Визначаємо діаметр свердла

За стандартом знаходимо необхідний діаметр свердла для нарізання метричної різьби 20мм. Діаметр свердла $D=17,4\text{мм}$.

4.1.2 Визначаємо режим різання.

Подача на оборот знаходимо по табл. 27, с. 433 $S=0,2...0,23\text{ мм/об.}$
Приймаємо $S=0,22\text{ мм / об.}$

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.ПІАРІ							
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата								
Розроб.		Вородійов			Проектування та інженерний аналіз різального інструменту				Літ.		Арк.	Аркшів
Перевір.		Рязанцев										
Реценз.												
Н. контр.		Нечаєв										
Зав. каф.		Рязанцев										
Каф. ТМ, гр. ПМ-21												

За табл. 28-30 знаходимо коефіцієнт для визначення швидкості головного руху різання.

$$V = \frac{C_V D^q}{T^m S^y} K_v, \text{ м/хв};$$

$$V = \frac{16,2 \cdot 17,4^{0,4}}{45^{0,2} 0,22^{0,5}} \cdot 1 = 50 \text{ м/хв};$$

де $C_V = 16,2$; $D=17,4\text{мм}$; $q=0,4$; $T=45\text{хв}$; $m=0,2$; $S=0,22\text{мм/об}$; $y=0,5$;

4.1.3 Осьова складова сили різання

$$P_x = 9,81 \cdot C_p \cdot D^x \cdot S^y \cdot K_{mp}, \text{ Н};$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{75}\right)^{0,75} = \left(\frac{108}{75}\right)^{0,75} = 1,31$$

$$P_x = 9,81 \cdot 68 \cdot 17,4 \cdot 0,22^{0,7} \cdot 1,31 = 5269 \text{ Н} (\approx 527 \text{ кгс});$$

4.1.4 Момент сил опору різання (крутний момент)

$$M_{cp} = 9,81 \cdot C_m \cdot D^2 \cdot S^y \cdot K_{mm}, \text{ Н} \cdot \text{м};$$

За табл. 31, с. 436 знаходимо $C_m=0,0345$; $Z_m=2,0$; $Y_m=0,8$; $M_{cp} = 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 17,4^2 \cdot 0,22^{0,8} \cdot 1,31 = 40 \text{ Н} \cdot \text{м} (\approx 4000 \text{ кгс} \cdot \text{мм} = 4 \text{ кгс} \cdot \text{м});$

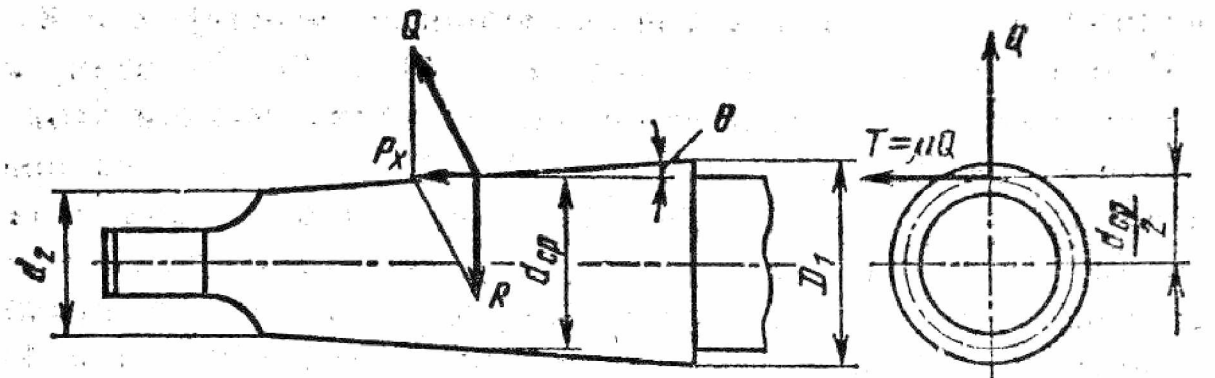


Рисунок 4.2 – Схема сил, що діють на конічний хвостовик комбінованого інструменту

4.1.5 Визначаємо номер конуса Морзе хвостовика

Конус Морзе показано на рисунку 4.2.

Осьову складову сили різання P_x можна розкласти на дві сили: Q - діючу нормально до твірної конуса:

$$Q = \frac{P_x}{\sin \theta};$$

$$Q = \frac{527}{0,02618} = 20\,129;$$

де θ – кут кінцівки хвостової частини, і силу R - діючу в радіальному напрямку і врівноважує реакцію на протилежній точці поверхні конуса.

Сила Q створює дотичну складову T сили різання; з урахуванням коефіцієнта тертя поверхні конуса об стінки втулки μ .

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Виконуємо креслення комбінованого інструменту та зображуємо параметри її конструктивних елементів.

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Виконано інженерний аналіз спроектованого фасонного призматичного різця із застосуванням модуля SOLIDWORKS Simulation. Дослідження проведено в межах статичного структурного аналізу. Об'єктом розгляду є фасонний призматичний різець, виготовлений зі сталі марки 1.2311 (40CrMnMo7), що за властивостями є аналогом інструментальної сталі P6M5.

4.2.1 Загальна інформація

Модель	Комбіноване свердло
Середовище моделювання	SOLIDWORKS Simulation
Тип аналізу	Статичний
Температура	298 К
Сила навантаження	3200 N
Крутний момент	333 Н·м

На рисунку 4.4 показано інструмент з прикладеними силами та фіксацією для розрахунків.

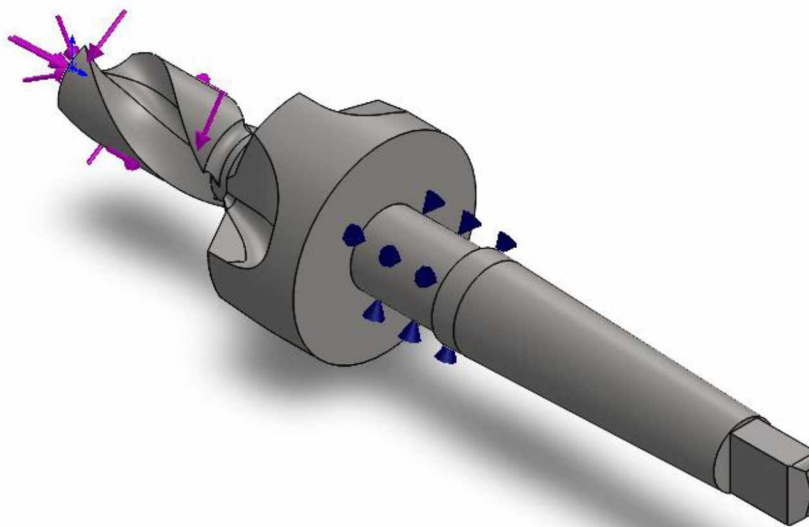


Рисунок 4.4 – Початкові дані для розрахунку

4.2.2 Матеріальні властивості

Матеріал	Сталь 1.2311 (40CrMnMo7)
Модуль Юнга	2.05×10^{11} Н/м ²
Межа текучості	8.21×10^8 Н/м ²
Межа міцності на розтяг	9.92×10^8 Н/м ²
Коефіцієнт Пуассона	0.28
Густина	7800 кг/м ³

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

На рисунку 4.5 показано сітку кінцевих елементів для статичного розрахунку.

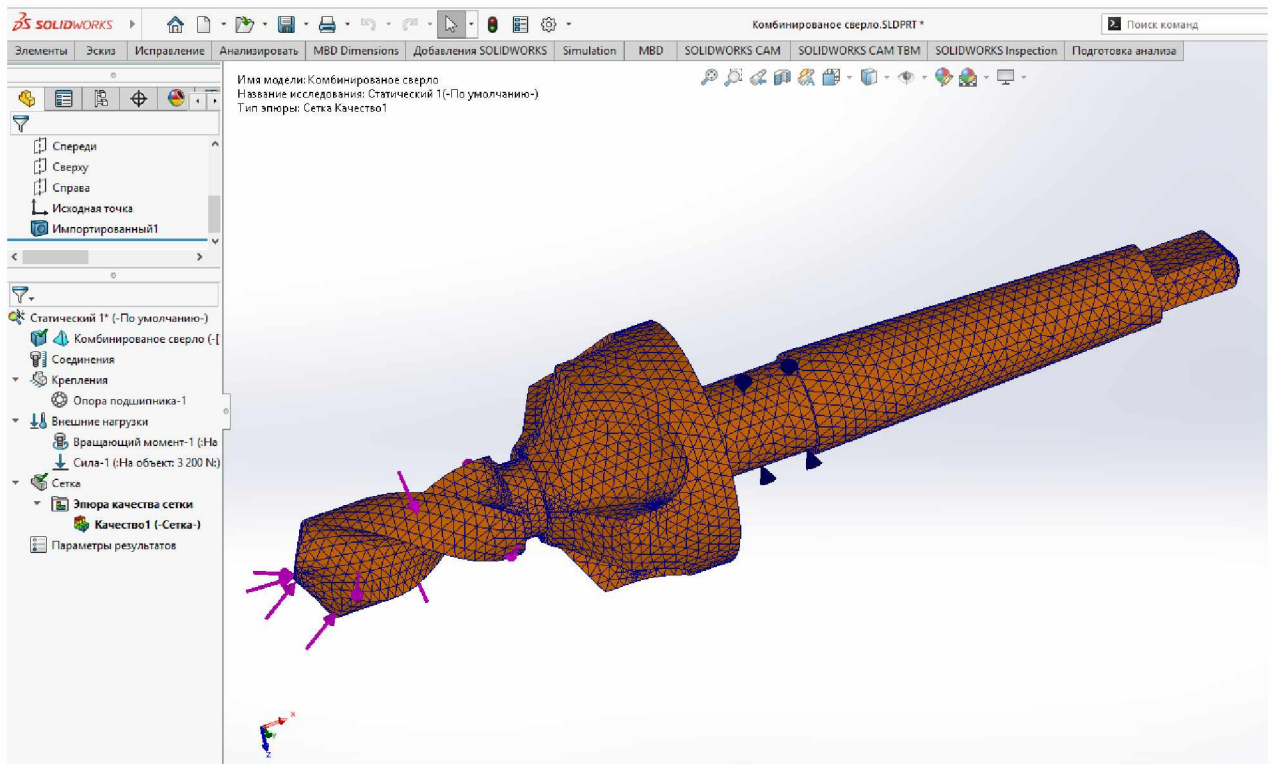


Рисунок 4.5 – Сітка кінцевих елементів для аналізу

4.2.3 Результаты анализа

4.2.3.1. Епюра напряжений (Von Mises)

Мінімальне значення: 0 Н/м²

Максимальне значення: 0 Н/м²

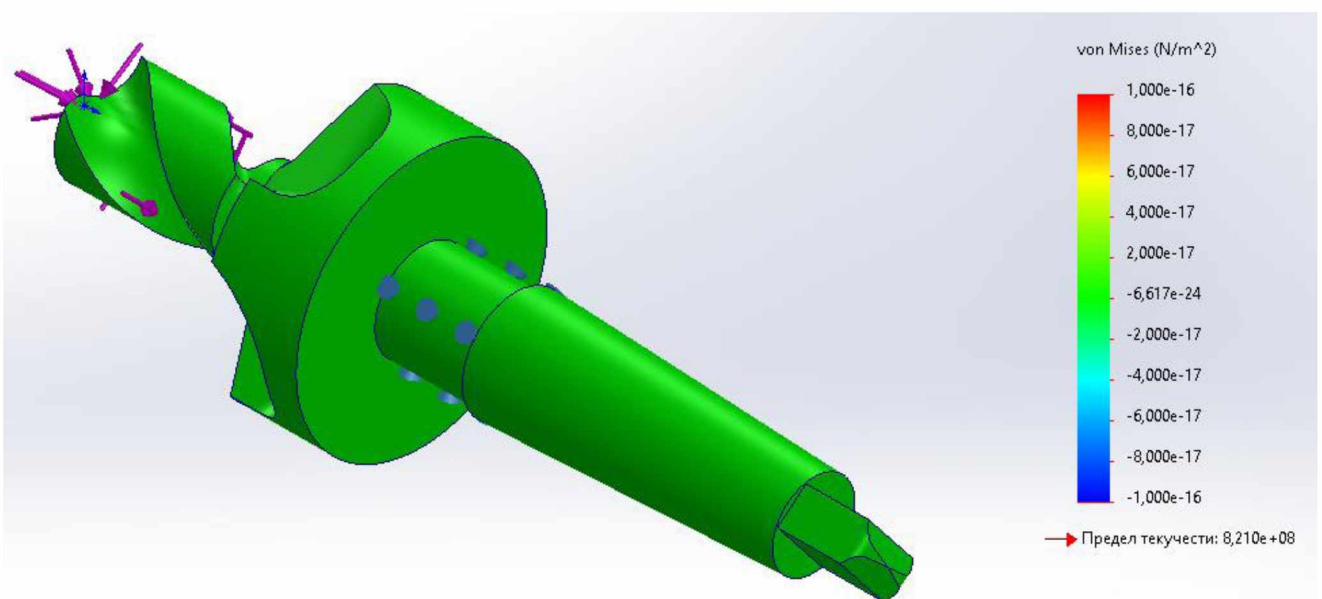


Рисунок 4.6 – Епюра напряжений (Von Mises) сверла-зенківки

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

Аналіз (рис. 4.6): Вказано, що напруження відсутнє, що, ймовірно, є помилкою експорту або неправильною побудовою графіка в моделі. Необхідно перевірити коректність завдання граничних умов або повторити симуляцію.

4.2.3.2. Епюра переміщень

Мінімальне значення: 277800 мм

Максимальне значення: 45540000 мм

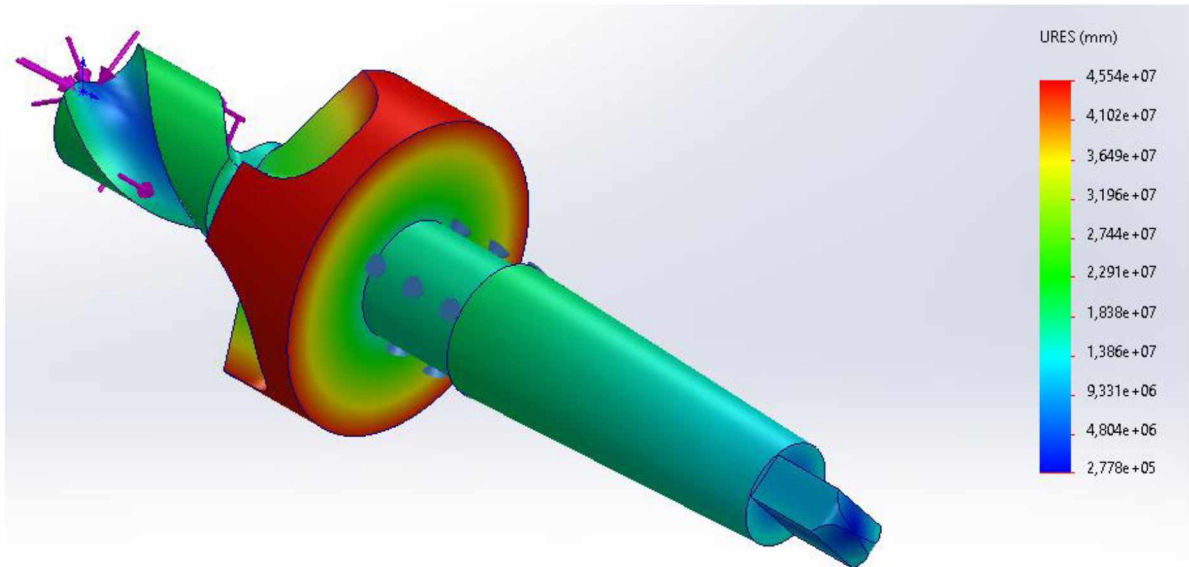


Рисунок 4.7 – Епюра переміщень свердла-зенківки

Аналіз (рис. 4.7): Надзвичайно високі значення переміщення (десятки метрів) є фізично неможливими для даного інструменту. Це також свідчить про некоректне або відсутнє закріплення вузлів моделі або нереалістичне навантаження.

4.2.3.3. Епюра деформацій

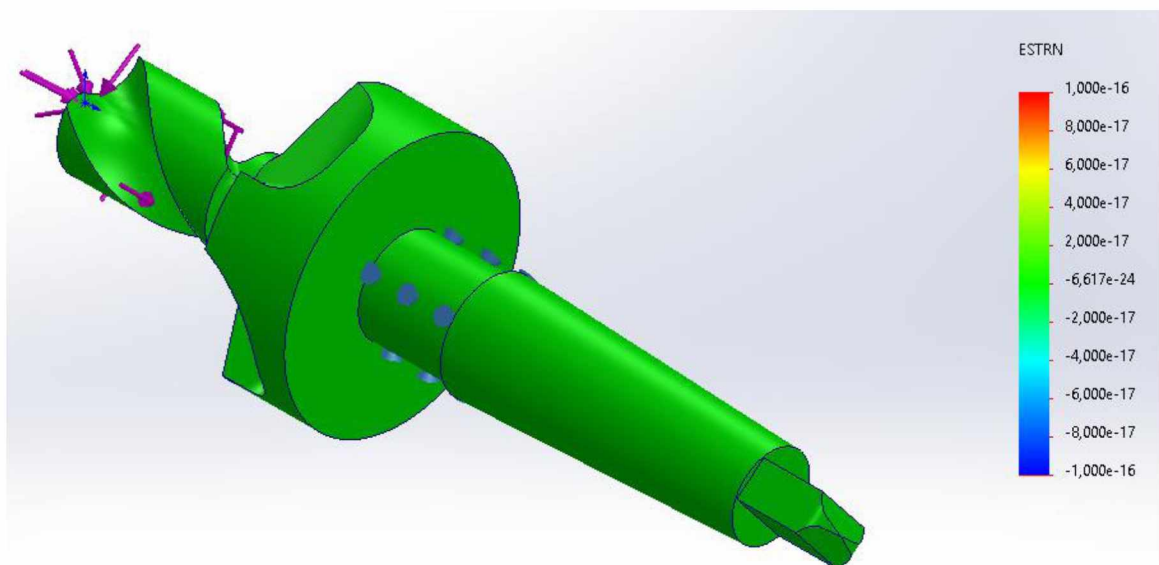


Рисунок 4.8 – Епюра деформацій свердла-зенківки

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Мінімальне значення: 0

Максимальне значення: 0

Аналіз (рис. 4.8): Повна відсутність деформацій – це ще один ознака, що симуляція не відображає реального навантаження. Вірогідна причина – неактивне або неправильно зв'язане тіло моделі.

Висновок

Інженерний аналіз, проведений у середовищі SOLIDWORKS Simulation, має значні неточності або помилки в налаштуванні. Основні з них:

- відсутність напружень та деформацій;
- нереалістичні переміщення;
- ймовірна відсутність або некоректність прикладених граничних умов та контактних зв'язків.

Рекомендації:

- перевірити та скоригувати фіксації тіла та граничні умови.
- перевірити одиниці вимірювання.
- застосувати коректну сітку та уточнити параметри контакту.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.04.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 «Шпиндель» була створена керуюча програма та змодельовано повний технологічний процес за допомогою програмного забезпечення Autodesk FeatureCAM. Виготовлення деталі здійснюється на токарно-фрезерному верстаті з числовим програмним керуванням моделі CTX 510 esoline, технічні характеристики якого подано в розділі 2.

Управління верстатом забезпечує система ЧПК SIEMENS SINUMERIK 810D (див. табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Технічні характеристики системи ЧПК SIEMENS SINUMERIK 810D

Параметр	Значення / Опис
Тип системи	Модульна система ЧПК для стандартних і спеціалізованих верстатів
Процесорна архітектура	32-розрядний процесор з реального часу
Операційна система	SINUMERIK System Software (реального часу, сумісна з Windows для HMI)
Інтерфейс користувача (HMI)	HMI Advanced / HMI Operator (графічний, меню/іконки)
Кількість керованих осей	До 5 осей + 1 шпиндель
Інтерполяція	3D лінійна та кругова (синхронізована)
Пам'ять програми	Від 1 до 10 МБ (розширюється)
Мережеві інтерфейси	PROFIBUS-DP, MPI, RS232/485, Ethernet (через OPC)
Інтерфейси введення/виведення	Інтегровані цифрові та аналогові I/O, або через модулі S7
Підтримка PLC	Інтегрований PLC на базі SIMATIC S7-300
Програмування	DIN 66025 (G-коди), високорівневі цикли, макрокоманди
Енергонезалежна пам'ять	Flash / Compact Flash
Підтримка приводів	SIMODRIVE 611D, SINAMICS S120
Габарити	Компактна конструкція, модульна побудова

Особливості системи SINUMERIK 810D:

Легка інтеграція з іншими системами (PLC, приводи, датчики, тощо).
Можливість гнучкого налаштування під потреби верстату.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-03.05.МПОМО</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Вородійов</i>				<i>Моделювання та програмування операцій механічної обробки</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Рязанцев</i>						
<i>Реценз.</i>						<i>Каф. ТМ, гр. ПМ-21</i>	
<i>Н. контр.</i>	<i>Нечаєв</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Рязанцев</i>						

Завдяки цифровому приводу SIMODRIVE 611D та потужному процесору забезпечується точне позиціонування і стабільна робота на високих швидкостях.

Дозволяє реалізовувати складні логічні алгоритми без окремого ПЛК.

Можливість оновлення та модернізації: розширення пам'яті, інтерфейсів, оновлення програмного забезпечення можливі навіть після встановлення.

Підтримка макропрограм, користувацьких циклів, підпрограм та логічних функцій. Інтуїтивно зрозуміле меню, графічна візуалізація траєкторій, діагностика та налаштування. Можливість оперативного виявлення збоїв, журнал помилок, візуалізація сигналів I/O.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Під час розроблення керуючої програми виконано детальне моделювання всіх етапів технологічного процесу в середовищі FeatureCAM. З урахуванням параметрів верстата CTX 510 esoline та характеристик ріжучого інструменту (див. розділ 3), сформовано оптимальну послідовність технологічних операцій. Розроблені рішення пройшли перевірку на відповідність вимогам до точності, надійності та ефективності обробки.

На рисунках 5.1–5.5 представлено покрокову симуляцію обробки деталі та результати моделювання, що підтверджують обґрунтованість обраного технологічного маршруту.

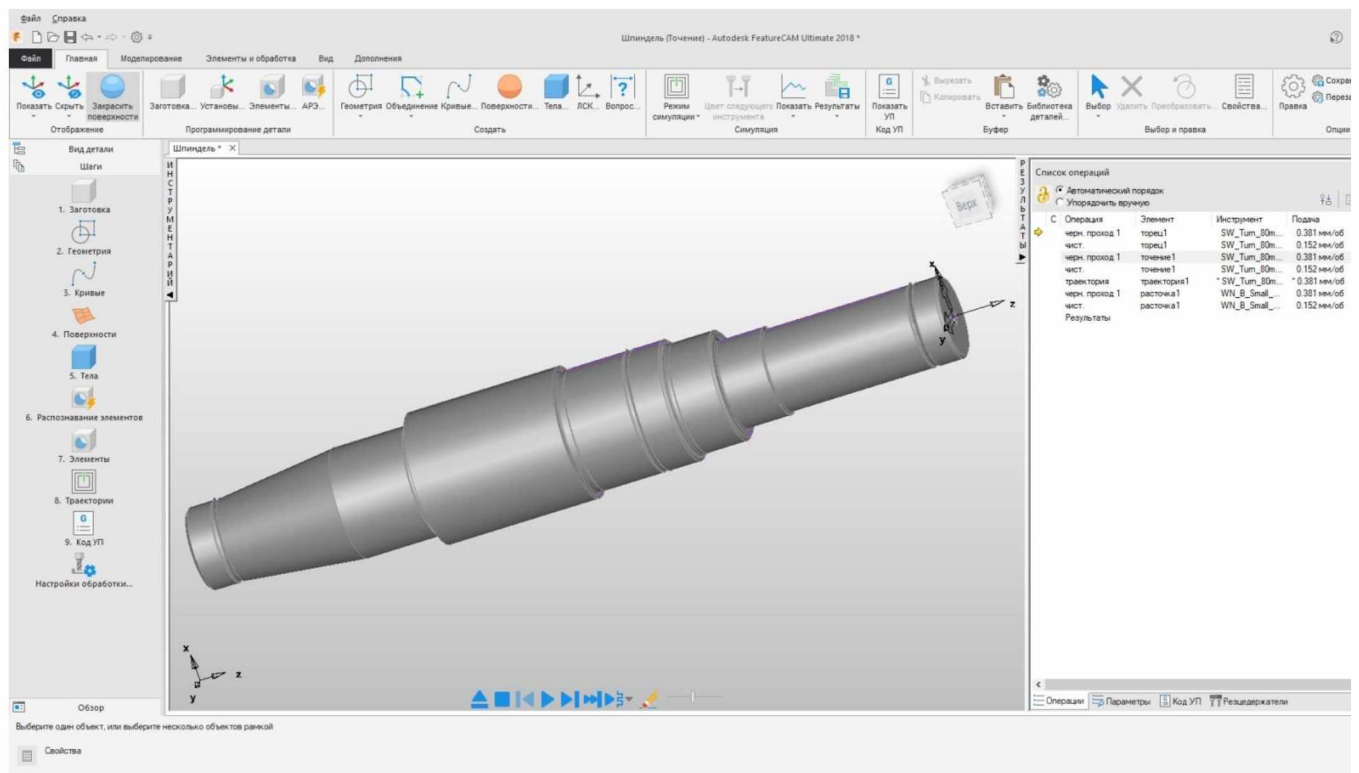


Рисунок 5.1 – Модель деталі «Шпиндель» та етапи її обробки у FeatureCAM

					КНУ.КБР.131.25.1-03.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

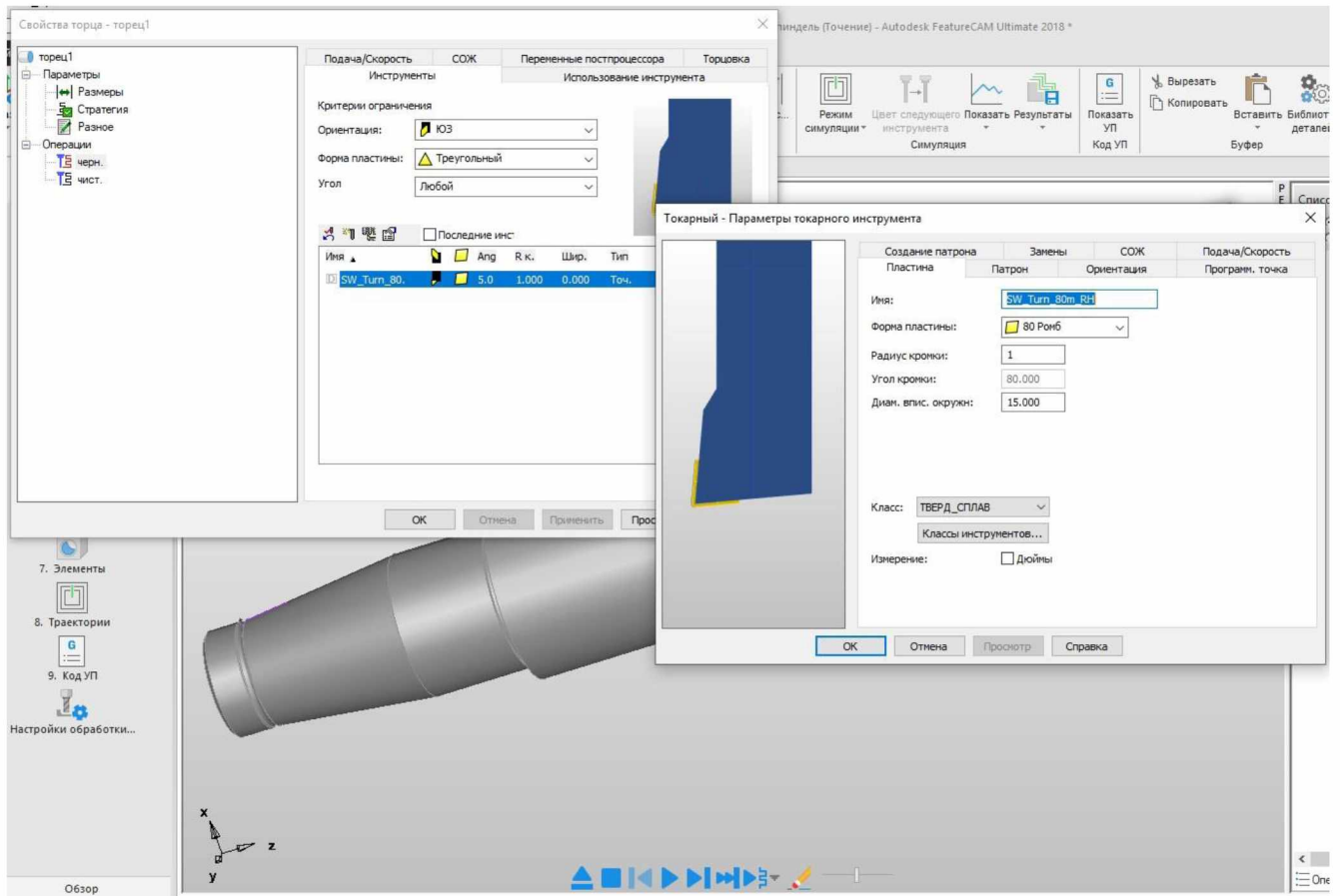


Рисунок 5.2 – Підбір різального інструменту (різець) для обробки деталі «Шпиндель» у FeatureCAM

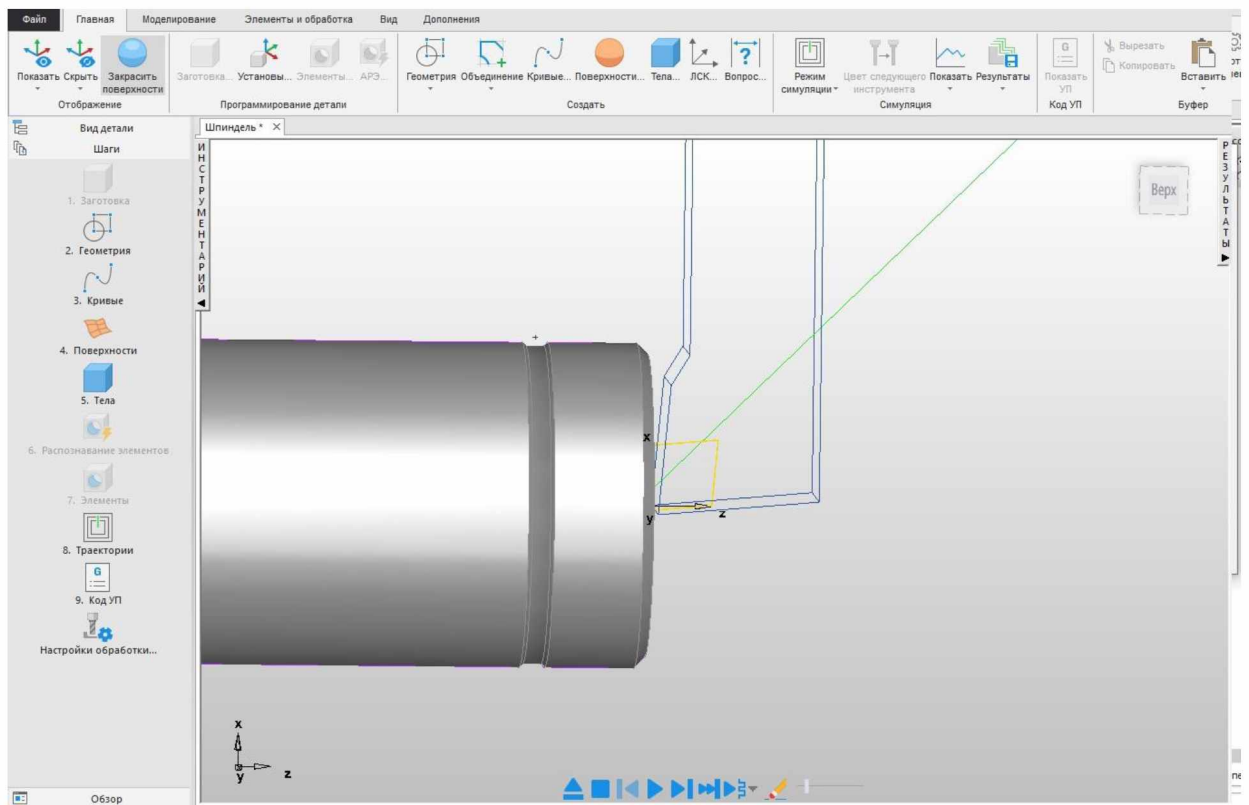


Рисунок 5.3 – Симуляція підрізання торця різцем у FeatureCAM

					КНУ.КБР.131.25.1-03.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			

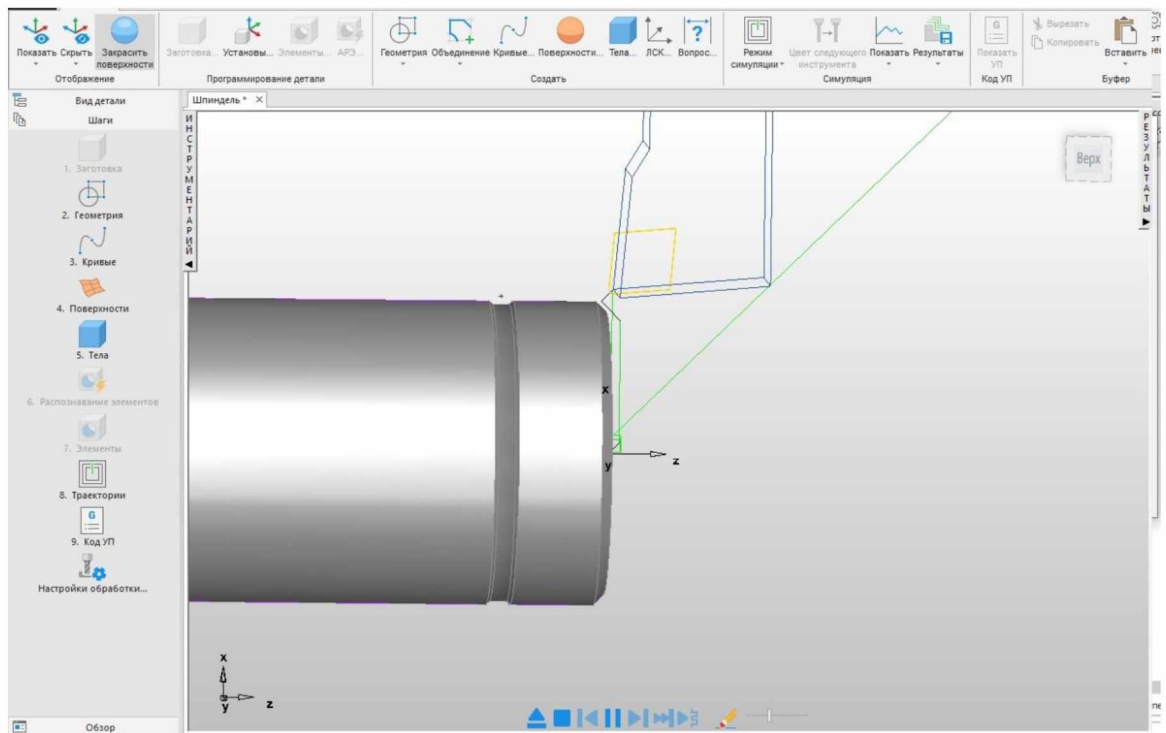


Рисунок 5.4 – Симуляція точіння різцем у FeatureCAM

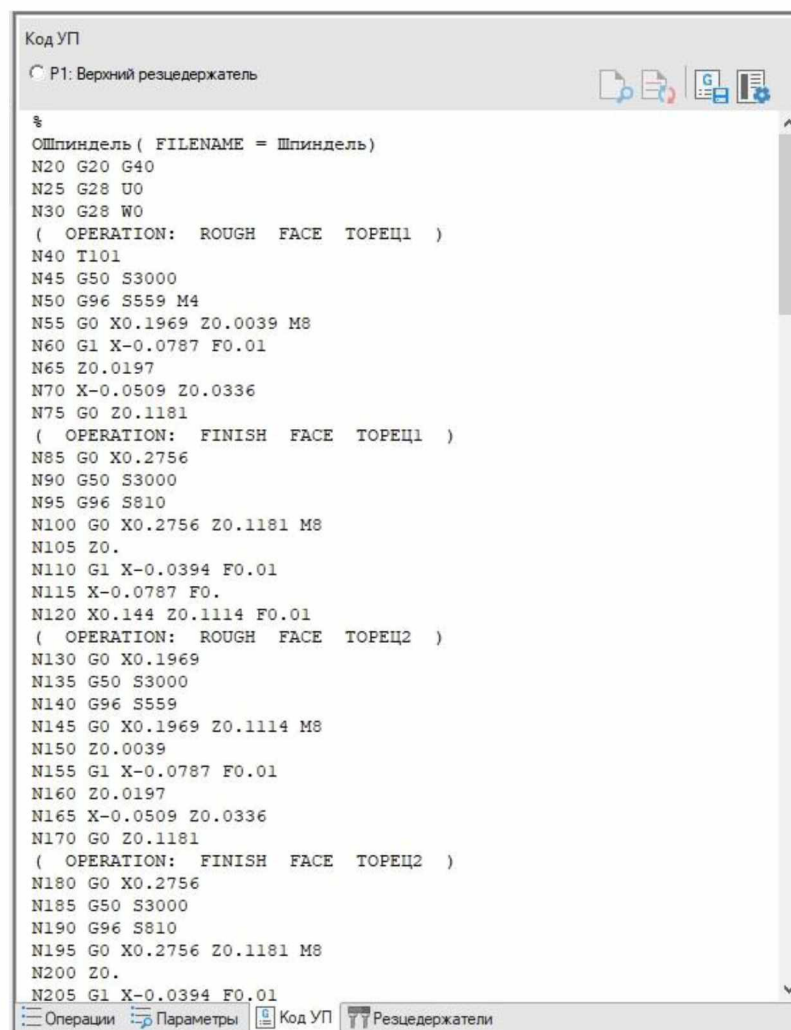


Рисунок 5.5 – КП обработки деталі «Шпиндель»

					КНУ.КБР.131.25.1-03.05.МПОМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Проведено економічний аналіз та визначено собівартість виготовлення деталі «Шпindel» за двома альтернативними варіантами технологічної обробки. Оцінено доцільність модернізації виробничого процесу шляхом заміни технічно й морально застарілого обладнання (токарні верстати моделей 16К30, 1А64, 6Р13 та 2М55) на сучасний токарно-фрезерний верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК) – модель СТХ 510 ecoline. Результати економічних розрахунків і терміну окупності інвестиційного проєкту наведено в таблицях 6.1–6.4:

Таблиця 6.1 містить вхідні дані, необхідні для виконання економічних обчислень;

Таблиця 6.2 подає допоміжні показники, використані під час розрахунків;

Таблиця 6.3 відображає собівартість річного обсягу виготовлення деталей та обсяг необхідних капіталовкладень;

Таблиця 6.4 узагальнює загальні витрати, очікуваний річний економічний ефект та визначає строк окупності проєкту.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунків

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	16К30	1А64	6Р13	2М55	СТХ 510 ecoline
<i>Деталь</i>					
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.	34	52	6	2	78
Час наладки верстата, хв.	16	16	4	8	20
Розряд: контролера верстатника наладчика наладчика інструменту	5				5
	4	3	4	3	2
	3	3	3	3	5
		4			4
Кількість кадрів програми, шт.					300
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	5620				5620
Вартість комплексу спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	50000	33000	31000	70000

					КНУ.КБР.131.25.1-03.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Вородійов				Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.
Перевір.	Рязанцев						Арк.шіф
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв					Каф. ТМ, гр. ПМ-21	
Зав. каф.	Рязанцев						

Продовження таблиці 6.1

Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	0,5	1,5	0,5	1	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	45	45	45	120
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_t	0,083	0,083	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 $H_{ст}$	120	130	130	120	160
наладчика $H_{нал}$	130	135	130	125	150
наладчика інструмента $H_{ін}$	110	120	120	115	150
контролера H_k	115				145
Верстати					
Клас точності верстата	Н	Н	Н	Н	А
Маса верстата, т	6,875	11,4	4,2	4,7	8,1
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,545 x 2,01	5,825 x 2	2,56 x 2,26	2,665 x 1	4,44 x 1,69
Габарити пристрою ЧПК, м					0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК					SINUMERIK 810D
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рл}$, років	7	7	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	12	14	10	10	37,2
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:					
механічної частини R_m	18,6	27,7	15	15,6	26,86
електротехнічної частини R_e	13,4	14	9,8	9,2	20,8
Кількість верстатів, що обслуговує один	1	1	1	1	2
Оптова ціна верстата Π , грн.	275000	260000	160000	145000	2730000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,7	0,75	0,78	0,75	0,95

					КНУ.КБР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Площа верстата за габаритами A , м. кв.	11,2	11,7	5,8	2,7	7,5
Площа пристрою ЧПК A_y , м. кв.					0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.					
механічної частини H_m	401	401	401	401	272
електротехнічної частини H_e	86	86	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q , грн.	0	0	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	2,5	2,5	2,5	1,5	4
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{об}$, год	4055	3975	3975	3975	3845
Виробничі та інші площі					
Вартість 1 м. кв. площі механічної $\Pi_{мзд}$, грн	500				500
Вартість 1 м. кв. площі, що займають службово-побутові приміщення $\Pi_{сл. поб}$, грн	1000				1000
Площа службово-побутових приміщень, що приходяться на одного робочого A_6 , м. кв.	7				7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху $H_{цл}$, грн.	180	180	180	180	200

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

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників					
Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	16K30	1A64	6P13П	2M55	CTX 510 ecoline
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	400	400	200	66,66667	1500
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,33333	5,33333	1,33333	2,66667	6,666666667
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0	0,00	2,31111	1,540741	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	33,2	33,2	16,6	5,53333	124,5
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,22	0,22	0,11	0,04	0,40
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0029	0,0007	0,0014	0,0036
(дійсна)	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0	0,0000	0,001243	0,000828	0,01075
(дійсна)	1	0	1	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,02	0,02	0,009	0,00	0,07
(дійсна)	1				1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21
(дійсна)	0	0	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	12				5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску β	0,14	0,18	0,0649	0,023	0,41

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

Таблиця 6.3 – Результати розрахунків

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей											
$C = I_3 + I_n + I_{in} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k$											
де I_3 – зарплатня верстатника; I_n – зарплатня за наладку верстата; I_{in} – зарплатня наладжувальника 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 = 195,27 C_2 на деталь = 159,97	
I_3	I_n	I_{in}	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k
$C_1 = 221208 + 3019,16 + 454,52 + 0,00 + 61226,7 + 0 + 4545,21 + 1846,36 + 84000 + 4054,9 + 0 + 10181,33 =$										390535,96	
$C_2 = 199454 + 1572,48 + 234,00 + 666,67 + 26133,3 + 0 + 28648,62 + 3024,00 + 35000 + 6350,9 + 804,33 + 18052,50 =$										319941,22	
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 $K_{зд}$ $K_{сл}$ $K_{нез}$ $K_{пр}$ $K_{п.у.}$											
$K_1 = 109815 + 5129 + 84000 + 704968 + 164000 + 0 = 1067912$											
$K_2 = 540540 + 2790 + 28000 + 615598 + 70000 + 2000 = 1258928,41$											

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

Приведені витрати			
$З_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$			
550723	390536	0,15	1067912
$З_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$			
508780	319941	0,15	1258928

Річний економічний ефект			
$E = З_1 - З_2$			
41942	550723	508780	

Строк окупності			
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$			
2,71	1258928	1067912	390536 319941,2

					КНУ.КБР.131.25.1-03.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата			

За підсумками аналізу встановлено, що заміна чотирьох застарілих верстатів на один сучасний верстат з ЧПК значно скорочує тривалість обробки деталей. Запропонована модернізація є економічно обґрунтованою: строк окупності інвестицій становить 2,71 року, а очікуваний річний економічний ефект – 41942 грн.

6.2 Екологія виробництва та охорона праці при токарних операціях

У сучасному світі, коли технічний прогрес невинно розвивається, особливу увагу приділяють не лише ефективності виробництва, але й безпеці працівників та екологічній безпеці. Однією з основних операцій у металообробці є токарна обробка, яка використовується для створення деталей шляхом видалення шару матеріалу з заготовки. Проте цей процес супроводжується низкою ризиків — як для здоров'я працівників, так і для навколишнього середовища.

На багатьох підприємствах недооцінюється важливість запровадження екологічних технологій та дотримання норм охорони праці, що може призвести до нещасних випадків, хронічних захворювань працівників, а також забруднення повітря, води й ґрунтів. Саме тому актуальність теми полягає у необхідності поєднання ефективного виробництва з відповідальним ставленням до природи та людини.

Мета даного пункту роботи – проаналізувати основні екологічні та безпекові аспекти токарного виробництва, виявити потенційні загрози, а також окреслити шляхи їх усунення чи мінімізації.

6.1.1 Екологічні аспекти токарного виробництва

Основні екологічні загрози, пов'язані з токарними операціями:

Металеві стружки – відходи, що утворюються в процесі обробки, можуть забруднювати ґрунт та воду при неправильній утилізації.

Масильно-охолоджувальні рідини (МОР) – речовини, які застосовуються для зменшення тертя, але можуть містити шкідливі домішки (нафтопродукти, ПАВи).

Шум та вібрації, які впливають як на працівників, так і на навколишнє середовище.

Методи зменшення негативного впливу:

- використання біорозкладних МОР;
- утилізація та вторинна переробка металевих відходів;
- впровадження систем аспірації та очищення повітря.

6.1.2 Охорона праці при токарних операціях

Безпека працівника на токарному верстаті є пріоритетом:

Індивідуальні засоби захисту (ІЗЗ): захисні окуляри, рукавиці, спецодяг, беруші або навушники від шуму.

Огородження рухомих частин верстата – запобігання потраплянню рук або одягу в зону обробки.

Система вентиляції – видалення шкідливих парів та пилу.

					КНУ.КБР.131.25.1-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Освітлення та ергономіка робочого місця – впливає на точність виконання операцій та знижує навантаження на зір та опорно-руховий апарат.

6.1.3 Нормативно-правове регулювання

Основні документи:

Закон України «Про охорону праці»;

ДСТУ та ISO щодо експлуатації металообробного обладнання;

Санітарні норми щодо рівня шуму, вібрації та хімічних речовин у виробничих приміщеннях.

Підсумовуючи викладене, можна стверджувати, що токарні операції мають як технологічну цінність, так і екологічну та соціальну відповідальність. Умови праці на верстатах повинні відповідати всім сучасним стандартам безпеки, а екологічні вимоги мають бути інтегровані у кожний етап виробничого процесу.

Зменшення негативного впливу токарного виробництва можливе за допомогою впровадження екологічно чистих технологій, раціонального використання матеріалів, модернізації обладнання, належної утилізації відходів та навчання персоналу. Особливу роль відіграє контроль з боку держави та роботодавця за дотриманням законодавства у сфері охорони праці.

Таким чином, екологічна безпека та охорона праці при токарних операціях – це не лише вимога часу, а й запорука сталого розвитку підприємства, здоров'я працівників і збереження природного середовища для майбутніх поколінь.

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

ВИСНОВКИ

У результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було проведено комплексну конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення деталі «Шпindel» із застосуванням сучасних CAD/CAM/CAE технологій. Основні результати роботи викладені у шести розділах і дозволяють зробити такі висновки:

1. На основі аналізу вихідних даних було встановлено, що деталь «Шпindel» є відповідальною складовою шпindelного вузла плоскошліфувального верстата моделі 7Л722. Проведено функціональний аналіз та обґрунтовано необхідні параметри точності, зокрема для різьбового з'єднання, що є критичним елементом конструкції.

2. У другому розділі розкрито службове призначення деталі та проаналізовано вимоги до якості обробки її поверхонь. Запропоновано ефективний технологічний процес виготовлення із застосуванням сучасного токарно-фрезерного верстата з ЧПК – моделі CTX 510 esoline, що забезпечує високу точність і продуктивність.

3. У третьому розділі здійснено обґрунтований вибір ріжучого інструменту японської компанії SUMITOMO. Проведено розрахунок геометричних параметрів ріжучої частини, а також вибрано допоміжний інструмент відповідно до конструктивних і технологічних вимог.

4. У четвертому розділі спроектовано спеціальний комбінований інструмент (свердло-зенківка), який дозволяє поєднати дві операції в одну, що зменшує час обробки та витрати. За допомогою SolidWorks Simulation проведено інженерний аналіз конструкції інструменту, зокрема досліджено напруження, переміщення та деформації в умовах навантаження, що підтвердило його надійність.

5. У п'ятому розділі за допомогою Autodesk FeatureCAM змодельовано та запрограмовано токарні операції для виготовлення шпинделя на верстаті CTX 510 esoline. CAM-моделювання дозволило візуалізувати процес обробки, виявити можливі помилки та забезпечити оптимальну траєкторію різання.

6. У шостому розділі виконано техніко-економічне обґрунтування запропонованого технологічного процесу. Підраховано, що строк окупності становить 2,71 роки, а економічний ефект – 41 942 грн, що свідчить про доцільність впровадження розробки у виробництво. Також було враховано вимоги екологічної безпеки та охорони праці під час виконання токарних операцій, що є невід'ємною частиною сучасного виробництва.

Загалом, результати виконаної роботи підтверджують ефективність поєднання конструкторського підходу, сучасних CAD/CAM/CAE технологій та інженерного аналізу для розробки надійного, економічно обґрунтованого та екологічно безпечного технологічного процесу виготовлення відповідальної деталі машинобудування – шпинделя.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-03.B</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>	<i>Вардубов</i>				<i>Висновки</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-21</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. Технологія машинобудування Горбатюк Е.О. Мазур М.П., Зенкін А.С., Каразей В.Д. Навчальний посібник. Львів., Новий світ-2008,-360 с.

4. ДСТУ 3.1001:2014 Єдина система технологічної документації. Загальні положення.

5. ДСТУ 2391-94 Система технологічної документації. Терміни та визначення

6. ДСТУ 3.1127:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання текстових технологічних документів.

7. ДСТУ 3.1128:2014. Єдина система технологічної документації. Загальні правила виконання графічних технологічних документів.

8. Каталог інструментів фірми SUMITOMO: «Токарна обробка», 2015р.

9. Каталог допоміжного інструменту фірми EROGLU.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

13. ДСТУ 3321-96 Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-03.СВД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Список використаних джерел</i>		
Розроб.		<i>Вородійов</i>					
Перевір.		<i>Рязанцев</i>					
Реценз.							
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Зав. каф.		<i>Рязанцев</i>			<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 «Шпindel» та обґрунтування параметрів різального
інструменту з використанням САПР технологій

Виконав здобувач гр. ПМ-21

(підпис)

Федір ВОРОБІЙОВ

Керівник КБР

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

Нормоконтроль

(підпис)

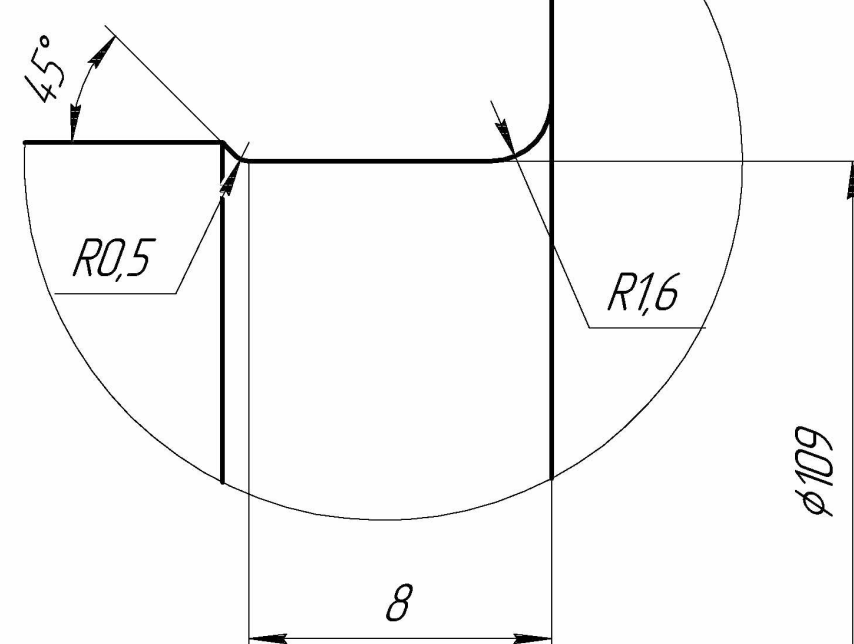
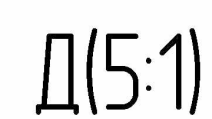
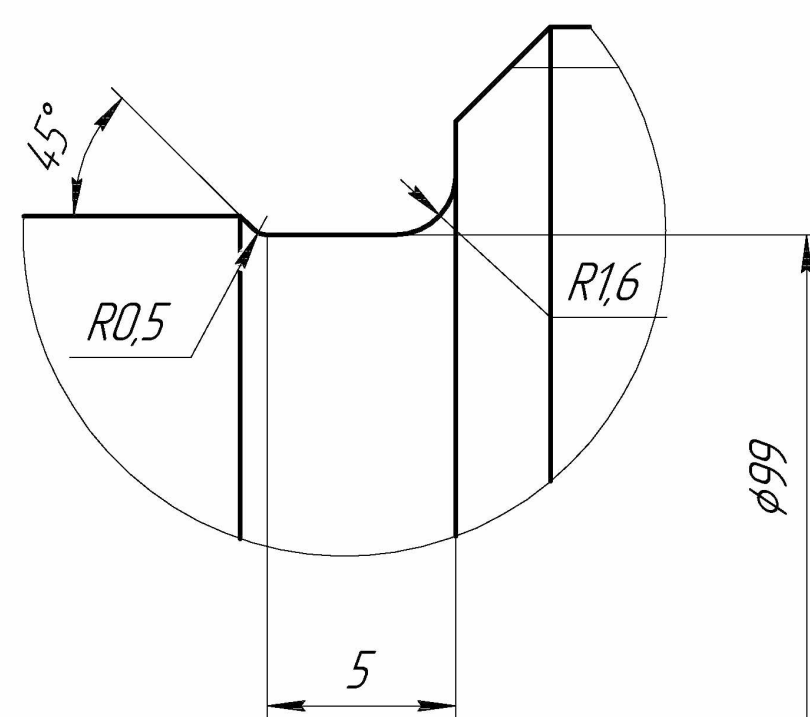
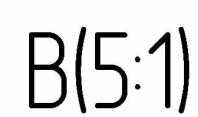
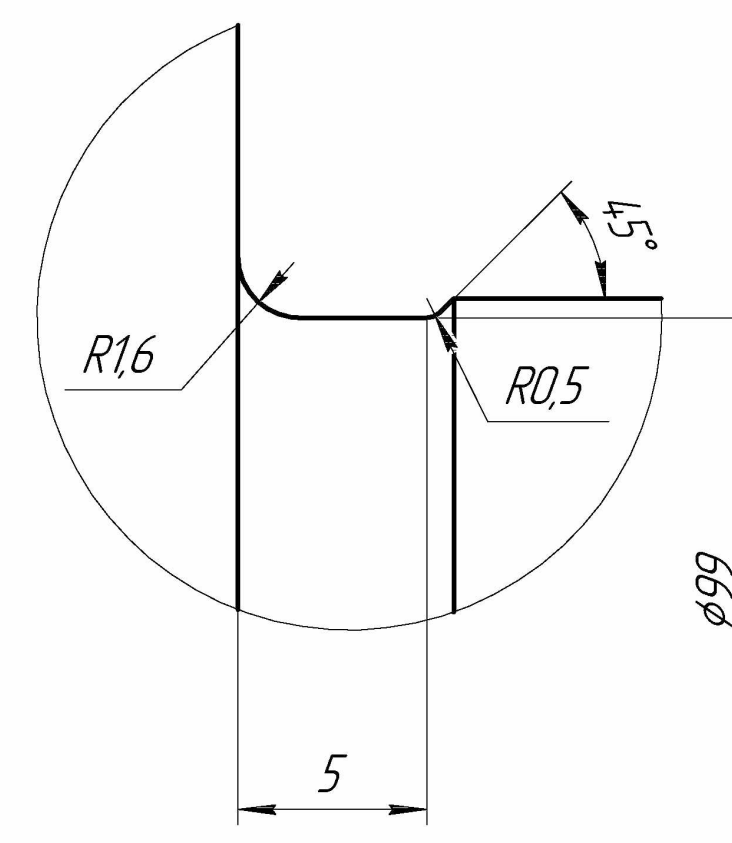
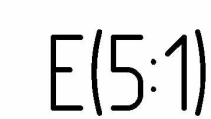
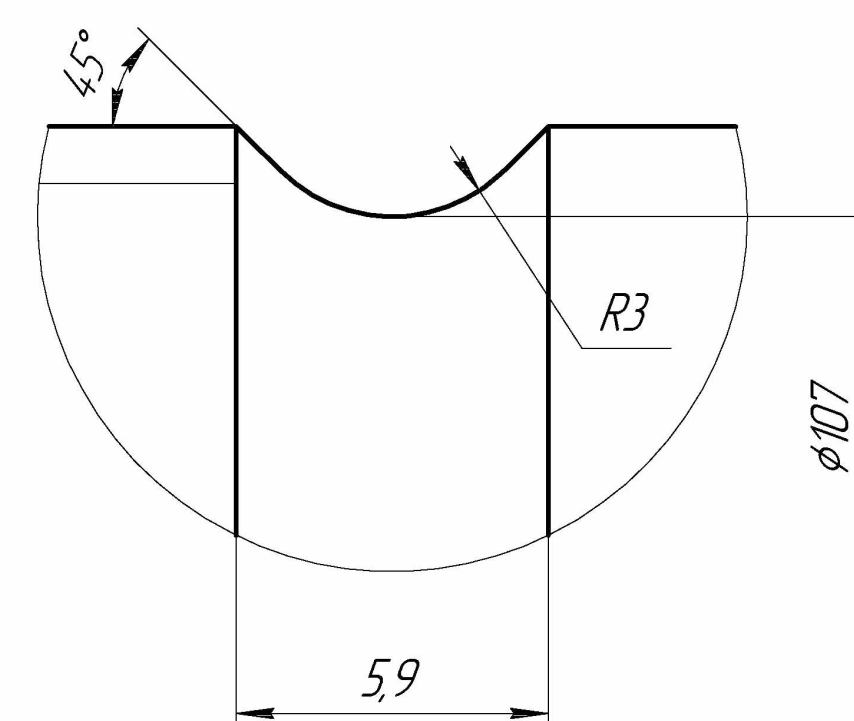
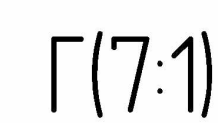
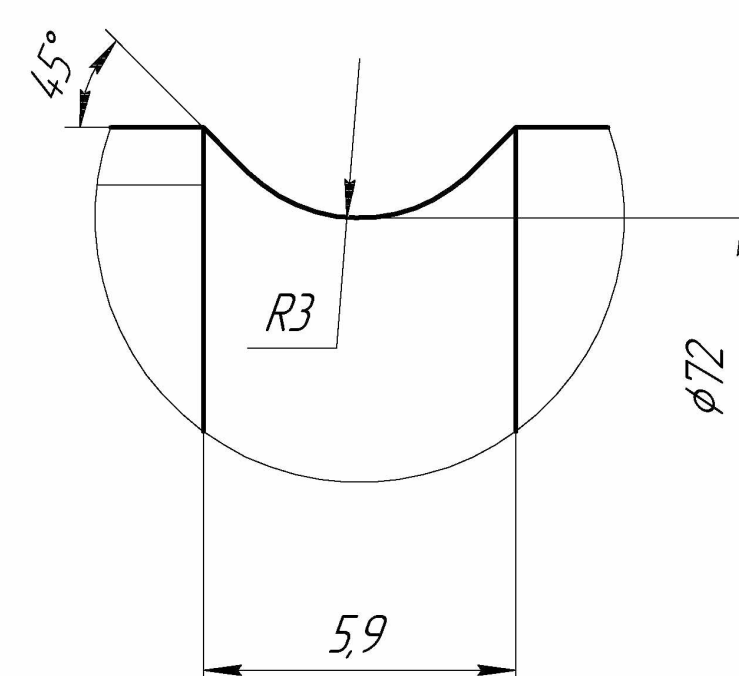
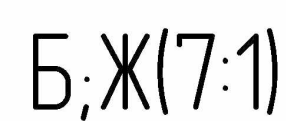
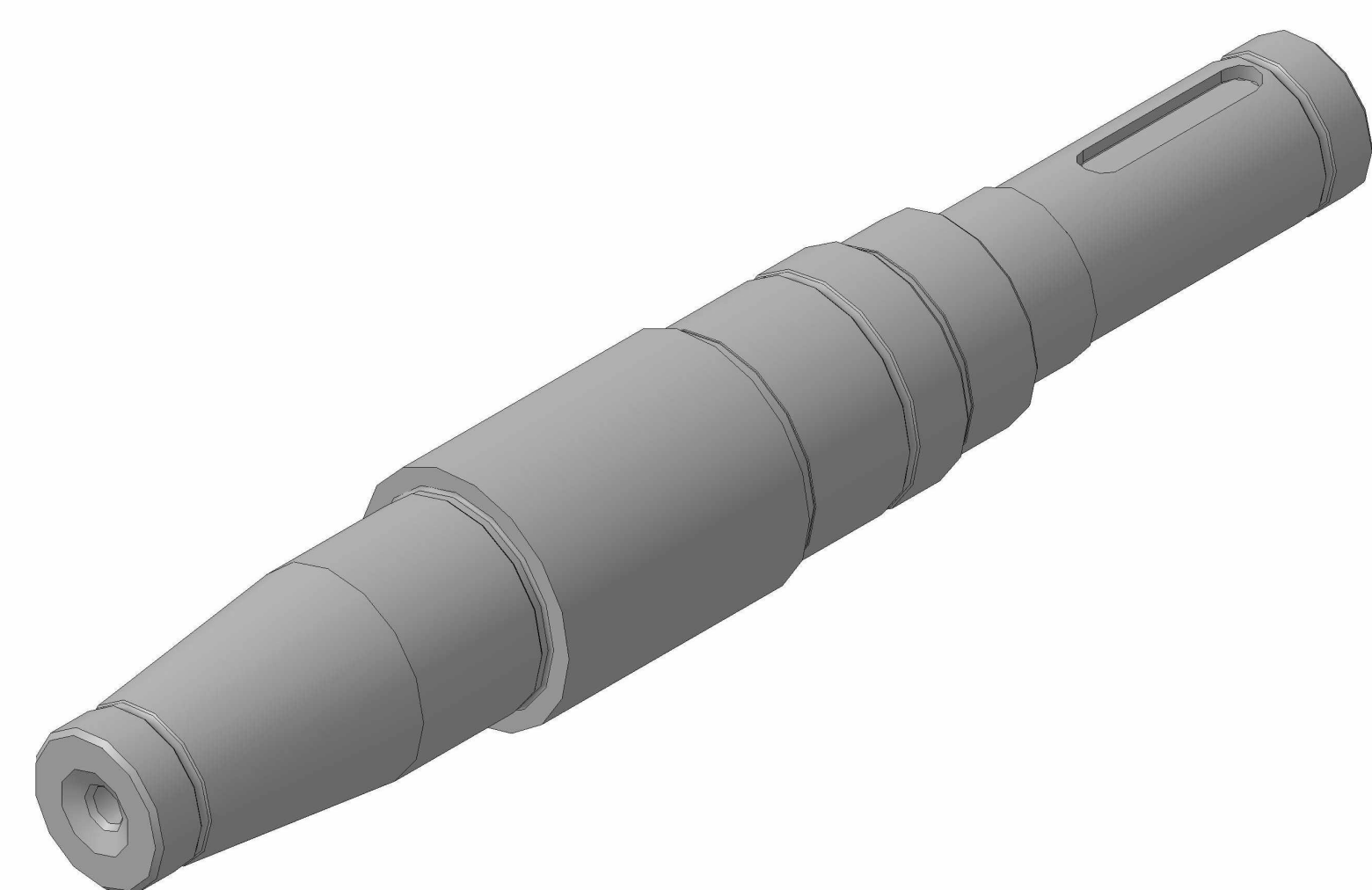
Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

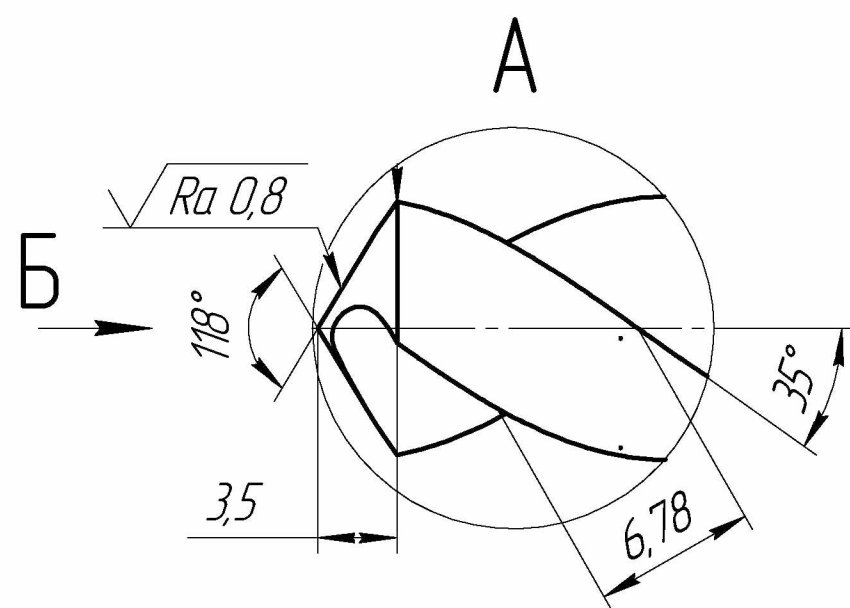
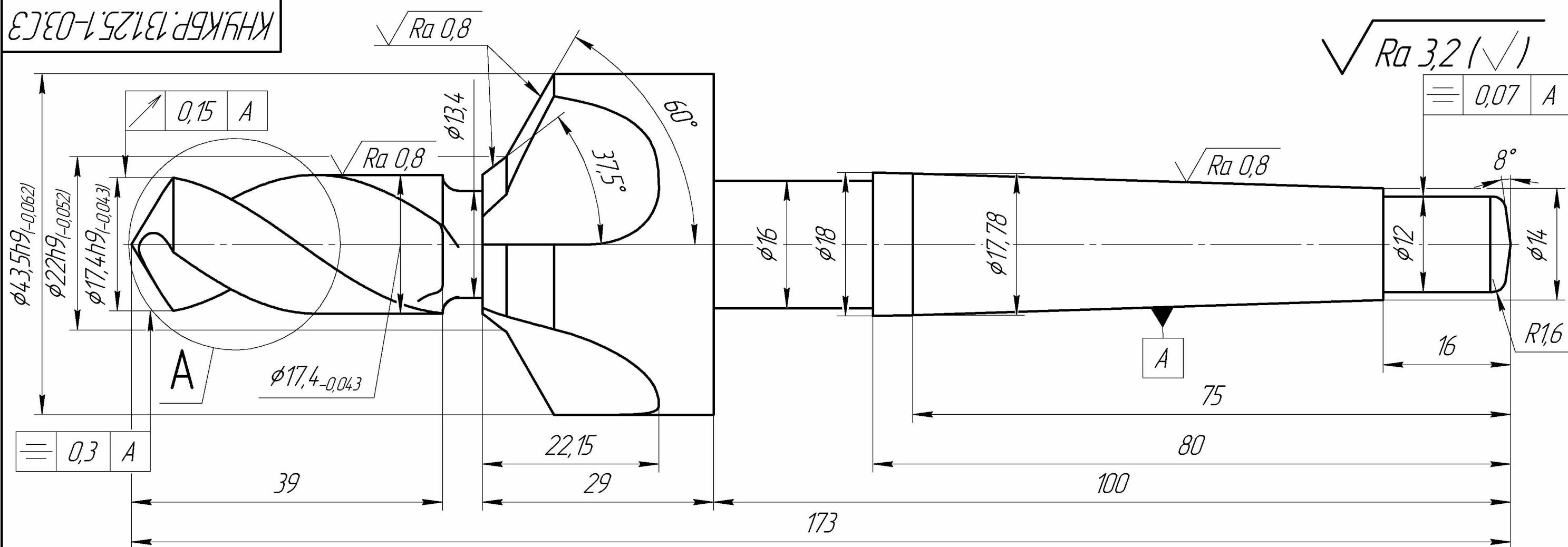
Кривий Ріг
2025 р.



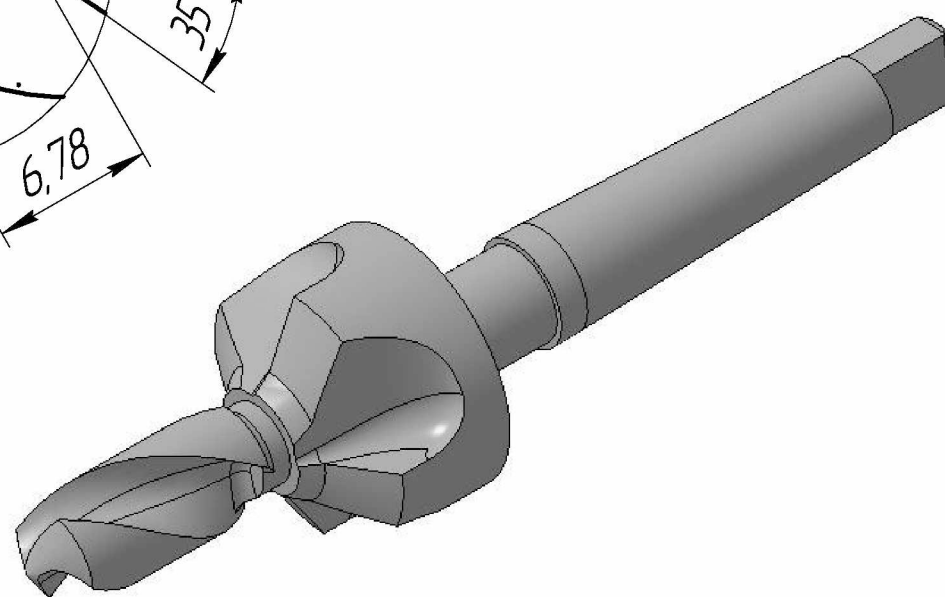
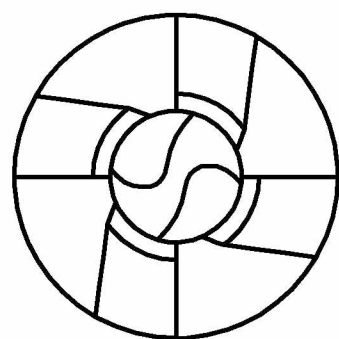
1. Овальність і конусообразність поверхонь В,Г,Е не більше 0.011 мм.
2. Невказані граничні відхилення розмірів: Н14, н14.
3. Показка ГРV кл 785(a).
4. Допускається заміна на сталь 40ХА2МА ДСТУ7806:2015

					КНУ.КБР.131.25.1-03.Ш			
Эм. лист	№ докум.	Подпис	Дата	Шпиндель		Лит	Масса	Мощность
Разработчик	Выполнитель					Н	40,22	11
Керявичук	Рязанцев					Лист	Листов	1
Никитин	Нечасов			Сталь 40ХН2МА ДСТУ 7806:2015		Кафедра ТМ гр. ТМ-21		
Затв	Рязанцев							

КНУКБР.13125.1-03.СЗ

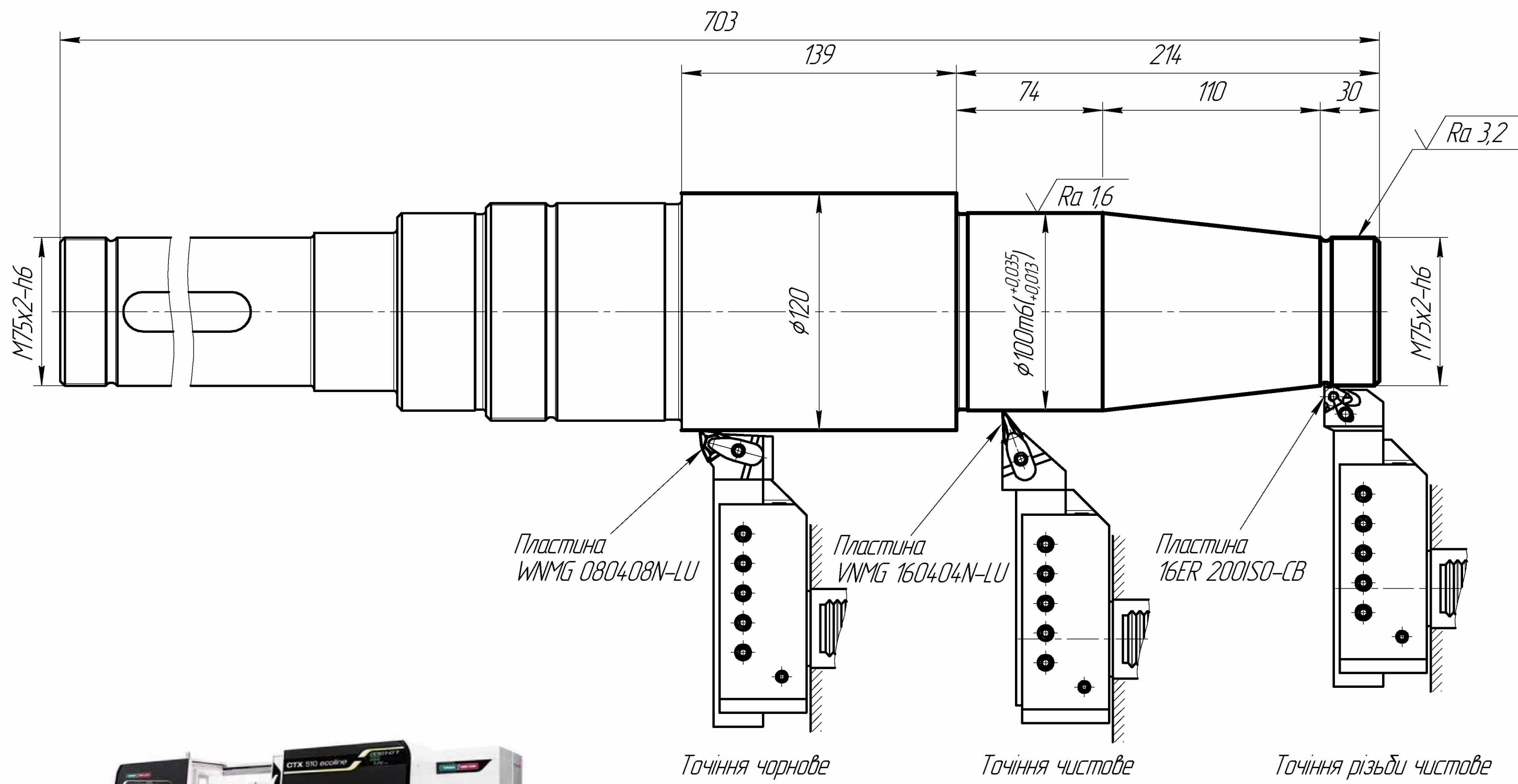


Б (1:1)



1. Матеріал робочої частини: Р6М5 ISO 11054, твердість HRC63–66.
2. Матеріал хвостової частини: сталь 40Х ДСТУ 7806:2015, твердість HRC43.5–51.5.
3. Невказані граничні відхилення розмірів: h14; H14.
4. Допускається зварювання тертям.
5. Маркувати: діаметр сверла та зенковки, марку сталі ріжучої частини.

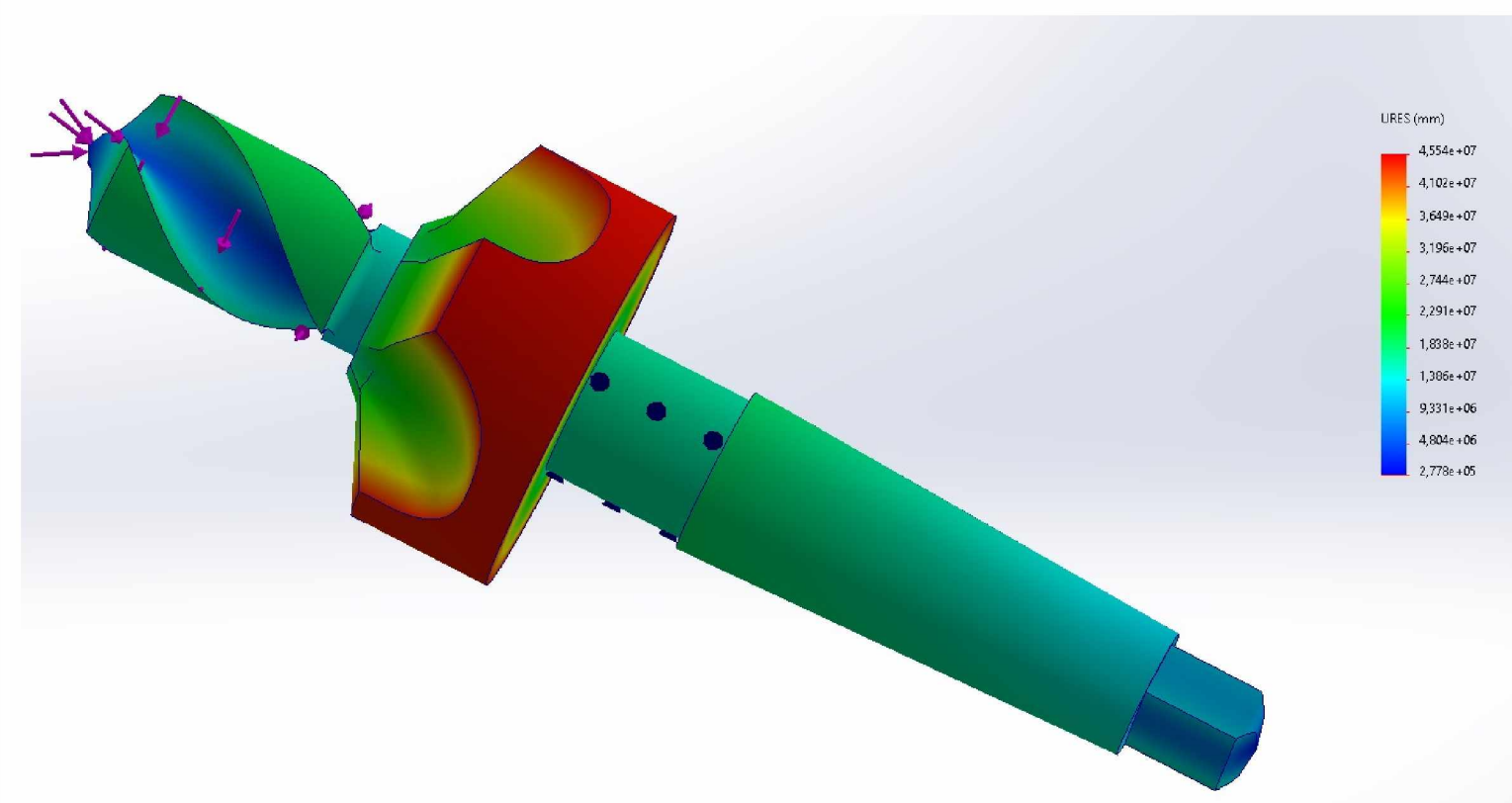
					КНУ.КБР.131.25.1-03.СЗ				
					Свердло-зенківка	Лім.	Маса	Масштаб	
						Н	0,4	1:1	
						Лист	Листів	1	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Див. тех. вимоги	Кафедра ТМ			
Розробив	Вородійов					гр. ПМ-21			
Керівник	Рязанцев								
Н.контр.	Нечаєв								
Затв.	Рязанцев								



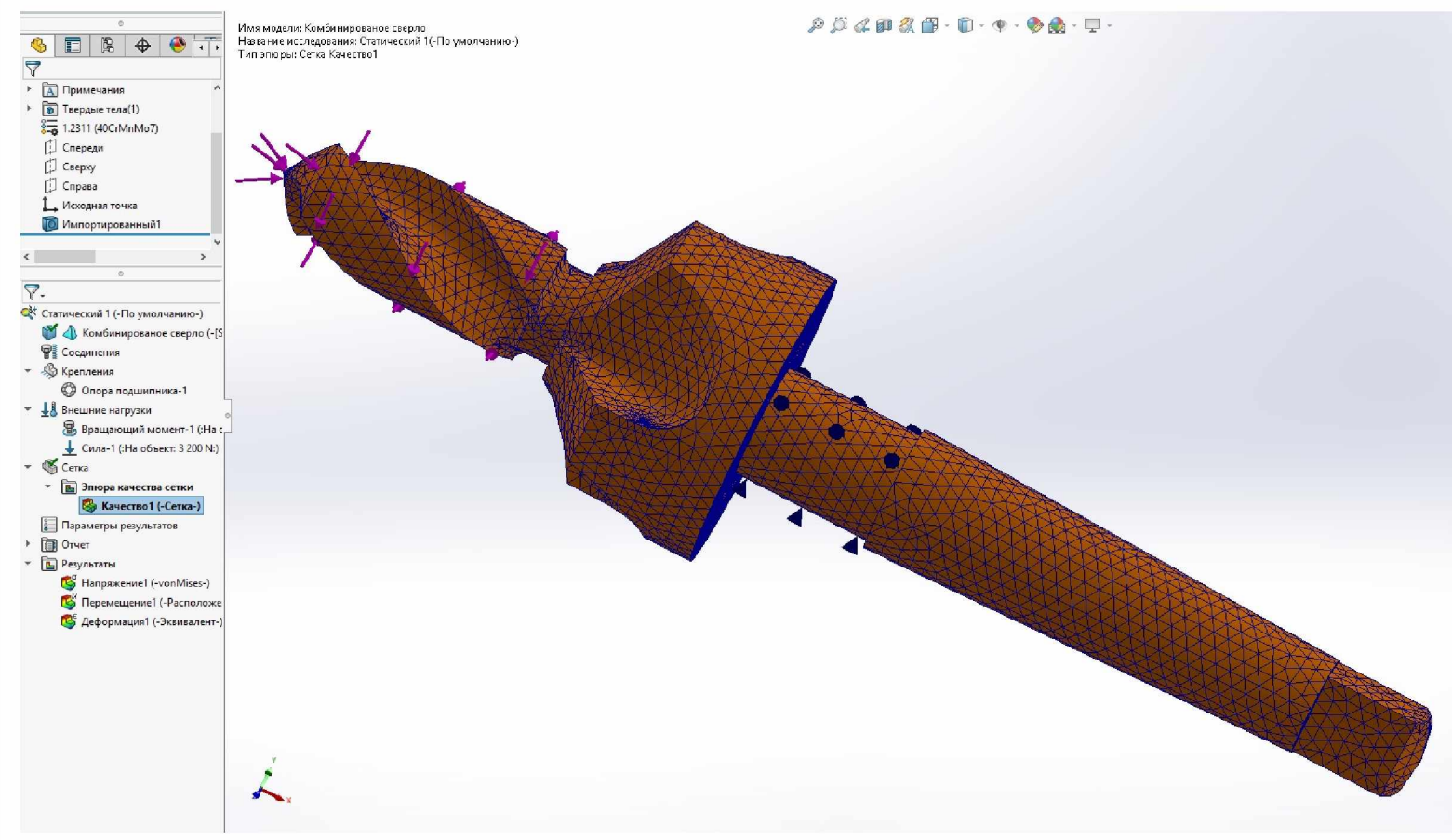
Токарно – фрезерний верстат з ЧПК моделі CTX 510

КНУ.КБР.131.25.1-03.ВІН					Верстатно-інструментальне налагодження		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Маса	Масштаб
Разробив	Воробілов				Н		1:1
Керівник	Рязанцев				Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Затв.	Рязанцев						

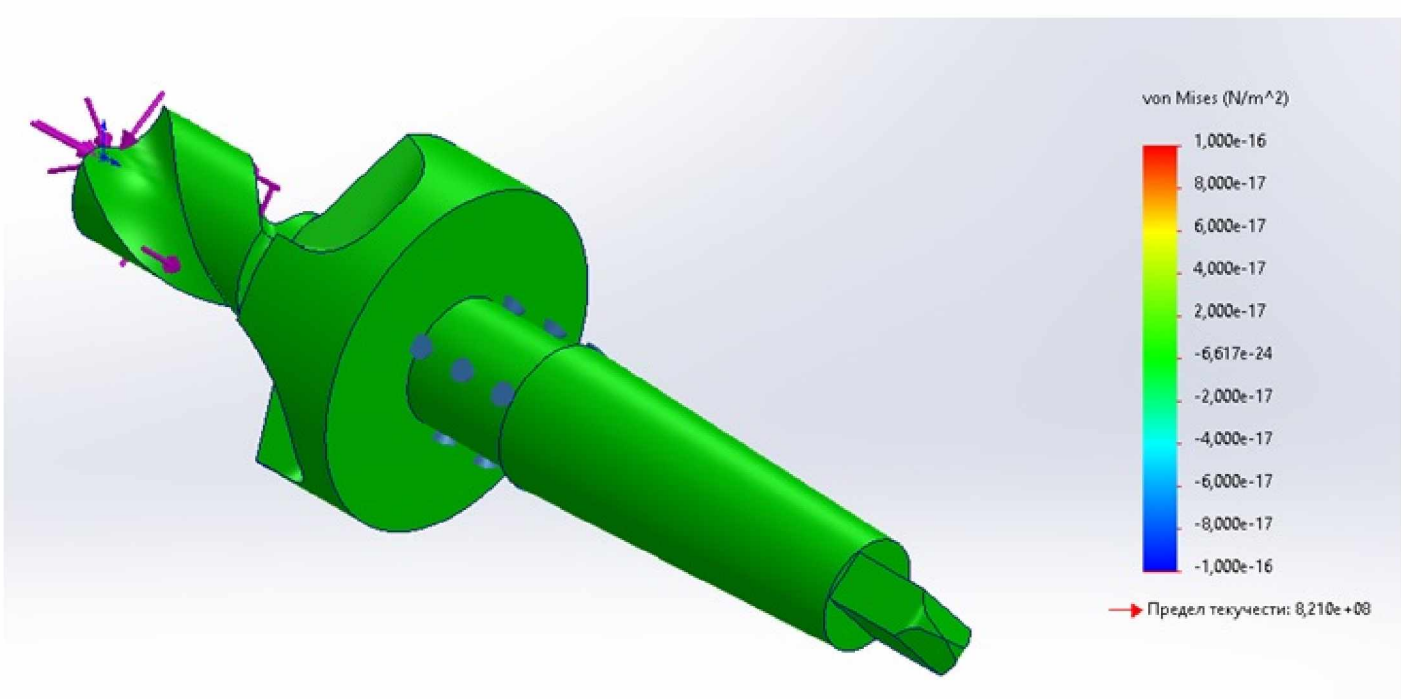
Симуляція «Переміщення» в SolidWorks Simulation



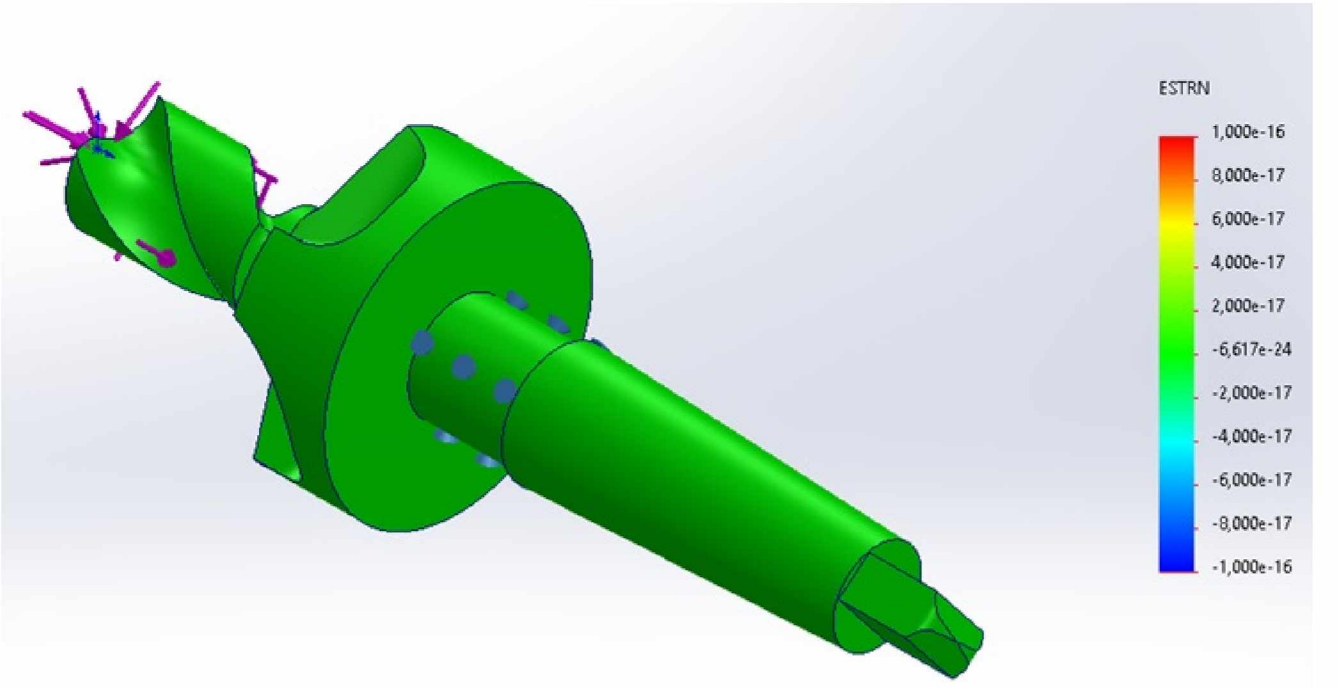
Сітка кінцевих елементів



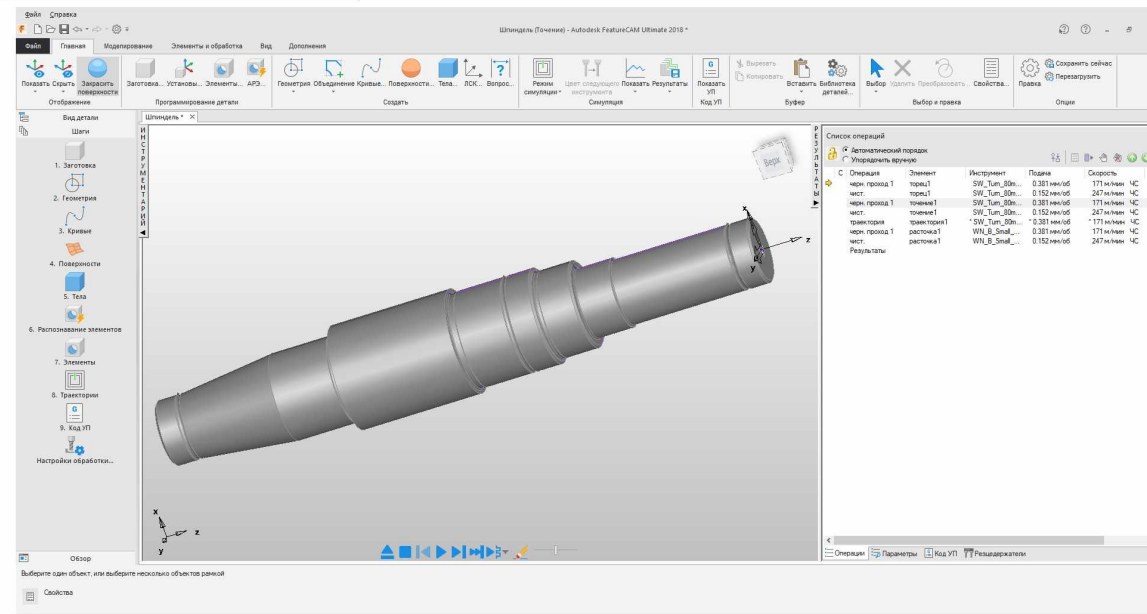
Симуляція «Напруження» в SolidWorks Simulation



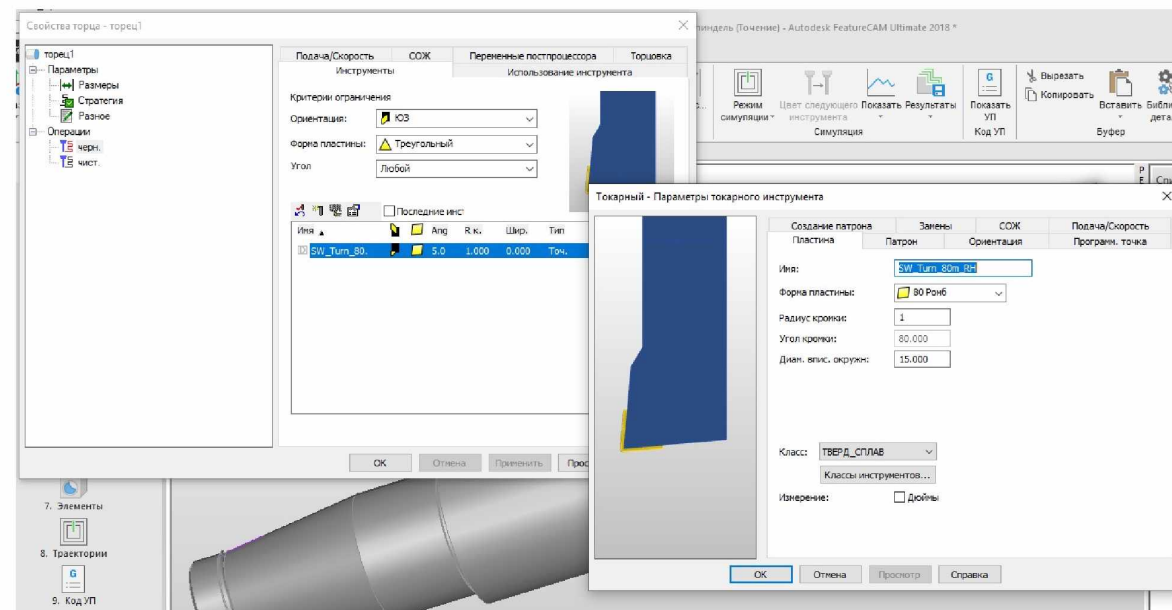
Симуляція «Деформація» в SolidWorks Simulation



КНУ.КБР.131.25.1-03.ІАСРІ					Інженерний аналіз спеціального різального інструменту		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Літ.	Маса	Масштаб
Разробив	Воробій				Н		
Керівник	Рязанцев				Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ		
Затв.	Рязанцев				гр. ПМ-21		



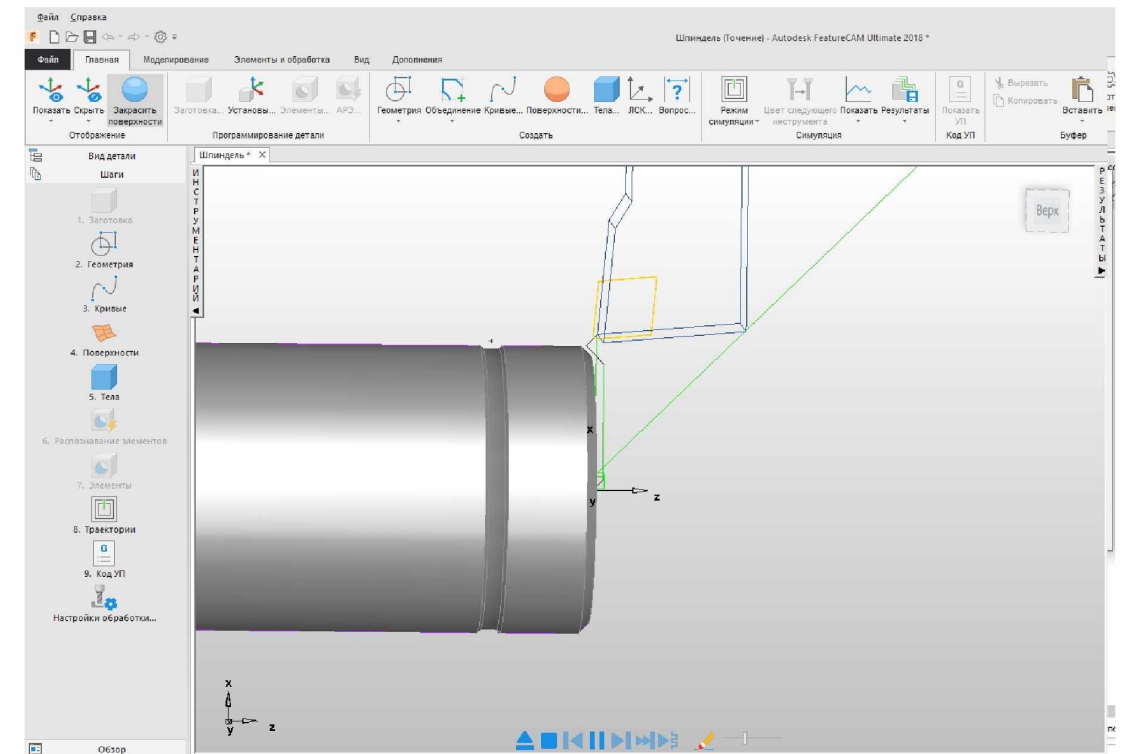
Етап вибору різального інструменту в меню програми



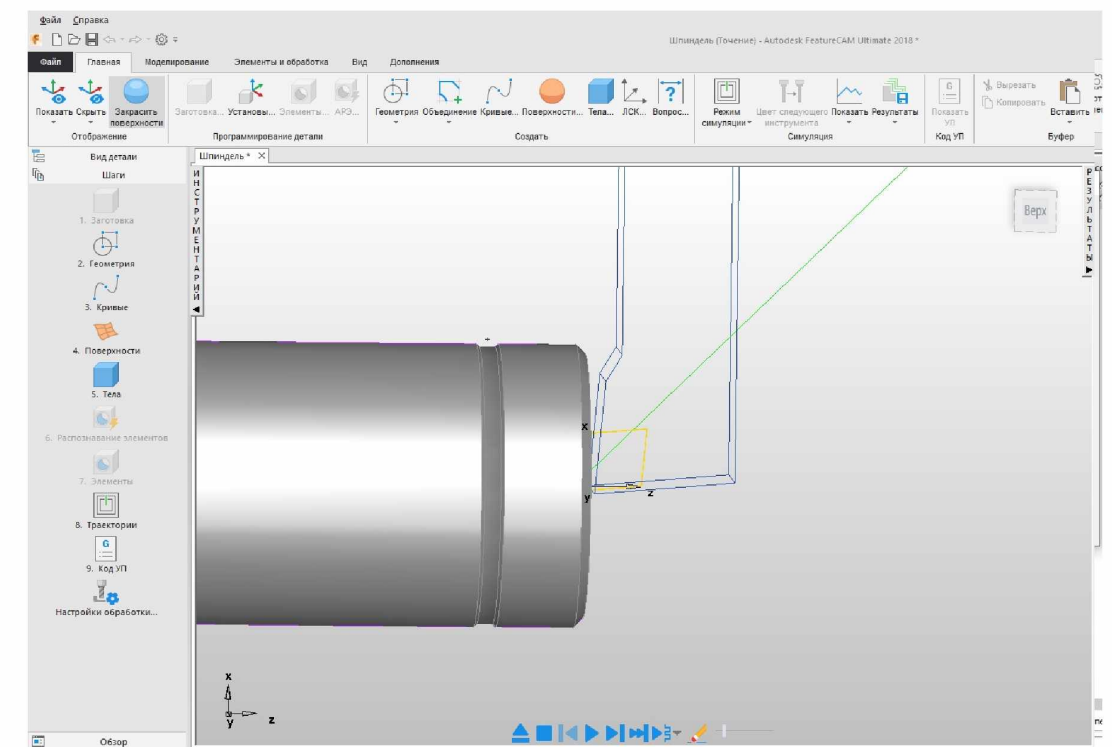
Фрагмент керуючої програми

```
Код УП
P1: Верний резаккартель

%
ОШИНДЕЛЬ (FILENAME = ШИНДЕЛЬ)
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 Z0.0497
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 Z0.0497
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
```



Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (підрізання торцю)



					КНУ.КБР.131.25.1-03.МПМО				
					Моделювання процесу механічної обробки	Літ.	Маса	Масштаб	
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Воробілов					Н			
Керівник	Рязанцев								
						Лист	Листів	1	
Н.контр.	Нечаєв				Кафедра ТМ				
Затв.	Рязанцев				гр. ПМ-21				