

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

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

Виконав: здобувач групи ЗПМ-22ск
Христенко К.С.

Керівник випускної роботи:
доцент, к.т.н., Нечаєв В.П.

Кривий Ріг
2025 р.

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ**

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

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

Виконав здобувач гр. ЗПМ-22ск	_____	Кирило ХРИСТЕНКО
	(підпис)	
Керівник КБР	_____	Василь НЕЧАЄВ
	(підпис)	
Нормоконтроль	_____	Василь НЕЧАЄВ
	(підпис)	
Завідувач кафедри	_____	Антон РЯЗАНЦЕВ
	(підпис)	

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 ЗПМ-22 Христенко Кирила Сергійовича

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

Керівник проєкту: доц., к.т.н. Нечаєв В.П.

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 «Кільце». 3. Річна програма випуску деталей

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

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Вал насосу. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Різець фасонний дисковий. 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	02.03.2025
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.	23.03.2025
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.	26.04.2025
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	06.06.2025
20.	Попередній захист	15.06.2025

Дата видачі завдання: « ____ » _____ 2025 р.

Завдання видав керівник КБР _____

/ Нечасів В.П./

Завдання отримав
здобувач освіти _____

/Христенко К.С./

[illegible]

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до КРБ містить: 50 стор., 28 рисунок, 13 таблиць, 5 листів графічної частини.

Метою дослідження є розробка та інженерний аналіз спеціального різального інструменту для високоефективної обробки поверхонь деталі типу «вал насосу» з використанням сучасних САЕ-систем.

Об'єктом дослідження є процес механічної обробки поверхонь деталі «вал насосу» у машинобудівному виробництві.

Предметом дослідження є спеціальний різальний інструмент, його конструкційні особливості, умови експлуатації та інженерний аналіз із використанням САЕ-систем, спрямований на покращення якості обробки та підвищення продуктивності виробничого процесу.

У сучасному машинобудуванні постійно зростають вимоги до якості обробки деталей, підвищення продуктивності та ефективності виробничих процесів. Одним із ключових елементів забезпечення високої точності та надійності обробки є використання спеціального різального інструменту, який дозволяє оптимізувати технологічний процес для конкретних типів деталей. Тема даної бакалаврської кваліфікаційної роботи – «Спеціальний різальний інструмент для обробки поверхонь деталі «Вал насосу» та його інженерний аналіз за допомогою САЕ систем» – передбачає розробку конструкції інструменту, адаптованого до обробки даної деталі, а також інженерне моделювання та аналіз його роботи з використанням сучасних систем комп'ютерного інжинірингу (САЕ).

У виробництві насосного обладнання деталі типу «вал насосу» мають важливе функціональне значення та зазнають значних механічних навантажень. Висока точність геометричних параметрів, належна чистота поверхні та забезпечення жорстких допусків є обов'язковими вимогами до таких деталей. Традиційні методи обробки не завжди дозволяють досягти необхідної продуктивності та якості обробки при збереженні економічної доцільності. Тому актуальним є розроблення спеціального різального інструменту, що дозволяє адаптувати процес обробки до конкретної геометрії вала насосу. Використання САЕ-систем для інженерного аналізу інструменту забезпечує можливість попереднього віртуального тестування, оптимізації конструкції та підвищення її ефективності ще на етапі проектування.

ВАЛ НАСОСУ, НАСОС KSB ETANORM, ДИСКОВИЙ ФАСОННИЙ РІЗЕЦЬ, САЕ-СИСТЕМИ, ПРОДУКТИВНІСТЬ.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.Р			
Зм.	Арк.	№ док.	Підпис	Дата				
Розроб.		Христенко			Реферат			
Перевір.		Нечаєв						
Реценз.								
Н. контр.		Нечаєв						
Зав. каф.		Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Аркшів	
					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск			

ABSTRACT

The explanatory note to QBW contains: 50 pages, 28 figures, 13 tables, 5 sheets of the graphic part.

The aim of the study is the development and engineering analysis of a special cutting tool for the high-efficiency machining of surfaces of a part of the "pump shaft" type using modern CAE systems. The object of the research is the process of mechanical machining of the surfaces of a "pump shaft" part in mechanical engineering production.

The subject of the research is a special cutting tool, its design features, operating conditions, and engineering analysis using CAE systems, aimed at improving machining quality and increasing the productivity of the manufacturing process.

In modern mechanical engineering, the requirements for part quality, productivity, and production efficiency are constantly increasing. One of the key elements in ensuring high accuracy and machining reliability is the use of special cutting tools, which allow the technological process to be optimised for specific types of parts.

The topic of this bachelor's qualification project – "Special Cutting Tool for Machining the Surfaces of a 'Pump Shaft' Part and Its Engineering Analysis Using CAE Systems" – involves the development of a tool design adapted to the machining of this particular part, as well as engineering modelling and performance analysis using modern computer-aided engineering (CAE) systems.

In the production of pump equipment, parts such as pump shafts play an important functional role and are subject to significant mechanical loads. High accuracy of geometric parameters, proper surface finish, and strict tolerance control are essential requirements for such parts. Traditional machining methods do not always allow the necessary productivity and quality to be achieved while maintaining economic feasibility. Therefore, the development of a special cutting tool that allows the machining process to be adapted to the specific geometry of the pump shaft is highly relevant. The use of CAE systems for the engineering analysis of the tool enables preliminary virtual testing, design optimisation, and improved tool efficiency already at the design stage.

PUMP SHAFT, KSB ETANORM PUMP, PROFILED DISC CUTTER, CAE SYSTEMS, PRODUCTIVITY.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.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 замін	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	17
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	24
3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів	28
3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту	29
3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	31
4 Проектування та інженерний аналіз різального інструменту	33
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	33
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	34
5 Моделювання та програмування операцій механічної обробки	38
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора	38
5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм	38
6 Організаційно-економічна підготовка виробництва	42
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	42
6.2 Охорона праці та екологія виробництва. Забруднення стічних вод продуктами машинобудівного виробництва	47
Висновки	49
Список використаних джерел	50

					КНУ.КБР.131.25.4-03.3		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.	Христенко						
Перевір.	Нечаєв						
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв						
Зав. каф.	Рязанцев						
					Літ.	Арк.	Архів
					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск		

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.131.25.4-03.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Вступ</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Христенко</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
					<i>Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск</i>		

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Основою для виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи послуговували креслення деталі «Вал насосу» та її складального вузла. На рисунку 1.1 наведено тривимірну модель зазначеної деталі.



Рисунок 1.1 – Об’ємна модель деталі «Вал насосу»

У ході дослідження розроблено технічне завдання для проектування технологічного процесу виготовлення валу насосу KSB Etanorm, а також підібрано ефективний інструмент для реалізації цього процесу.

Поставлені наступні завдання:

- провести аналіз технологічних особливостей обробки деталей типу «вал»;
- обґрунтувати вибір типу та конструкції спеціального різального інструменту;
- виконати проектування інструменту з урахуванням умов експлуатації та режимів обробки;
- провести інженерний аналіз конструкції інструменту за допомогою CAE-систем (аналіз напружень, деформацій).

Об’єктом дослідження є процес механічної обробки поверхонь деталі «Вал насосу» у машинобудівному виробництві.

Предметом дослідження є спеціальний різальний інструмент, його конструкційні особливості, умови експлуатації та інженерний аналіз із використанням CAE-систем, спрямований на покращення якості обробки та підвищення продуктивності виробничого процесу.

					<i>КНУ.КБР.131.25.4-03.01.АСПМ</i>		
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата			
Розроб.		Христенко			Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі		
Перевір.		Нечаєв					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев					
					Літ.	Арк.	Аркцифр
					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск		

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

Даний вал входить до складу насосу KSB Etanorm (рис. 1.2). Насоси KSB використовуються для перекачування різних типів рідин, у тому числі чистої або забрудненої води, агресивних і вибухонебезпечних речовин, корозійних і в'язких складів, продуктів з твердими включеннями або суспензій. Технічні характеристики насосу наведено в табл. 1.1.



Рисунок 1.2 – Насос KSB Etanorm

Таблиця 1.1 – Технічні особливості та характеристики насосу KSB Etanorm

Частота мережі (Гц)	Максимальна продуктивність, м³/год	Температура рідини, °C	Макс. напір, м	Макс. тиск, бар
50 Гц	640	-30 ... +140	160	16
60 Гц	740	-30 ... +140	160	16

Основні сфери застосування насосу KSB Etanorm (рис. 1.3): перекачування чистих або агресивних рідин; які не руйнують матеріали насоса хімічно та механічно; системи водопостачання; контури охолодження; устаткування плавальних басейнів; встановлення пожежогасіння; зрошувальні установки; системи водовідведення; установки для опалення; системи кондиціонування; дощувальні установки;

Насос KSB Etanorm (рис. 1.4) за конструкцією є одноступінчастим зі спіральним корпусом та горизонтальною установкою.

Вал насоса є базовою деталлю ротора, яку при роботі насоса діє навантаження. Максимальний діаметр його зазвичай вибирають у місці посадки робочих коліс, далі до обох кінців ступінчасто зменшують для встановлення втулок та інших деталей ротора.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

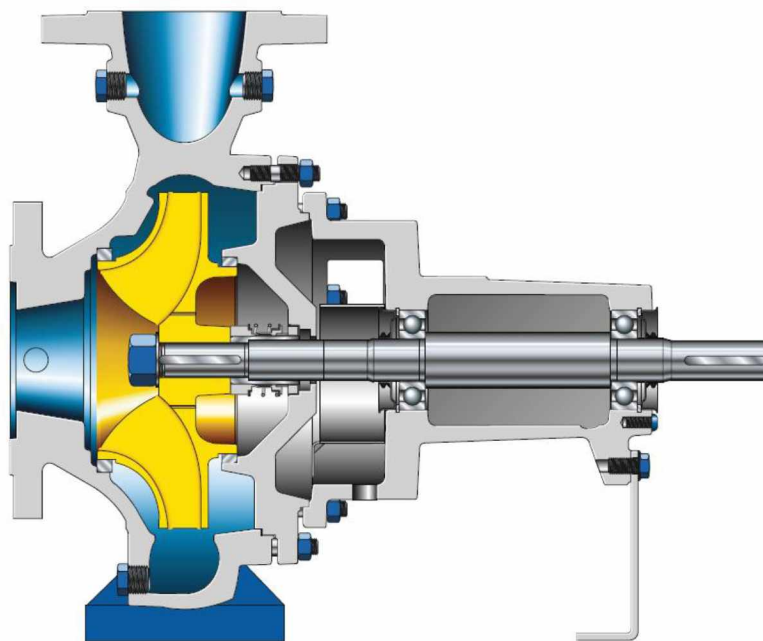
[illegible]

Рисунок 1.4 – Складові частини насосу KSB Etanorm

					КНУ.КБР.131.25.4-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання

Деталь «Вал насосу» має різьбові поверхні. Проведемо розрахунок параметрів точності різьбового з'єднання.

Параметр різьби – М52х2-8h

М – метрична різьба;

52 – номінальний діаметр різьби, мм;

2 – Р, крок різьби, мм;

8h – поле допуску для середнього діаметру;

8h – поле допуску для зовнішнього діаметру.

1.3.1 Визначаємо номінальні значення діаметрів різьби

Зовнішній – $d = 52$ мм.

Внутрішній – не нормується.

Середній – $d_2 = d - 2 + 0,701 = 52 - 2 + 0,701 = 50,701$ мм.

1.3.2 Визначення граничних відхилень діаметрів

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

Для d_2 – поле допуску 8h;

для d – поле допуску 8h.

Ø52 – 8h; $es = 0$;

$ei = -280$ мкм.

Ø50,701 – 8h; $es_2 = 0$;

$ei_2 = -224$ мкм.

1.3.3 Визначаємо граничні розміри та величини допусків

$d_{2\max} = d_2 + es_2 = 50,701 + 0 = 50,701$;

$d_{2\min} = d_2 + ei_2 = 50,701 + (-0,224) = 50,477$;

$d_{\max} = d + es = 52 + 0 = 52$;

$d_{\min} = d + ei = 52 + (-0,280) = 51,720$.

$Td = d_{\max} - d_{\min} = 52 - 51,720 = 0,280$;

$Td = es - ei = 0 - (-280) = 280$ мкм;

$Td_2 = d_{2\max} - d_{2\min} = 50,701 - 50,477 = 0,224$;

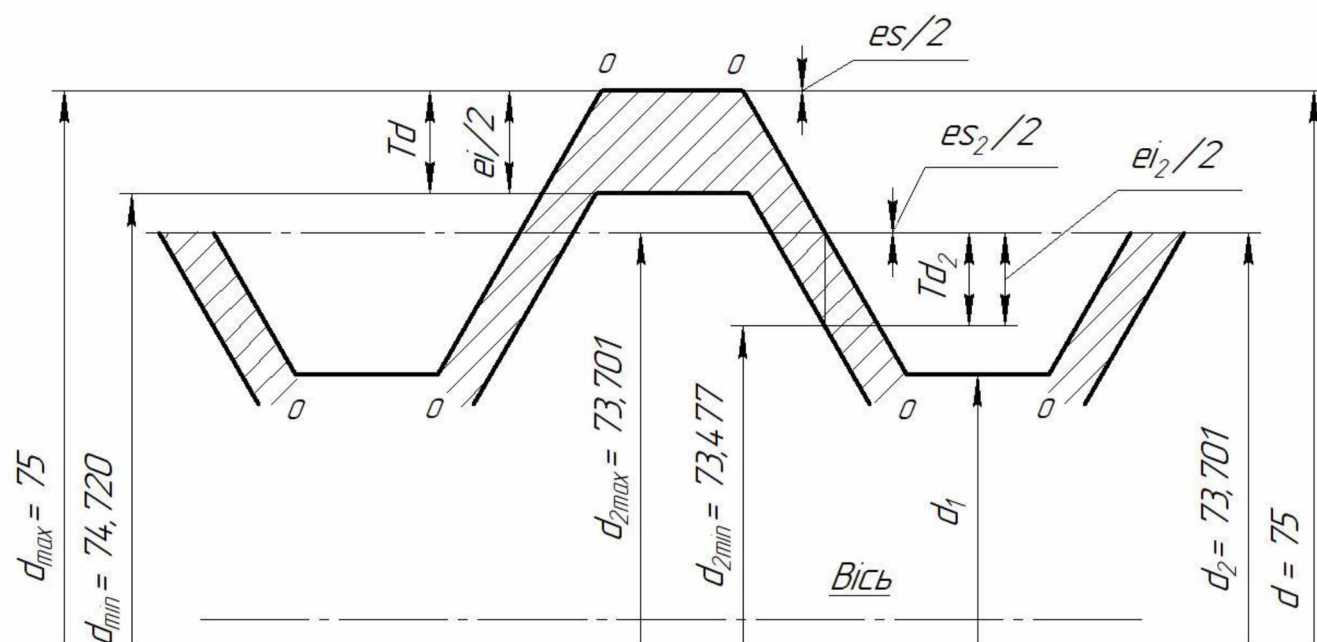
$Td_2 = es_2 - ei_2 = 0 - (-224) = 224$ мкм.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунку параметрів різьби

Позначення різьби	Елементи різьби	Розміри (мм)			Допуск, мм
		номінальний	найбільший	найменший	
М52х2-8h	d_1	не нормується			
	d_2	50,701	50,701	50,477	0,224
	d	52	52	51,720	0,280

Схема полів допусків різьбової поверхні деталі «Вал насосу» представлена на рис. 1.5.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунку 1.5 – Схема полів допусків різьби валу насосу

					КНУ.КБР.131.25.4-03.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Вал насоса повинен мати достатню міцність та жорсткість, при яких гарантується відсутність неприпустимих деформацій, що порушують стійку роботу ротора. Під дією власної ваги та ваги насаджених деталей вал має певний статичний прогин. При обертанні валу навіть при ретельному балансуванні завжди має місце залишковий небаланс, що викликає додаткове навантаження на вал від дії відцентрової сили.

Уступ для упору робочих коліс має бути виконаний строго перпендикулярно до осі насоса. Осі шпонкових пазів повинні лежати в площині валу, що проходить через вісь. Як заготовки для валу насоса застосовують прокат або поковку.

Для виготовлення валів насосів, що перекачують воду можна використовувати сталь 40, 45 або 40Х. В нашому випадку застосовується сталь 45.

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
Хром (Cr)	до 0.25
Нікель (Ni)	до 0.25
Купрум (Cu)	до 0.25
Фосфор (P), не більше	0.035
Сірка (S), не більше	0.04

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сталі 45

Сортамент	Розмір, мм	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ_5 , %	Ψ , %	Термообробка
Кург	1345x105	275	530	15	32	Загартовування, відпуск

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

З урахуванням вимог до точності та якості поверхні здійснюється раціональний вибір технологічних методів обробки, що у комплексі забезпечують необхідний рівень якості згідно з кресленням. Послідовність обробки представлена в табл. 2.3.

					<i>КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Христенко			<i>Технологічна підготовка виробництва деталі</i>		
Перевір.		Нечаєв					
Реценз.							
Н. контр.		Нечаєв					
Зав. каф.		Рязанцев					
						Літ.	Арк.
						Арк.зміщ	
						<i>Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск</i>	

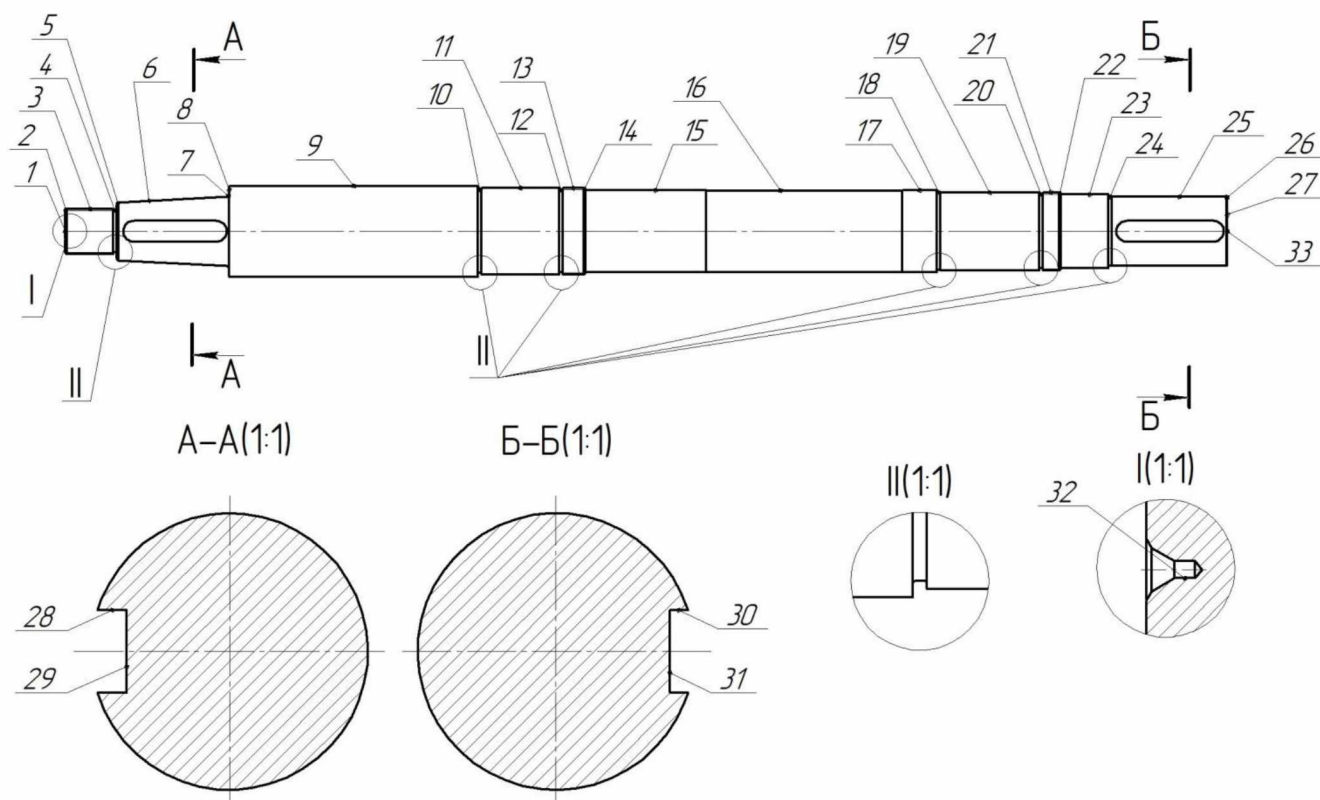


Рисунок 2.1 – Нумерація поверхонь деталі «Вал насосу»

Таблиця 2.3 – Технологічні методи з обробки поверхонь деталі

№	Розмір, мм	Технологічні методи обробки	Ra	IT	Примітки
1	2	3	4	5	6
1	1345	Підрізання торця чорнове	12,5	14	
2	Ø52	Знімання фаски чорнове	12,5	14	2x45
3	60	Точіння поверхні чорнове, нарізання різьби M52x2	12,5	14	
4	Ø48	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
5	Ø67	Знімання фаски чорнове	12,5	14	2x45
6	130, 1:10	Точіння поверхні під кутом чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 0,8	14 10 5	
7	R4	Точіння округлення чорнове	12,5	14	
8	Ø105	Підрізання торця чорнове	12,5	14	
9	288	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 0,8	14 10 5	
10	Ø95,5	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
11	94	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 0,8	14 10 5	

КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД

Арк.

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
12	Ø95	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
13	30	Точіння поверхні чорнове, нарізання різьби М100х2	12,5	14	
14	Ø95	Знімання фаски чорнове	12,5	14	2х45
15	140	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 1,6	14 10 6	
16	227	Точіння поверхні чорнове	12,5	14	
17	40	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 1,6	14 10 6	
18	Ø89,5	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
19	118	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 0,8	14 10 5	
20	Ø85	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
21	25	Точіння поверхні чорнове, нарізання різьби М90х2	12,5	14	
22	Ø85	Знімання фаски чорнове	12,5	14	2х45
23	55	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 1,6	14 10 6	
24	Ø79,5	Точіння канавки чорнове	12,5	14	
25	130	Точіння поверхні чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 0,8	14 10 5	
26	Ø80	Знімання фаски чорнове	12,5	14	1х45
27	Ø80	Підрізання торця чорнове	12,5	14	
28	24	Фрезерування шпонкового пазу чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 3,2	14 10 7	
29	120	Фрезерування шпонкового пазу чорнове напівчистове	12,5 6,3	14 10	
30	120	Фрезерування шпонкового пазу чорнове напівчистове чистове	12,5 6,3 3,2	14 10 7	
32	14	Свердління центрального отвору	12,5	14	

					КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.3

1	2	3	4	5	6
31	24	Фрезерування шпонкового пазу чорнове напівчистове	12,5 6,3	14 10	
31	24	Фрезерування шпонкового пазу чорнове напівчистове	12,5 6,3	14 10	
33	14	Свердління центрального отвору	12,5	14	

2.3 Технічний контроль робочого креслення

На кресленні деталі зображений головний вид валу (в масштабі 1:4) з розрізами (А-А, Б-Б) та виносними видами (В, Г). Проставлені всі потрібні розміри, шорсткість та допуски на відхилення, які необхідні для виготовлення деталі.

Конструкція деталі характеризується технологічною доцільністю, однак її виготовлення вимагає застосування високоточних верстатів. Найбільша точність необхідна при обробці шийок, що слугують місцем установа підшипників.

Деталь дозволяє застосовувати високопродуктивні режими обробки, має зручні базові поверхні для виконання початкових технологічних операцій, а також вирізняється простою геометрією та раціональною конструктивною формою.

Зовнішні поверхні можуть використовуватись як установчі й опорні бази під час механічної обробки, а також слугувати базами при складанні.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Визначимо технологічний процес виготовлення деталі «Вал насосу». Послідовність операцій буде наступна:

005 – токарна чорнова

010 – токарна чистова

015 – фрезерна

З урахуванням кількості та характеру раніше визначених технологічних методів обробки поверхонь, обираємо відповідні типи металорізального обладнання та ріжучого інструменту. Відповідну інформацію наведено в таблиці 2.4.

Обробку поверхонь планується здійснювати на токарному верстаті з числовим програмним керуванням моделі CHALLENGER 117HT (рис. 2.2). Виконавчі органи верстату представлено на рисунку 2.3.

Фрезерні операції виконуються на обробному центрі з ЧПК BUFFALO Micromill Challenger VMC 1300 (рис. 2.4).

					КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.2 – Горизонтально – токарний верстат з ЧПК моделі CHALLENGER 117HT

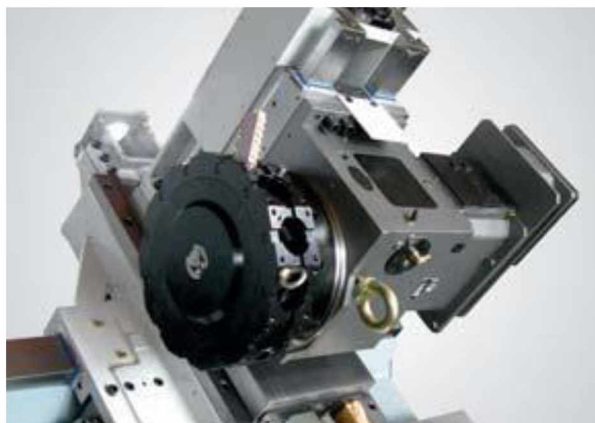


Рисунок 2.3 – Револьверна головка верстат з ЧПК моделі CHALLENGER 117HT

Технічні характеристики верстата з ЧПК моделі CHALLENGER 117HT

Максимальний діаметр обробки над станиною – 900 мм

Максимальний діаметр обробки над супортом – 700 мм

Максимальний діаметр точіння – 700 мм (стандарт) / 610 мм (TBMAVDI50) / 505 мм (TBMAVDI60)

Максимальна довжина точіння – 1300 мм / 2050 мм / 2800 мм / 3800 мм

Кут нахилу станини - 45°

Максимальний діаметр прутка – 117,5 мм

Переміщення по вісі X – 385 (350+35) мм

Переміщення по вісі Y – 100 (±50) мм

Переміщення по вісі Z – 1500 мм / 2250 мм / 3000 мм / 4000 мм

Частота обертів шпинделя – 1500 об/хв.

Конус шпинделя – A2-11

Діаметр отвору в шпинделі – 155 мм

Тип приводу – 2х швидкісна передача

Діаметр гідравлічного патрона – 450 мм

Тип револьверної головки – гідравлічна

Кількість позицій револьверної головки – 12 шт

					КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Діаметр розточувальної оправки – 60 мм

Хвостовик інструменту – VDI 50 / BMT 75 / VDI 60 / BMT 85(без вісі Y)

Перетин державки – 32 мм

Потужність приводу – 3,7 кВт

Максимальна швидкість – 4000 об/хв.

Точність позиціонування – 0,01/300

Конус пінолі – 5 МТ

Діаметр пінолі – 150 мм

Переміщення пінолі – 150 мм

Переміщення задньої бабки – 1300 мм / 2050 мм / 2800 мм / 3800 мм

Додаткові дані:

Маса верстата без транспортера для видалення стружки – 12000 кг / 14880 кг / 10000 кг / 18000 кг

Довжина з/без транспортера для видалення стружки – 5070 мм / 5650 мм / 6500 мм / 7385 мм / 8500 мм

Ширина x висота – 2350 x 2300 мм

Енергоспоживання – 50 кВт



Рисунок 2.2 – BUFFALO Micromill Challenger VMC 1300 з системою керування Fagor

Технічні характеристики верстата BUFFALO Micromill Challenger VMC 1300

Блок керування Fagor 8055i/PLUS MC

Тримач шпинделя BT40

Швидкість обертання шпинделя 10.000 об/хв

Розмір столу 1500 x 660 мм

Шляхи переміщення: X: 1300 мм / Y: 710 мм / Z: 710 мм

Вага приблизно 8100 кг

Обладнання збільшена потужність приводу 15/18 кВт

Конвеєр для стружки з візком для стружки, висота викиду 1250 мм
система промивання стружки "wash down"

					КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докцм.	Підпис	Дата		

32-слотовий пристрій зміни інструменту
 Масляне охолодження шпинделя НВО-250
 Внутрішнє охолодження насосом високого тиску 20 бар

Таблиця 2.4 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№ пов.	Найменування операції	Тип верстату
1	2	3
1	Чорнове підрізання торця	CHALLENGER 117HT
2	Чорнове знімання фаски	CHALLENGER 117HT
3	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	CHALLENGER 117HT
4	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
5	Чорнове знімання фаски	CHALLENGER 117HT
6	Чорнове точіння поверхні під кутом Напівчистове точіння поверхні конусом Чистове точіння поверхні конусом	CHALLENGER 117HT
7	Чорнове точіння округлення	CHALLENGER 117HT
8	Чорнове підрізання торця	CHALLENGER 117HT
9	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
10	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
11	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
12	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
13	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	CHALLENGER 117HT
14	Чорнове знімання фаски	CHALLENGER 117HT
15	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
16	Чорнове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
17	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
18	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
19	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
20	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
21	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	CHALLENGER 117HT

					КНУ.КБР.131.25.4-03.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.4

1	2	3
	Чорнове знімання фаски	CHALLENGER 117HT
23	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
24	Чорнове точіння канавки	CHALLENGER 117HT
25	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	CHALLENGER 117HT
26	Чорнове знімання фаски	CHALLENGER 117HT
27	Чорнове підрізання торця	CHALLENGER 117HT
28	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу Чистове фрезерування шпонкового пазу	BUFFALO VMC-1300
29	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу	BUFFALO VMC-1300
30	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу Чистове фрезерування шпонкового пазу	BUFFALO VMC-1300
31	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу	BUFFALO VMC-1300
32	Чорнове свердління центрального отвору	CHALLENGER 117HT
33	Чорнове свердління центрального отвору	CHALLENGER 117HT

3 ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

Враховуючи кількість та особливості раніше визначених технологічних методів обробки поверхонь, здійснюється вибір сучасних типів інструментів, які пропонуються як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками. Для кожної поверхні деталі обґрунтовується вибір відповідного типу інструменту та надається його ескіз. Відповідна інформація зведена в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№ пов.	Найменування операції	Тип інструмента
1	2	3
1	Чорнове підрізання торця	Прохідний різець для контурної обробки
2	Чорнове знімання фаски	Прохідний різець для контурної обробки
3	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	Прохідний різець для контурної обробки Різьбовий різець
4	Чорнове точіння канавки	Канавковий різець
5	Чорнове знімання фаски	Прохідний різець для контурної обробки
6	Чорнове точіння поверхні конусом Напівчистове точіння поверхні конусом Чистове точіння поверхні конусом	Прохідний різець для контурної обробки
7	Чорнове точіння округлення	Прохідний різець для контурної обробки
8	Чорнове підрізання торця	Прохідний різець для контурної обробки
9	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
10	Чорнове точіння канавки	Канавковий різець
11	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
12	Чорнове точіння канавки	Фасонний різець

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Христенко			Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами			Літ.	Арк.	Архівів
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Заб. каф.		Рязанцев								
					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск					

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
11	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
12	Чорнове точіння канавки	Фасонний різець
13	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	Фасонний різець Різьбовий різець
14	Чорнове знімання фаски	Фасонний різець
15	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
16	Чорнове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
17	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
18	Чорнове знімання фаски	Прохідний різець для контурної обробки
19	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
20	Чорнове точіння канавки	Канавковий різець
21	Чорнове точіння поверхні Нарізання різьби	Прохідний різець для контурної обробки Різьбовий різець
22	Чорнове знімання фаски	Прохідний різець для контурної обробки
23	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
24	Чорнове точіння канавки	Канавковий різець
25	Чорнове точіння поверхні Напівчистове точіння поверхні Чистове точіння поверхні	Прохідний різець для контурної обробки
26	Чорнове знімання фаски	Прохідний різець для контурної обробки
27	Чорнове підрізання торця	Прохідний різець для контурної обробки
28	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу Чистове фрезерування шпонкового пазу	Кінцева фреза
29	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу	Кінцева фреза
32	Свердління центрального отвору	Свердло центральне

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
30	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу Чистове фрезерування шпонкового пазу	Кінцева фреза
31	Чорнове фрезерування шпонкового пазу Напівчистове фрезерування шпонкового пазу	Кінцева фреза
33	Свердління центрального отвору	Свердло центральне

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Враховуючи фізико-механічні властивості матеріалу деталі, характер обробки та типи застосованих верстатів, для обраних типів інструментів визначено матеріал різальної частини, геометричні параметри, а також матеріал державки інструменту. При цьому враховано продукцію як вітчизняних, так і зарубіжних виробників. Відповідна інформація наведена в таблиці 3.2.

Позиції: 1,2,3,5,6,7,8,9,11,15,16,17,19,21,22,23,25,26,27.

Чорнове: підрізання торця, точіння поверхні, точіння під кутом, знімання фаски, точіння округлення.

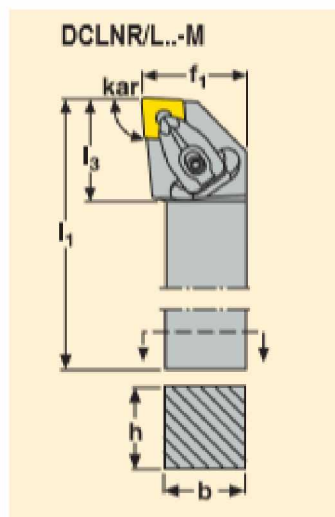


Рисунок 3.1 – Державка DCLNR 3232P12-M [1.с. 185]

Геометричні параметри: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$.

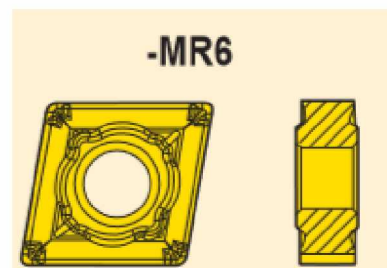
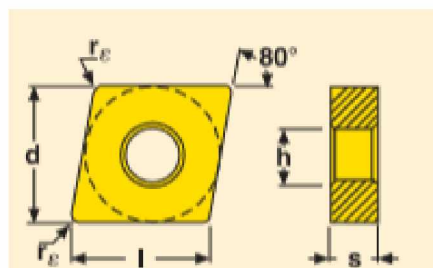


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG 120416-MR6 [1.с. 353], покриття: TP1501

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри: $d=12.7\text{мм}$; $s=4.76\text{мм}$; $r=0.4\text{-}1.6\text{мм}$.
Напівчистове: точіння поверхні.

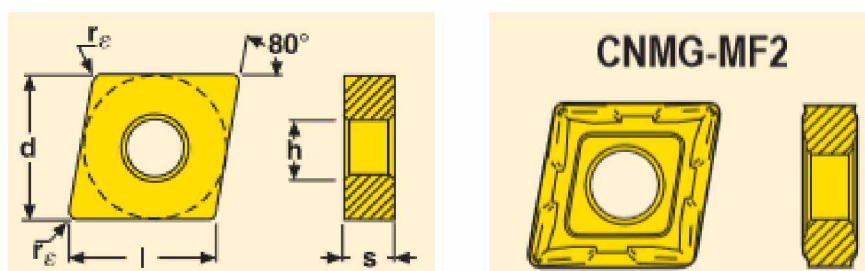


Рисунок 3.3 – Пластина CNMG 120412W-MF2 [1.с. 350], покриття: TP0501

Геометричні параметри: $d=12.7\text{мм}$; $s=4.76\text{мм}$; $r=0.4\text{-}1.6\text{мм}$.
Чистове: точіння поверхні, точіння під кутом.

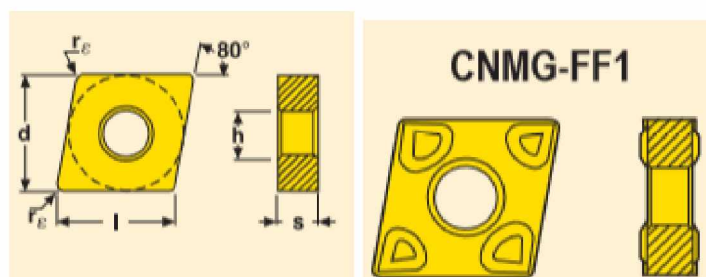


Рисунок 3.4 – Пластина CNMG 120404-FF1 [1.с. 349], покриття: TP2501

Геометричні параметри: $d=12.7\text{мм}$; $s=4.76\text{мм}$; $r=0.2\text{-}1.6\text{мм}$.
Позиції: 4,10,18,20,24
Чорнове: точіння канавок

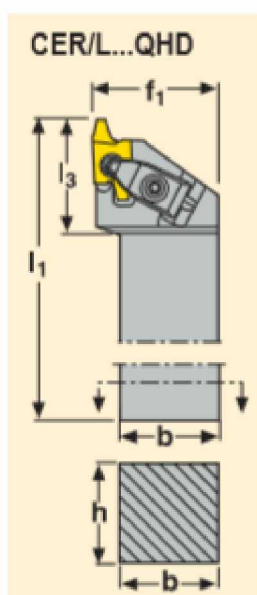


Рисунок 3.5 – Державка CEL 3232P20QHD [1.с. 619]

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Геометричні параметри: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=34\text{мм}$.

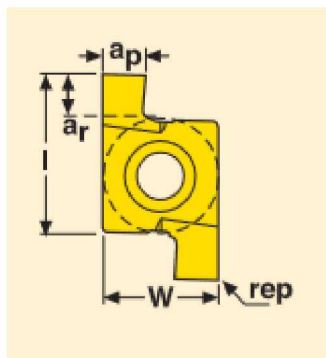


Рисунок 3.6 – Пластина 20ER 4.0FG [1.с. 624], покриття: CP500

Геометричні параметри: $W=12.7\text{мм}$; $I=20\text{мм}$; $r=0\text{мм}$; $a_p=4\text{мм}$; $a_r=4\text{мм}$.

Позиції: 3,13,21.

Чорнове: нарізання різьби.

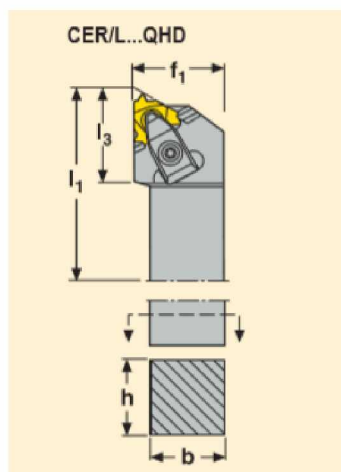


Рисунок 3.7 – Державка CEL 3232P16QHD [2.с. 37]

Геометричні параметри: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$.

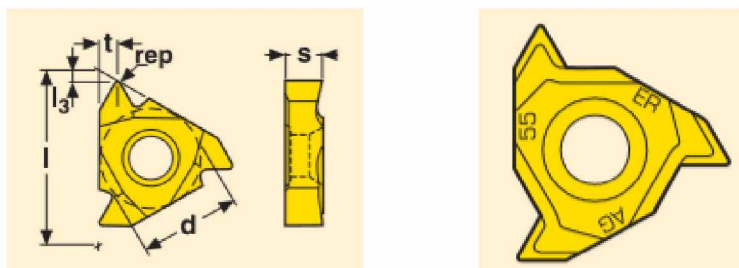


Рисунок 3.8 – Пластина 16ER AG55 [2.с. 54]; покриття: TM400

Геометричні параметри: $d=9,525\text{мм}$; $l=16.5\text{мм}$; $s=3.47\text{мм}$; крок: 0,50-3,00мм.

Позиції: 28,29,30,31.

Напівчистове, чистове: фрезерування.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

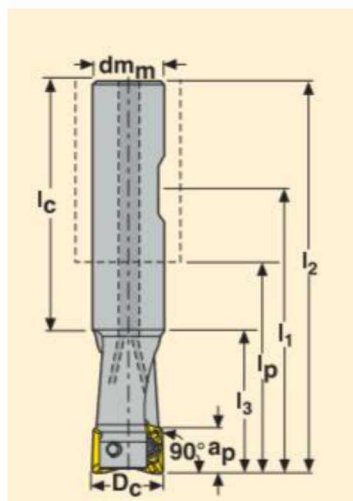


Рисунок 3.9 – Фреза R217.69-2020.3-10-2A [3.с.26]

Геометричні параметри: $a_p=9\text{мм}$; $D_c=20\text{мм}$; $d_{mm}=20\text{мм}$; $l_1=65\text{мм}$ $l_2=90\text{мм}$; $l_3=29\text{мм}$; $l_p=40\text{мм}$; $l_c=61\text{мм}$;

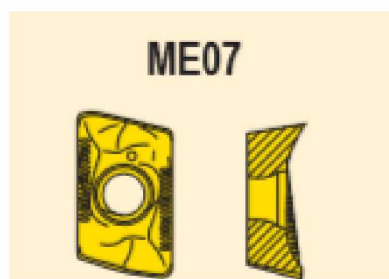
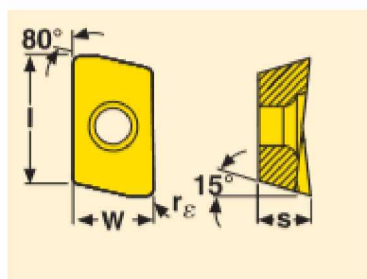


Рисунок 3.10 – Пластина ХОМХ 10Т304TR-ME07 [3.с. 622], покриття: F40M

Геометричні параметри: $W=6.87\text{мм}$; $l=9.5\text{мм}$; $s=3.8\text{мм}$.

Таблиця 3.2 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ пов.	Тип інструменту	Матеріал різальної частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструменту	Геометричні параметри різальної частини інструменту
1	2	3	4	5
1,2,3,5,6,7,8, 9,11,15,16, 17,19,21,22, 23,25,26,27	Прохідний різець для контурної обробки	Чорнова TP1501	DCLNR 3232P12-M	$\varphi=95^\circ$; $\varepsilon=80^\circ$; $\alpha=0$; $\gamma=-6^\circ$; $\lambda=-12^\circ$
6,9,11,15,16, 17,19, 23,25	Прохідний різець для контурної обробки	Напівчисто ва TP0501	DCLNR 3232P12-M	$\varphi=95^\circ$; $\varepsilon=80^\circ$; $\alpha=0$; $\gamma=-6^\circ$; $\lambda=-12^\circ$

Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
------	------	----------	--------	------	-----------------------------	------

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5
6,9,11,15, 16,17,19,23, 25	Прохідний різець для контурної обробки	Чистова TP2501	DCLNR 3232P12- M	$\varphi=95^\circ$; $\varepsilon=80^\circ$; $\alpha=0$; $\gamma=-6^\circ$; $\lambda=-12^\circ$
12,13,14	Фасонний різець		$h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$	$\alpha=15$; $\gamma=20^\circ$
3,13,21	Різьбонарізний різець	Чорнова TM400	CEL3232P16QHD	$\varphi=95^\circ$; $\varepsilon=80^\circ$; $\alpha=0$; $\gamma=-6^\circ$; $\lambda=-12^\circ$
4,10,18,20,2 4	Канавковий різець	Чорнова CP500	CEL3232P20QHD	$\varphi=95^\circ$; $\varepsilon=80^\circ$; $\alpha=0$; $\gamma=-6^\circ$; $\lambda=-12^\circ$
28,29,30,31	Фреза кінцева	Напівчистова F40M Чистова F40M	R217.69-2020.0- 10-2A	$\varphi=95^\circ$ $\varepsilon=80^\circ$ $\alpha=15^\circ$

3.3 Вибір типорозміру різальних інструментів

Враховуючи вид обробки, тип інструмента, характеристики ріжучої частини та габаритні розміри, визначені на основі міцнісних розрахунків, обираються типорозміри металорізальних інструментів, доступні як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва. Нижче наведено ескіз обраного ріжучого інструмента відповідно до конфігурації оброблюваної поверхні. Відповідні дані подано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір типорозміру різальних інструментів

№ пов.	Тип інструмент у	Основні розміри інструменту, пластини	Матеріал ріжучої частини інструменту	Шифр інструменту (державки, пластини) за міжнародними стандартами
1	2	3	4	5
1,2,3,5,6,7,8,9, 11,15,16,17,19, 21,22,23,25,26, 27	Прохідний різець для контурної обробки	Державки: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$; $\gamma_o^\circ=-6$; $\gamma_s^\circ=-6$ Пластини: Чорнова $d=12,7\text{мм}$; $l=12,9\text{мм}$; $s=4,76\text{мм}$; $h=5,15\text{мм}$; $r_{\varepsilon}=\text{rep}=0.4-1.6\text{мм}$	Чорнова TP1501	Державка: DCLNR 3232P12-M Пластина: Чорнова CNMG 120416-MR6

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5
6,9,11,15,16,17,19,23,25	Прохідний різець для контурної обробки	Державки: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$; $\gamma_o^\circ=-6$; $\gamma_s^\circ=-6$ Пластини: Напівчистова $d=12,7\text{мм}$; $l=12,9\text{мм}$; $s=4,76\text{мм}$; $h=5,15\text{мм}$; $r_{\text{г}}=r_{\text{ер}}=0.4-1.6\text{мм}$	Напівчистова TP0501	Державка: DCLNR 3232P12-M Пластина: Напівчистова CNMG 120412W-MF2
6,9,11,15,16,17,19,23,25	Прохідний різець для контурної обробки	Державки: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$; $\gamma_o^\circ=-6$; $\gamma_s^\circ=-6$ Пластини: Чистова $d=12,7\text{мм}$; $l=12,9\text{мм}$; $s=4,76\text{мм}$; $h=5,15\text{мм}$; $r_{\text{г}}=r_{\text{ер}}=0.2-1.6\text{мм}$	Чистова TP2501	Державка: DCLNR 3232P12-M Пластини: Чистова CNMG 120404-FF1
12,13,14	Фасонний різець	$h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$;		Державка для круглих фасонних різців
3,13,21	Різьбонарізний різець	Державки: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$ Пластини: Чорнова $d=9,5\text{мм}$; $l=16,5\text{мм}$; $s=3,47\text{мм}$	Чорнова CP500	Державка: CEL3232P16QHD Пластини: Чорнова 16ER AG55
4,10,18,20,24	Канавковий різець	Державки: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=34\text{мм}$ Пластини: Чорнова $W=12,7\text{мм}$; $I=20\text{мм}$	Чорнова CP500	Державка: CEL3232P20QHD Пластини: Чорнова 20ER 4.0FG
28,29,30,31	Фреза кінцева	Державки: $a_p=9\text{мм}$; $D_c=20\text{мм}$; $dm_m=20\text{мм}$; $l_2=150\text{мм}$; $l_3=35\text{мм}$; $l_p=100\text{мм}$; $l_c=115\text{мм}$ Пластини: Напівчистова, чистова $r_{\text{г}}=0.4\text{мм}$; $B=1.3\text{мм}$	Напівчистова F40M Чистова F40M	Державка: R217.69-2020.0-10-2A Пластини: Напівчистова, чистова XOMX 10T304TR-ME07

3.4 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з обраних типів інструменту розглядаються найбільш навантажені умови експлуатації, зокрема чорнова обробка. На основі умов різання – фізико-механічних властивостей матеріалу заготовки, параметрів верстата та заданих режимів обробки – виконуються розрахунки сил різання. Рекомендується передбачити автоматизований розрахунок режимів різання для підвищення точності та ефективності процесу. Обраний інструмент додатково перевіряється на міцність з урахуванням найбільш навантажених умов роботи.

Для виконання розрахунків вибирається прохідний різець типу DCLNR 3232P12-M, оскільки він забезпечує знімання найбільшого припуску та експлуатується в умовах максимальної механічної дії. Розміри різця: $h=32\text{мм}$; $b=32\text{мм}$; $l_1=170\text{мм}$; $f_1=40\text{мм}$; $l_3=32\text{мм}$.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ доцм.	Підпис	Дата		

Точение | Токарная обработка ISO

P	Низколегированная сталь отожженная (HB 175, Rm 591 N/mm ²)
Диаметр заготовки	116.00 Dc mm
Скорость резания	281 Vc m/min
Частота вращения, об./мин	770 n RPM
Глубина резания	2.00 ap mm
Главный угол в плане	90 k °
Подана на оборот	0.10 fn mm/rev
Минутная подача	77 vf mm/min
Длина обработки	1345 lm mm
Передний угол	-6 γ °
КПД станка	90 η %
Критерий износа	10 %
Сила резания	791.22 Fc N
Удельный съём материала	55.17 cm ³ /min
Время обработки	17 Минут 28.05 Секунд
Момент	45.14 Mc Nm
Мощность	3.64 Pmot KW

Рисунок 3.11 – Розрахунок режимів різання для чорнової обробки

1. Визначаємо силу різання: визначена розрахунком режимів різання

$$P_z = 791,22 \text{ Н}$$

2. Ширина і висота перетину державки h=32 мм, b=32 мм.

3. Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця:

$$P_{z\text{доп}} = \frac{bh^2\sigma_{\text{и.д.}}}{6l} = \frac{32 \times 32^2 \times 300}{6 \times 170} = 9637,6 \text{ Н}$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця:

$$P_{z\text{жорст}} = \frac{3fEJ}{l^3} = \frac{3 \times 0.1 \times 10^{-3} \times 2 \times 10^{11} \times 1.34 \times 10^{-8}}{(170 \times 10^{-3})^3} = 804 \text{ Н}$$

де f=0.1 – допустима стріла прогину при чорновому точінні;

E=2 × 10¹¹ Па – модуль пружності матеріалу державки;

J – момент інерції прямокутного перетину державки:

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{32 \times 32^3}{12} = 82,6 \text{ мм}^4$$

Перевірка різця на міцність і жорсткість:

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

$$9637,6 > 791,22 < 804$$

Умова виконана. Різець володіє достатньою міцністю і жорсткістю.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

3.5 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

З урахуванням геометричних та технічних характеристик посадочних поверхонь верстата для встановлення різального інструменту, а також параметрів посадочних місць самих інструментів, здійснюється підбір відповідних типів допоміжного інструменту згідно з вимогами міжнародних стандартів. Вибрані типи допоміжного інструменту для кожного різального інструменту наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Вибір типу допоміжного інструменту

№ пов.	Металорі- зальний верстат	Тип ріжучого інструменту	Параметри посадочного місця ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент за міжнародними стандартами
1	2	4	5	6
1,2,3,5,6,7,8, 9,11,15,16, 17,19,21,22, 23,25,26, 27	Challenger 117HT	Прохідний різець для контурної обробки	b=32; h=32	C6-ASHA-50071- 32M
12,13, 14	Challenger 117HT	Фасонний різець		Державка для круглих фасонних різців
3,13,21	Challenger 117HT	Різьбонарізний різець	b=32; h=32	C6-ASHA-50071- 32M
4,10,12, 18,20, 24	Challenger 117HT	Канавковий різець	b=32; h=32	C6-ASHA-50071- 32M
28,29, 30,31	BUFFALO VMC-1300	Фреза кінцева	dmm=20	HSK- A63E93045842080

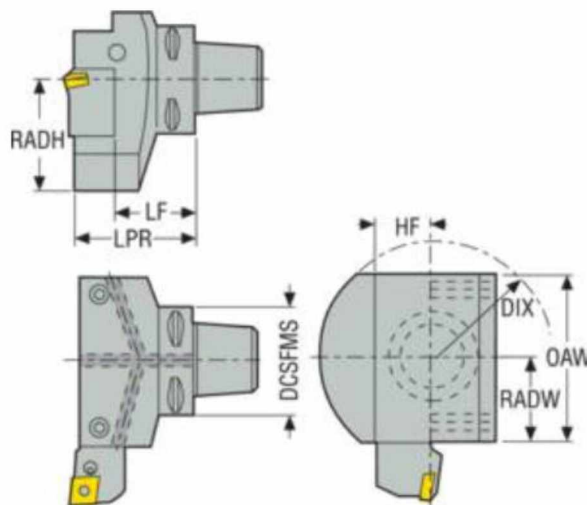


Рисунок 3.12 – Допоміжний інструмент C6-ASHA-50071-32M [1.с. 674]

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

DCSFMS=63mm; DIX=130mm; HF=32mm; LF=45mm; LPR=71mm;
OAW=100mm; RADH=65mm; RADW=50mm;

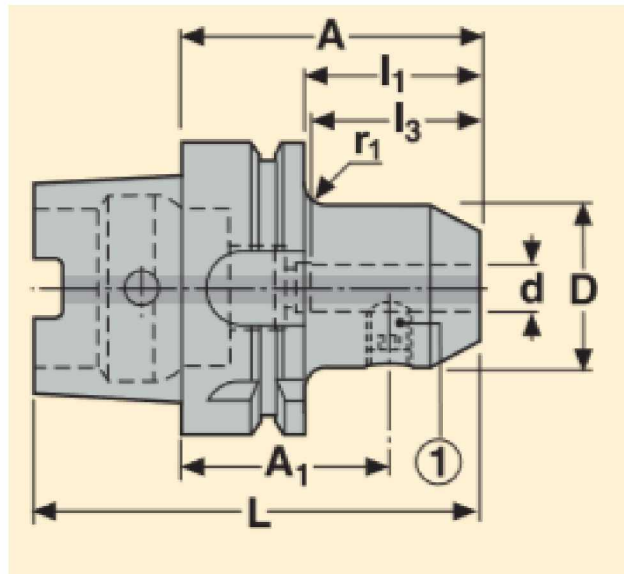


Рисунок 3.13 – Допоміжний інструмент HSK-A63E93045842080 [4.с. 58]

Геометричні параметри: A=80mm; D=52mm; L=112mm; L₁=54mm; L₃=49mm;
A₁=55mm.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

На основі аналізу методів обробки поверхонь та вибраних типів ріжучих інструментів виконуємо розрахунок спеціального ріжучого інструменту – дискового фасонного різця.

Вихідні дані:

Матеріал заготовки – Сталь 45;

Твердість – 170 НВ;

Стан поверхні – після механічної обробки;

Діаметр до обробки - 100;

Діаметр після обробки – 95;

Шорсткість поверхні – Ra 12,5;

Ширина точіння – 30 мм;

Верстат – CHALLENGER 117НТ, потужність приводу – 3,7 кВт, максимальна частота обертів шпинделя – 1500 об/хв;

Тип виробництва – масове.

Порядок розрахунку:

4.1.1 Визначаю габаритні розміри різця в залежності від найбільшої глибини профілю деталі, яка виготовляється за [5, табл.45, с. 134].

Так як оброблювана поверхня - $\varnothing 100$ мм, а максимальна глибина профілю точіння - 5мм, приймаємо наступні габаритні розміри для різця:

$D=50\text{мм}$, $d(H8)=13\text{мм}$, $d_1=20$, $b_{\max}=30\text{мм}$, $K=10\text{мм}$, $r=1\text{мм}$, $D_1=28\text{мм}$, $d_2=5\text{мм}$, $L_p=36,5\text{мм}$, $l_1=18,25\text{мм}$, $l_2=16,25\text{мм}$.

4.1.2 Визначаю геометричні елементи леза різця відповідно до матеріалу заготовки за [5, табл.47, стр. 136].

Приймаю передній кут $\gamma = 20^\circ$, та задній кут $\alpha = 15^\circ$.

4.1.3 Визначаю розміри ріжучих кромки різця за даними [5, с. 136-137].

$a=5\text{мм}$ - ширина додаткової кромки для зміцнення,

$c=1,5\text{мм}$ - ширина кінцевої ріжучої кромки (при обробці фаски приймають значення рівним ширині фаски з перекриттям 1-1,5мм),

$\varphi_1=45^\circ$ - кут кінцевої ріжучої кромки (для знімання фасок $\varphi_1 = \varphi_{\text{фас}}$).

					КНУ.КБР.131.25.4-03.04.ПІАРІ					
Змн.	Арк.	№ докum.	Підпис	Дата	Проектування та інженерний аналіз різального інструменту			Літ.	Арк.	Аркшів
Розроб.		Христенко								
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.										
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев						Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск		

4.1.4 Виконую розрахунок профілю різця графічним способом.

4.1.4.1 Будує профіль заготовки, для чого проводжу вісь, від якої відкладаю відповідні розміри профілю заготовки і будує у лівому нижньому куті креслення повний профіль.

4.1.4.2 Проектує отримані точки 1, 2, 3, 4, 5, 6 профілю на вісь 00 і отримую точки 1', 2', 3', 4', 5', 6'.

4.1.4.3 З центру 0 проводжу окружності відповідних радіусів $r=50$, $r=47,5$, у результаті чого отримую проекцію заготовки на площину, перпендикулярну до вісі заготовки.

4.1.4.4 Визначаю зовнішній діаметр різця. З центра заготовки 0 проводжу дві окружності радіусами, один з яких рівний найбільшому, а інший найменшому радіусу заготовки. Через точку 1' під кутом γ до вісі 00 проводжу лінію (слід) передньої поверхні різця. Таким самим чином з точки 1' проводжу лінію під кутом α .

На відстані K від точки 1' проводжу лінію VB_1 , перпендикулярно до лінії 00. Відстань K - мінімальна відстань, необхідна для відведення стружки від передньої поверхні різця, обирають на 3-10 мм більшу максимальної глибини профілю заготовки $t_{\max}$ за [2, табл. 46, с.150]. З точки B , у якій лінія VB_1 перетинається з передньою поверхнею, проводжу лінію, що ділить кут ω навпіл ($\omega=110^\circ$). Точка перетину цієї лінії та лінії, що йде під кутом $\alpha=15^\circ$, буде шуканою точкою O_2 - центр дискового різця, що дозволяє визначити його діаметр.

4.1.4.5 Будує профіль фасонного різця у радіальному перетині: проводжу лінію MM ; відкладаю від неї осьові розміри 2, 26, 30, які відповідають осьовим розмірам заготовки, що обробляється; проектує точки перетинів окружностей радіусів $R=23$, $R=25$, з лінією O_2O_3 , яка проходить через центр різця, на лінію, паралельну лінії MM , отримую профіль фасонного різця у радіальному перетині (точки 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'').

4.1.4.6 Виконую робоче креслення різця.

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

У сучасному машинобудуванні важливою складовою проектування інструментів є забезпечення їхньої надійності, довговічності та ефективності при експлуатації. Одним із поширених інструментів для обробки складних профілів є дисковий фасонний різець, який використовується для високоточних операцій на металорізальних верстатах. Враховуючи складну геометрію та навантаження, що діють під час роботи різця, виникає необхідність у попередньому розрахунку напружено-деформованого стану інструменту з метою оптимізації його конструкції.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

У цьому дослідженні було проведено комп'ютерне моделювання дискового фасонного різця із застосуванням модуля SolidWorks Simulation, що дозволяє виконувати статичний аналіз конструктивних елементів з урахуванням зовнішніх навантажень, граничних умов та фізико-механічних властивостей матеріалу. Аналіз дозволяє визначити критичні ділянки, оцінити рівень напружень, переміщень і деформацій, а також перевірити конструкцію на міцність. Отримані результати є основою для подальшого вдосконалення форми інструмента та підвищення його експлуатаційних характеристик.

4.2.1 Загальні відомості

Тип аналізу: Статичний

Матеріал: 1.2842 (90MnCrV8) – T5K6

Модуль Юнга: $2,1 \times 10^{11}$ Н/м²

Гранична міцність: $1,93 \times 10^9$ Н/м²

Границя плинності: $1,75 \times 10^9$ Н/м²

Максимальне навантаження: 2600 Н (нормальна сила на грань)

Кріплення: Фіксація однієї грані

До створеної 3D моделі прикладаємо сили та фіксуємо її, як в процесі роботи (рис. 4.1) та створюємо сітку кінцевих елементів для подальших розрахунків.

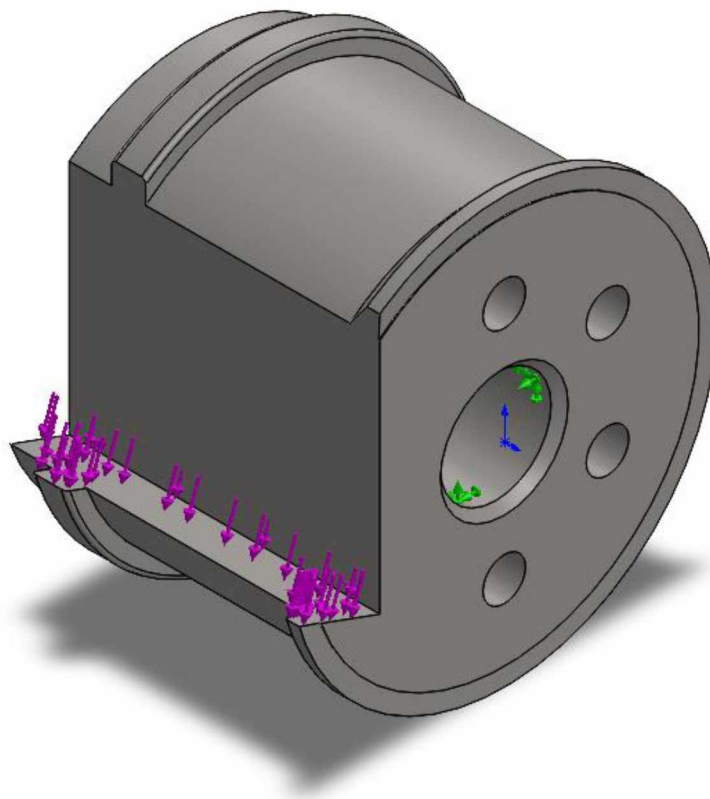


Рисунок 4.1 – 3D модель для розрахунку дискового фасонного різця

					КНУ.КБР.131.25.4-03.04.ПІАРІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

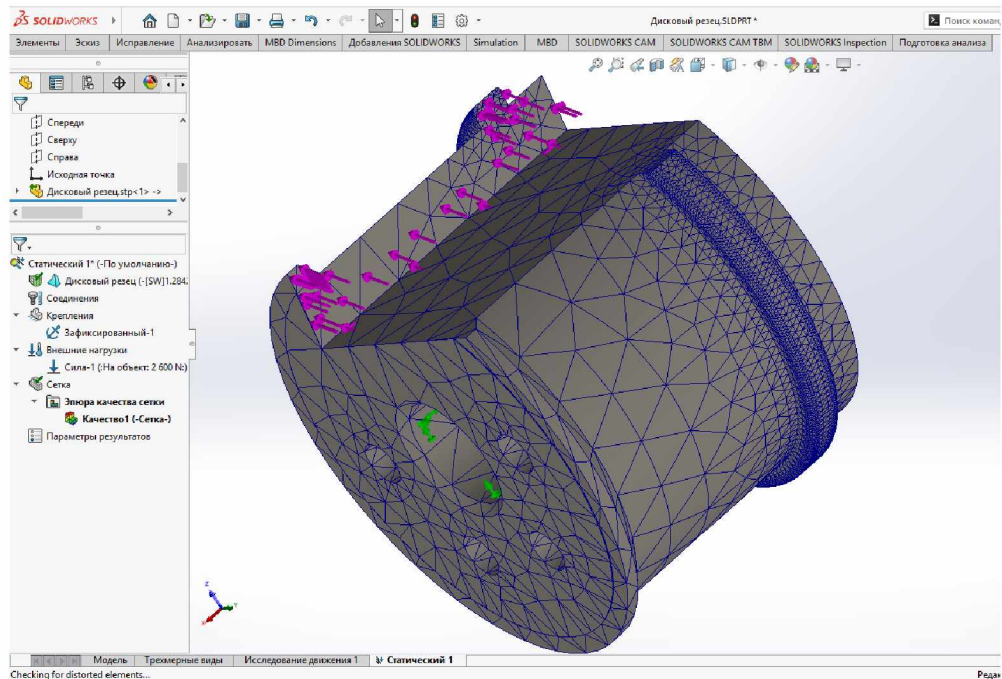


Рисунок 4.2 – Кінцеві елементів (сітка) дискового фасонного різця

4.2.2 Результати аналізу

4.2.2.1 Епюра напружень (Von Mises)

Мінімальне значення: $1,797 \times 10^4 \text{ Н/м}^2$

Максимальне значення: $7,426 \times 10^7 \text{ Н/м}^2$

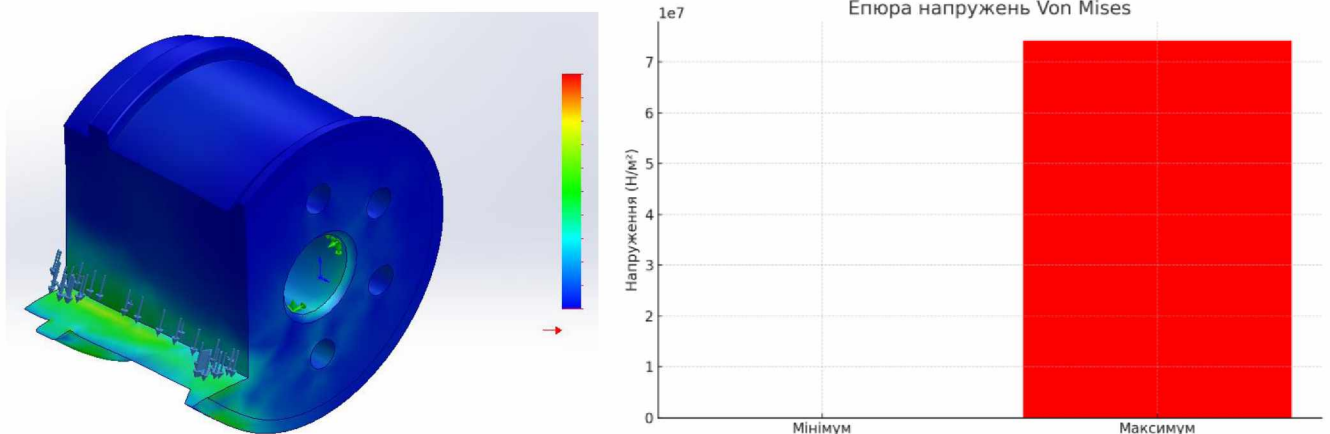


Рисунок 4.3 – Епюра напружень (Von Mises) дискового фасонного різця

Максимальні напруження значно нижчі за границю плинності ($1,75 \times 10^9 \text{ Н/м}^2$), що свідчить про надійність конструкції при заданому навантаженні (рис. 4.3). Конструкція не входить у пластичну область.

4.2.2.2 Епюра переміщень (Resultant Displacement)

Мінімальне значення: 0,000 мм

Максимальне значення: 0,0116 мм

					КНУ.КБР.131.25.4-03.04.ПІАПІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

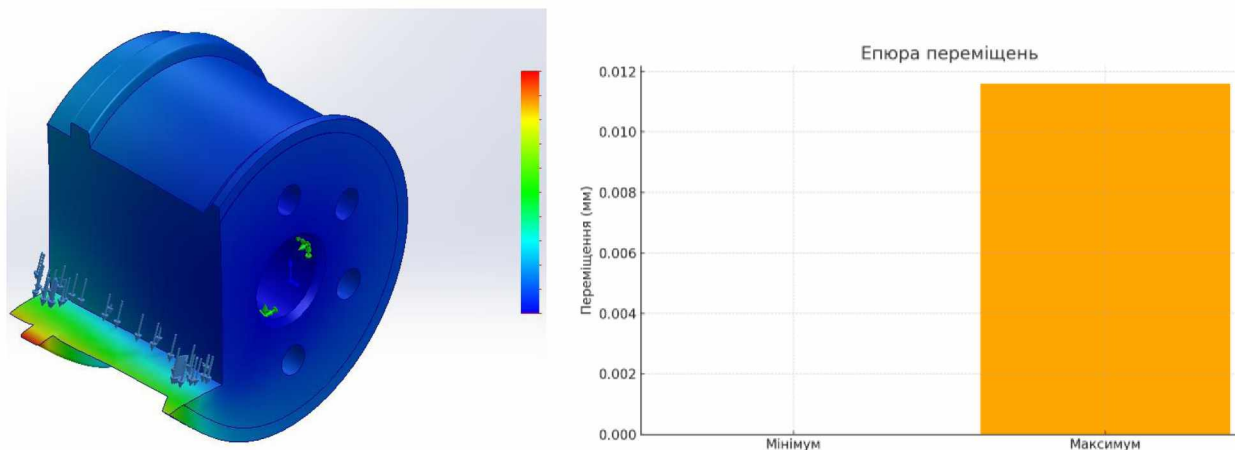


Рисунок 4.4 – Епюра «Переміщення» дискового фасонного різця

Переміщення незначні (рис. 4.4). Даний рівень деформації допустимий для точного інструменту, не впливає на геометрію або працездатність.

4.2.2.3 Епюра деформацій (Equivalent Strain)

Мінімальне значення: $1,76 \times 10^{-7}$

Максимальне значення: $1,955 \times 10^{-4}$

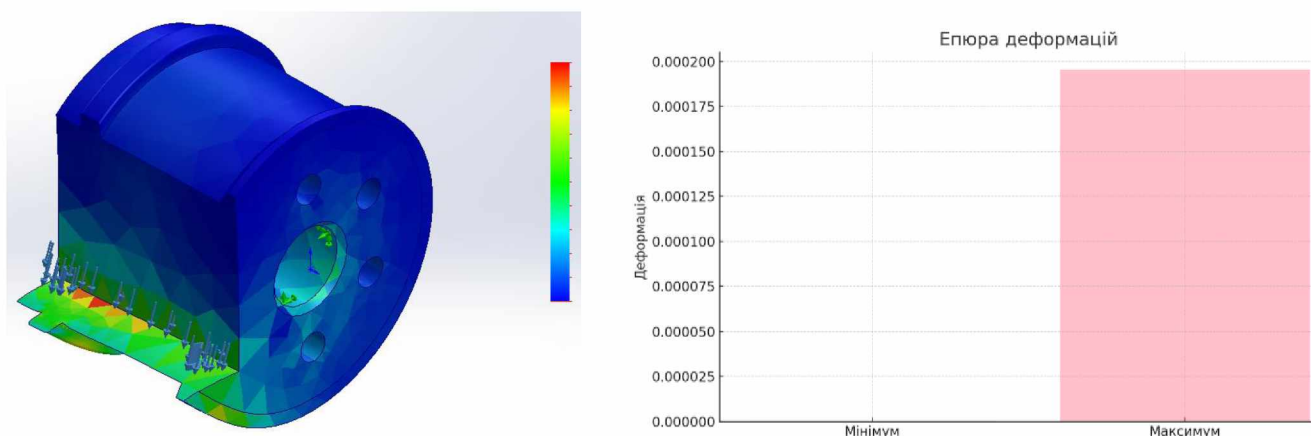


Рисунок 4.5 – Епюра «Деформація» у додатку Simulation дискового фасонного різця

Значення деформацій свідчить про еластичну поведінку матеріалу (рис. 4.5). Межа залишкових деформацій не досягнута.

Висновок.

На основі проведеного статичного аналізу можна зробити висновок, що конструкція дискового різця при прикладеному навантаженні в 2600 Н працює в межах пружного режиму. Напруження, деформації та переміщення не перевищують допустимі межі для матеріалу 1.2842. З конструкційної точки зору, різець є механічно надійним і не потребує посилення чи зміни геометрії.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.04.ПІАПІ	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 розробляється керуюча програма та виконується моделювання технологічного процесу з використанням програмного забезпечення Autodesk FeatureCAM. Обробка здійснюється на горизонтальному токарному верстаті з числовим програмним керуванням CHALLENGER 117HT. Детальні технічні характеристики верстата наведені у розділі 2.

Управління верстатом забезпечується системою ЧПК Fanuc Oi-TD, яка підтримує широкий спектр функцій, необхідних для високоточної та ефективної обробки деталей.

Особливості Fanuc Oi-TD

Висока стабільність та надійність – побудована на перевірених архітектурі FANUC, що гарантує безвідмовну роботу у промислових умовах.

Зручне програмування: підтримка діалогового програмування (Manual Guide i); підтримка змінних, умов, циклів (IF, WHILE, GOTO), підпрограм.

Графічне відображення траєкторії інструмента, 3D-перегляд. Меню з підказками, вбудоване довідкове забезпечення.

Цикли обробки: стандартні цикли (G71-G76), цикли різьблення, цикли нарізання канавок; вбудовані цикли обробки з можливістю налаштування користувачем.

Автоматичне виявлення помилок, журнал подій. Онлайн-моніторинг параметрів (температура, навантаження сервоприводів тощо).

Оптимізоване керування приводами, функція автоматичного зниження споживання енергії в режимі очікування.

Підтримка імпорту програм з САМ-систем (через G-коди або постпроцесори).

Переваги Fanuc Oi-TD

- надійна японська якість FANUC.
- велика підтримка на рівні документації та сервісу.
- масове поширення у промисловості → легкий пошук фахівців.
- простота інтеграції з промисловою автоматикою.

5.2 Моделювання обробки та перевірка керуючих програм

Для розроблення керуючої програми обробки деталі типу «Вал насосу» було виконано моделювання технологічного процесу в середовищі автоматизованого програмування FeatureCAM. З урахуванням технічних

					КНУ.КБР.131.25.4-03.05.МПОМО					
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата						
Розроб.		Христенко			Моделювання та програмування операцій механічної обробки			Літ.	Арк.	Архивів
Перевір.		Нечаєв								
Реценз.								Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск		
Н. контр.		Нечаєв								
Зав. каф.		Рязанцев								

параметрів горизонтального токарного верстата з ЧПК моделі CHALLENGER 117НТ, а також характеристик металорізального інструменту, наведених у розділі 3, була сформована послідовність обробки та здійснено перевірку технологічних рішень на предмет їхньої коректності.

На рисунках 5.1-5.6 представлено етапи симуляції обробки деталі «Вал насоса» та результати моделювання, що підтверджують правильність розробленої технологічної маршрутизації.

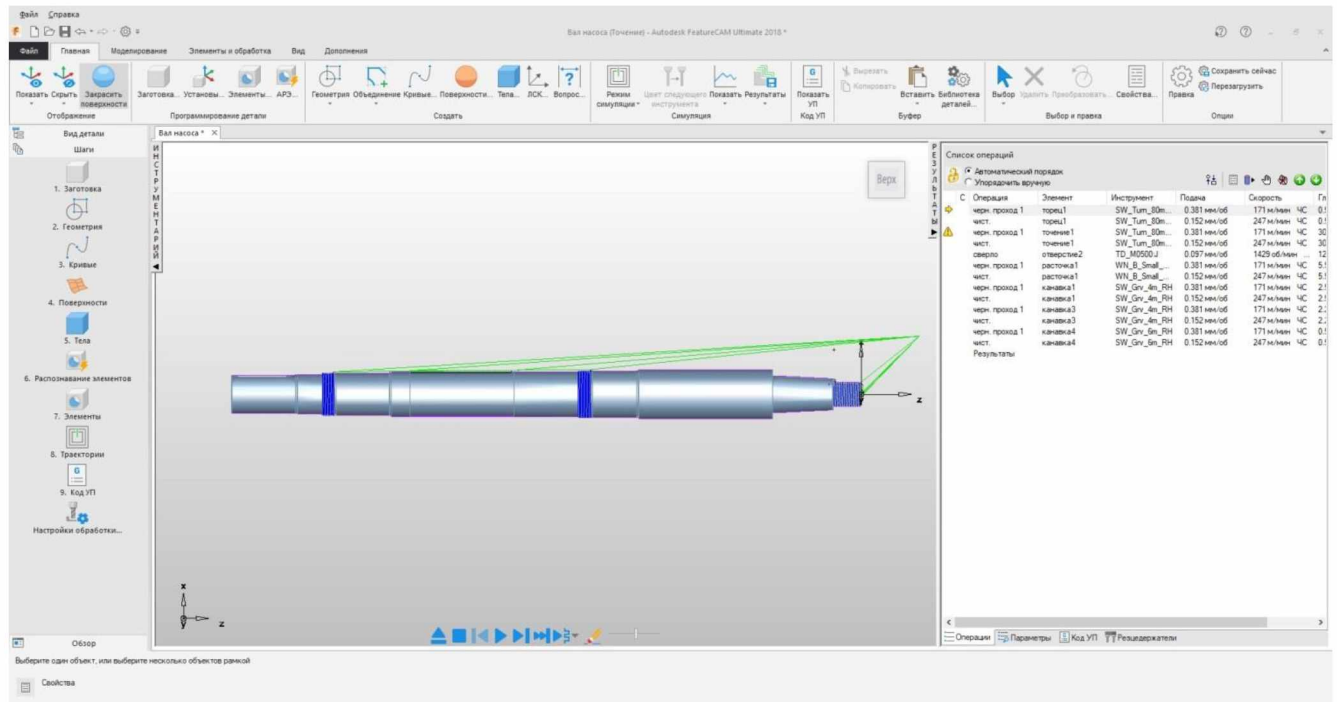


Рисунок 5.1 – Деталь «Вал насоса» та траєкторія руху інструменту

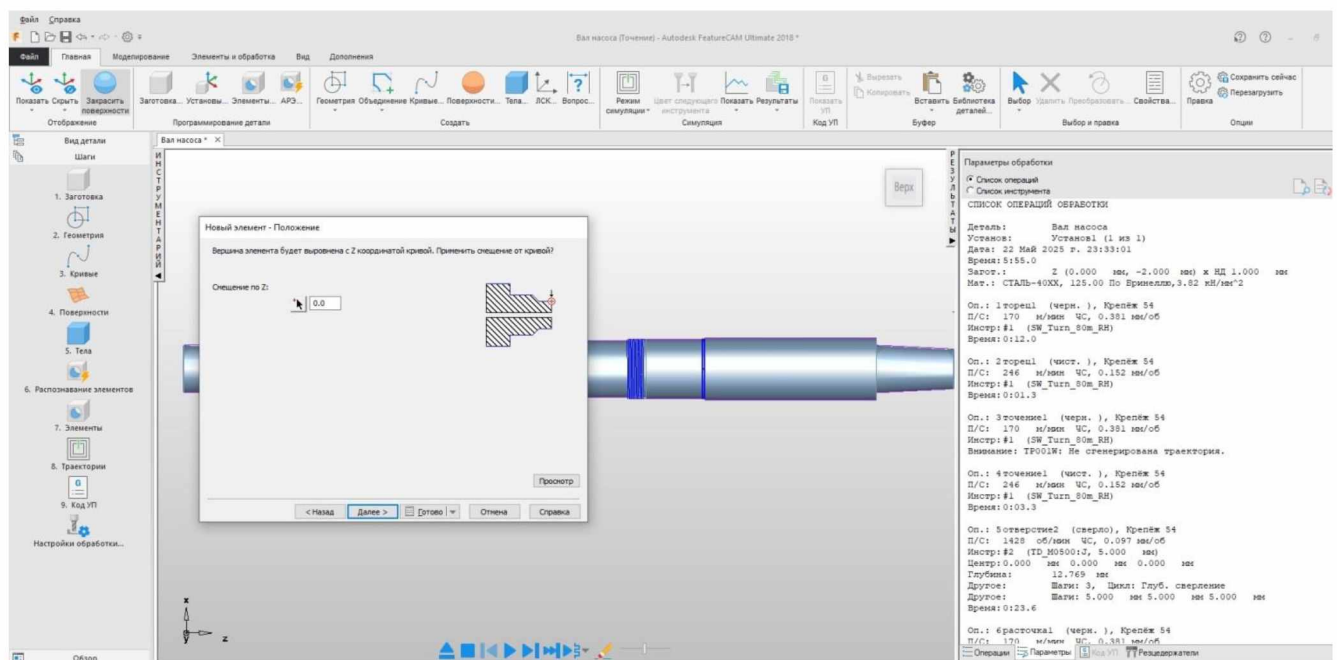


Рисунок 5.2 – Розпізнавання елементів деталі «Вал насоса»

					КНУ.КБР.131.25.4-03.05.МПОМО		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

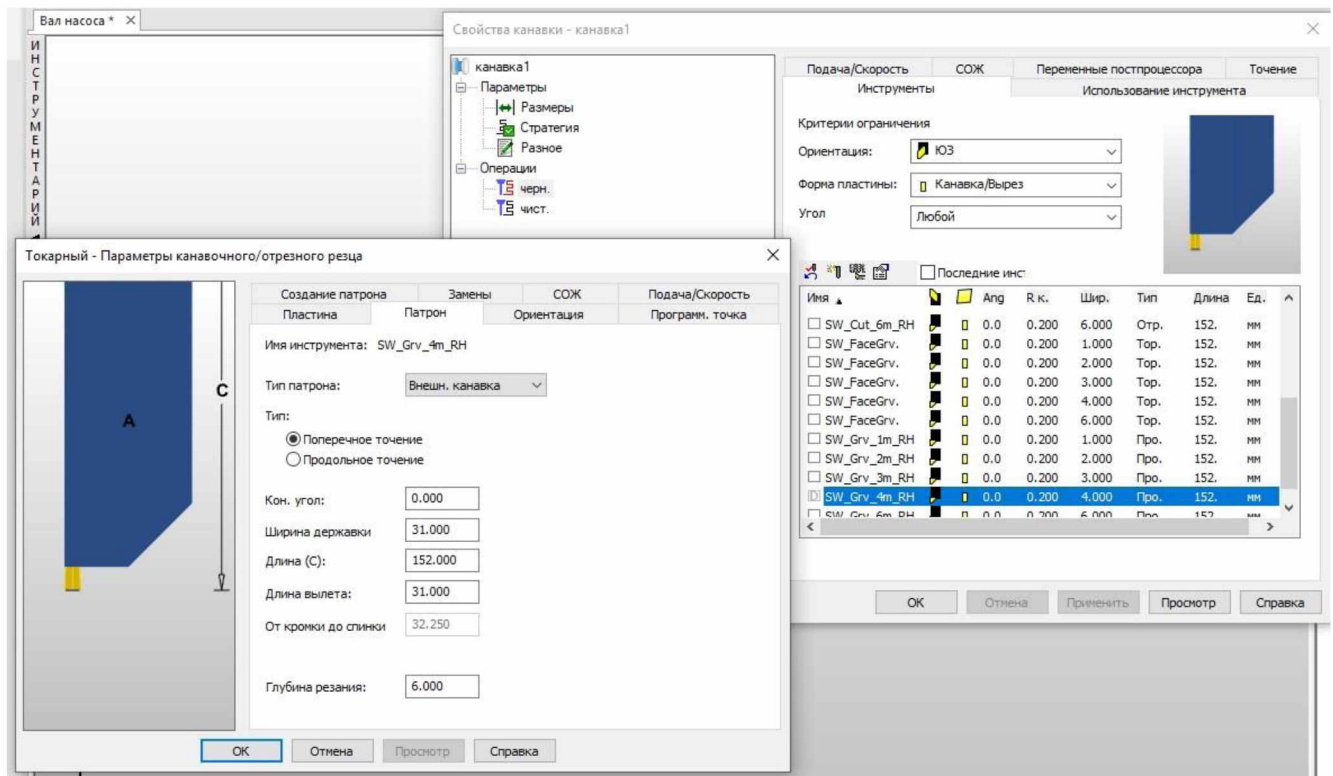


Рисунок 5.3 – Вибір металорізального інструменту – канавочний різець

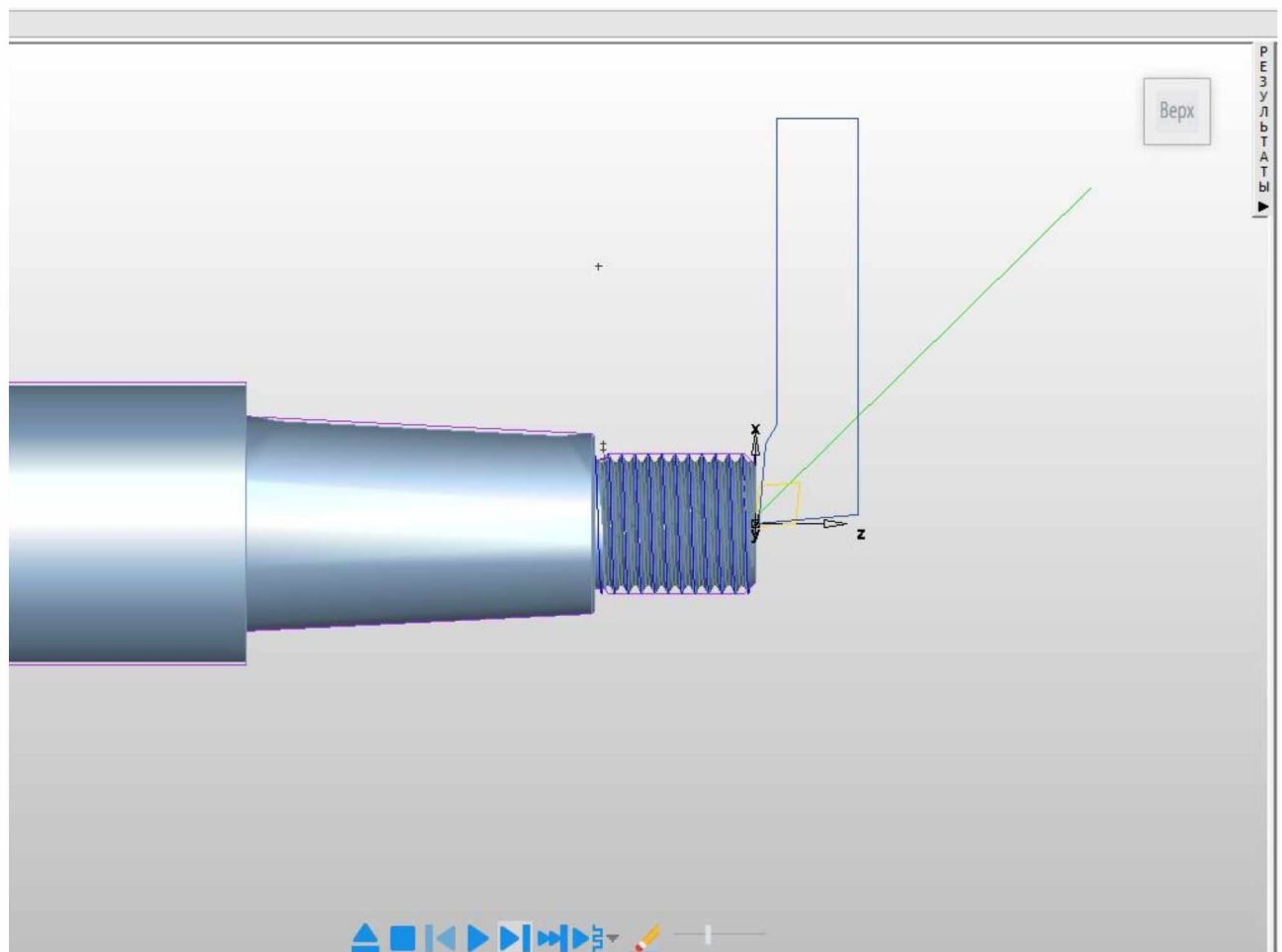


Рисунок 5.4 – Моделювання обробки деталі «Вал насосу» – підрізання торцю

					КНУ.КБР.131.25.4-03.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

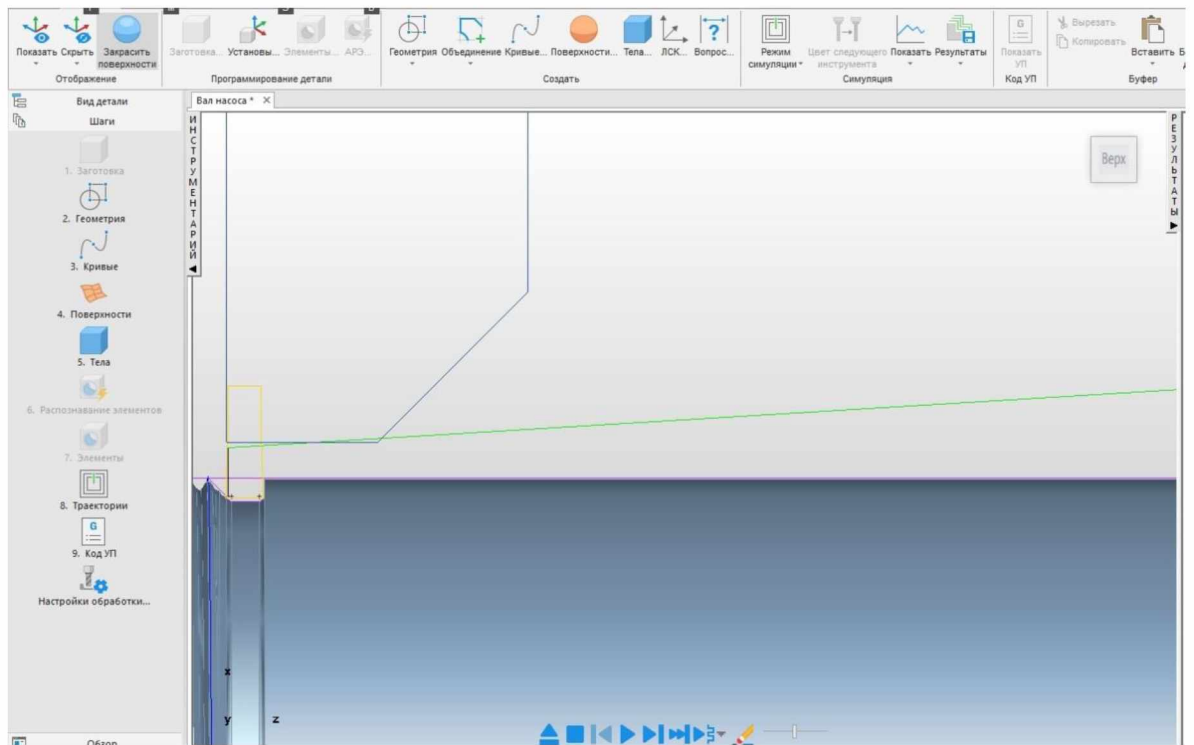


Рисунок 5.5 – Моделирование обработки детали «Вал насоса» – точиния канавки

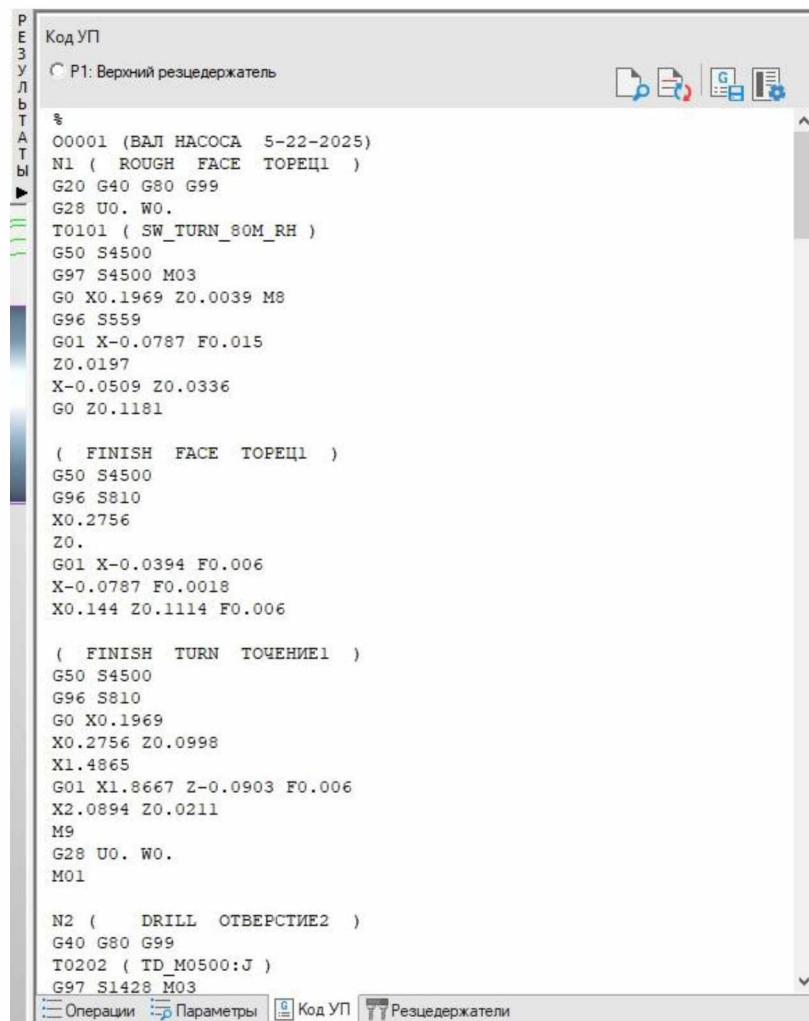


Рисунок 5.6 – Фрагмент КП отриманої у Feature CAM

					КНУ.КБР.131.25.4-03.05.МПМО	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Здійснено економічний аналіз та розраховано собівартість виготовлення деталі «Вал насосу» за двома різними методами обробки. Проаналізовано економічну доцільність модернізації технологічного процесу шляхом заміни морально застарілих верстатів 16К30, 1А64 та 2М55, що застосовуються для виконання токарних і шліфувальних операцій, на сучасний горизонтально-токарний верстат з числовим програмним керуванням CHALLENGER 117HT. Підсумки аналізу та розрахунок строку окупності обраного варіанту наведено в таблицях 6.1-6.4.

В таблиці 6.1 внесені вихідні дані для розрахунку.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані розрахунку

Дані	Базовий варіант			Новий варіант
	16К30	1А64	2М55	CHALLENGER 117HT
Деталь				
Річний обсяг випуску деталей N, шт.	1500			1500
Кількість запусків партій деталей в рік, шт.	20			20
Тривалість випуску деталей Z, рік	3			3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	24	37	12	46
Час наладки верстата, хв.	16	16	8	20
Розряд:				
	контролера			5
	верстатника			4
	наладчика			3
наладчика інструменту		4		4
Кількість кадрів програми, шт.				250
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	4514			4514
Вартість комплекту спец. пристосувань $K_{пр}$, грн	50000	50000	31000	70000

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ		
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата			
Розроб.	Христенко				Організаційно- економічна підготовка виробництва	Літ.	Арк.
Перевір.	Нечаєв						Арк.
Реценз.							
Н. контр.	Нечаєв					Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск	
Зав. каф.	Рязанцев						

Продовження таблиці 6.1

Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	0,5	1,5	1	1
Середній період стійкості інструменту, хв.	45	45	45	120
Середня кількість граней пластинки, шт.	1	1	1	3
Коефіцієнт, що враховує питому вагу основного часу в штучному k_T	0,083	0,083	0,083	0,083
Вартість одного кадру ПК, грн.				8,9
Вартість розробки ПК $K_{ПК}$, грн.				2492
Середньочасова зарплатня робітника, грн:				
верстатника $H_{ст}$	120	130	120	160
наладчика $H_{нал}$	130	135	125	150
наладчика інструмента $H_{ін}$	110	120	115	150
контролера H_k	115			145
Верстати				
Клас точності верстата	Н	Н	Н	А
Маса верстата, т	6,875	11,4	4,7	3,5
Габарити верстата (довжина x ширина), м.	5,545 x 2,01	5,825 x 2	2,665 x 1	2,66x 2,2
Габарити пристрою ЧПК, м				0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК				Fanuc Oi-TD
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{рц}$, років	7	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	17	10	10	22,4
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:				
	механічної частини R_m	18,6	27,7	15,6
	електротехнічної частини R_e	13,4	14	9,2
Кількість верстатів, що обслуговує один	1	1	1	2
Оптова ціна верстата C , грн.	275000	290000	145000	2350000

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 6.1

Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,7	0,75	0,75	0,95
Площа верстата за габаритами А, м. кв.	11,2	11,7	2,7	5,9
Площа пристрою ЧПК А _у , м. кв.				0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.				
механічної частини Н _м	401	401	401	272
електротехнічної частини Н _е	86	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q, грн.	0	0	0	1950
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	2,5	2,5	1,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1	1
Ефективний річний фонд часу роботи верстата Ф _{об} , год	4055	3975	3975	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	180	200

Таблиця 6.2 містить інформацію розрахунків допоміжних показників, що використовуються в розрахунках.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 – Розрахунок допоміжних показників

Розрахунок допоміжних показників				
Дані	Базовий варіант			Новий варіант
	16K30	1A64	2M55	CHALLENGER 117HT
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	400	400	300	1400
Час наладки верстата впродовж року T_n , год	5,33333	5,333333	2,666667	6,666666667
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{н.ін}$, год	0	0,00	6,933333	20,00
Час контролю деталей впродовж року T_k , год	33,2	33,2	24,9	116,2
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розрах.)	0,22	0,22	0,16	0,38
(дійсна)	1	1	1	1
Кількість наладчиків верстатів P_n , чол. (розрахункова)	0,0029	0,0029	0,0014	0,0036
(дійсна)	1	1	1	1
Кількість наладчиків інструмента поза верстатом $P_{н.ін}$, чол. (розрахункова)	0	0,0000	0,003728	0,01075
(дійсна)	1	0	1	1
Кількість контролерів P_k , чол. (розрах.)	0,02	0,02	0,01	0,06
(дійсна)	1			1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{дод}$, чол (розрахункова)	0,00	0,00	0,00	0,19
(дійсна)	0	0	0	1
Загальна кількість працівників на річну програму випуску деталей, чол.	9			5
Частка завантаження верстата обробкою деталі в обсязі річного випуску B	0,14	0,18	0,102	0,38

Таблиця 6.3 містить інформацію розрахунків собівартості обробки річного випуску деталей та капітальні вкладення споживача. В таблиці 6.4 показані приведені витрати, річний економічний ефект та строк окупності.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	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 налагоджувальника інструмента поза верстатом; $I_{пк}$ – витрати на підготовку та поновлення керуючої програми; $I_{пр}$ – витрати на ремонт та утримання спеціальних пристосувань; $I_{усп}$ – витрати на прокат універсально-збірних I_a – амортизаційні відрахування на повне відновлення обладнання; $I_{пл}$ – витрати на утримання приміщення, яке займає верстат; $I_{сл}$ – витрати на амортизацію і утримання службово-побутових приміщень; I_r – витрати на ремонт та технічне обслуговування обладнання; I_y – витрати на технічне обслуговування і ремонт ЧПК; I_k – зарплатня контролера											
										C_1 на деталь = 241,21	
										C_2 на деталь = 198,91	
I_3	I_n	I_{in}	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k
$C_1 = 224532 + 2746,60 + 797,33 + 0,00 + 48906,7 + 0 + 5444,44 + 1733,19 + 63000 + 4161,2 + 0 + 10499,50 =$										361820,89	
$C_2 = 186157 + 1572,48 + 234,00 + 830,67 + 26133,3 + 0 + 24660,90 + 3024,00 + 35000 + 3173,6 + 733,77 + 16849,00 =$										298369,19	
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	$K_{зд}$	$K_{сл}$	$K_{нез}$	$K_{пр}$	$K_{п.у.}$						
$K_1 = 116810 + 4814 + 63000 + 442477 + 131000 + 0 =$						758101					
$K_2 = 465300 + 1922 + 28000 + 373690 + 70000 + 2492 =$						941403,47					

Таблиця 6.4 – Розраховані значення приведених витрат, річного економічного ефекту та строку окупності

Приведені витрати			
$Z_1 = C_1 + E_n \cdot K_1$			
475536	361821	0,15	758101
$Z_2 = C_2 + E_n \cdot K_2$			
439580	298369	0,15	941403

Річний економічний ефект		
$E = Z_1 - Z_2$		
35956	475536	439580

Строк окупності			
$T_{ок} = (K_2 - K_1) / (C_1 - C_2)$			
2,89	941403	758101	361821 298369,2

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Отже, заміна 3 застарілих верстатів на один сучасний верстат з ЧПК призведе до скорочення часу обробки деталі. Ці заходи з покращення технологічного процесу є економічно вигідними, оскільки строк окупності складе 2,89 роки з економічним ефектом 35956 грн.

6.2 Охорона праці та екологія виробництва. Забруднення стічних вод продуктами машинобудівного виробництва

У сучасному світі індустріалізація стала неодмінною складовою прогресу, однак її екологічні наслідки стають все відчутнішими. Машинобудівне виробництво, як одна з найважливіших галузей промисловості, відіграє ключову роль у забезпеченні транспортом, технікою та обладнанням. Водночас, саме ця галузь є одним із головних джерел техногенного забруднення навколишнього середовища, особливо водних ресурсів.

Згідно з даними Світового банку, до 25% забруднення промисловими стічними водами в Україні припадає саме на підприємства важкої промисловості, зокрема машинобудування. Складність проблеми полягає в багатокомпонентному складі стічних вод, що утворюються на різних етапах виробничого циклу. Часто ці води містять важкі метали, синтетичні сполуки, нафтохімічні залишки, а також різноманітні реактиви.

З огляду на загрозу для здоров'я людей і біосфери, проблема забруднення стічних вод потребує не лише наукового вивчення, а й практичних рішень у сфері виробничої модернізації, екологічного контролю та державного регулювання.

6.2.1 Джерела та види забруднень

У машинобудівному виробництві стічні води утворюються внаслідок таких процесів:

Механічна обробка металів – змивання мастильно-охолоджувальних рідин (МОР), що містять емульсії, масла та синтетичні добавки.

Гальванічні процеси – використання хрому, міді, нікелю, цинку, які у вигляді іонів потрапляють у воду.

Фарбування та хімічна обробка — залишки барвників, фосфатів, кислот та лугів.

Мийні операції – застосування синтетичних миючих засобів, ПАР та ін.

6.2.2 Аналітичний огляд проблеми

Дослідження Інституту гідробіології НАН України свідчать, що в зонах впливу машинобудівних підприємств у річках фіксується підвищена концентрація:

Свинцю – до 0,08 мг/л (при нормі 0,01 мг/л);

Хрому – до 0,1 мг/л (норма 0,05 мг/л);

Нафтопродуктів — до 0,3 мг/л (норма 0,05 мг/л).

Такі концентрації мають токсичний вплив на планктон, рибу, а також можуть проникати у ґрунтові води, що використовуються для пиття.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док-м.	Підпис	Дата		

6.2.3 Методи очищення

Сучасні методи очищення стічних вод на машинобудівних підприємствах поділяються на кілька етапів:

Механічне очищення – видалення грубих домішок, шламів та мастил;

Фізико-хімічне очищення – коагуляція, флокуляція, нейтралізація кислот/лугів;

Сорбція – використання активованого вугілля, цеолітів;

Мембранні технології – ультрафільтрація та зворотний осмос;

Біологічне очищення – для вод, забруднених органічними речовинами.

6.2.4 Ефективність і недоліки

Найвищу ефективність мають комбіновані методи. Наприклад, впровадження мембранних технологій дозволяє зменшити концентрацію важких металів на 95–98%, але вартість обладнання залишається високою.

Також перспективними вважаються замкнені цикли водопостачання, які дозволяють повторно використовувати до 80% технологічної води, зменшуючи навантаження на водні об'єкти.

Висновки

Проблема забруднення стічних вод у машинобудівній галузі є багатогранною та вимагає інтегрованого підходу. Основні напрями боротьби з цією загрозою включають:

- екологізацію виробництва;
- впровадження ефективних технологій очищення;
- підвищення стандартів контролю;
- стимулювання переходу на замкнуті водні цикли.

Рациональне використання ресурсів та відповідальне ставлення до природи має стати пріоритетом не лише для держави, а й для кожного підприємства.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської випускної роботи було проведено комплексне дослідження, проектування та інженерний аналіз спеціального різального інструменту для обробки поверхонь деталі «Вал насосу», що входить до складу центробіжного насоса типу KSB Etanorm. Робота охоплює всі основні етапи підготовки високоефективного технологічного процесу з використанням сучасних CAD/CAM/CAE систем.

У першому розділі виконано аналіз вихідних даних і конструктивних особливостей деталі, визначено її призначення та функціональне місце у складі насосного агрегату. Проведено розрахунок параметрів точності різбового з'єднання, що дозволяє забезпечити надійну та герметичну збірку.

У другому розділі досліджено службове призначення вала та проаналізовано вимоги до якості оброблюваних поверхонь. Розроблено технологічний процес механічної обробки з урахуванням сучасних підходів, здійснено обґрунтований вибір високопродуктивного обладнання для серійного виробництва.

У третьому розділі обґрунтовано вибір спеціальних інструментів (на прикладі інструментів фірми Seco) для обробки критичних поверхонь, виконано розрахунок на міцність конструктивних параметрів різальної частини інструменту, що дозволяє уникнути його передчасного зносу. Також здійснено вибір допоміжного оснащення відповідного типорозміру.

У четвертому розділі спроектовано спеціальний різальний інструмент – дисковий фасонний різець, який призначено для обробки складнопрофільних поверхонь. За допомогою SolidWorks Simulation виконано інженерний аналіз цього інструменту, зокрема перевірку на напруження, деформації та переміщення, що підтвердило працездатність конструкції в реальних умовах різання.

У п'ятому розділі здійснено моделювання траєкторій інструмента та програмування операцій механічної обробки деталі у середовищі Autodesk FeatureCAM, що забезпечує високу точність та повторюваність при серійному виробництві.

У шостому розділі наведено розрахунок техніко-економічних показників, які підтвердили доцільність впровадження розробленого технологічного процесу. Економічний ефект від впровадження становить 35 956 грн, а строк окупності – 2,89 роки, що є прийнятним для середньосерійного машинобудівного виробництва. Також розглянуто заходи з охорони праці та зниження екологічного навантаження, зокрема очищення стічних вод від шкідливих речовин.

Таким чином, у результаті виконання роботи було успішно розв'язано поставлену задачу: розроблено та проаналізовано конструкцію спеціального різального інструменту для ефективною та якісної обробки поверхонь деталі «Вал насосу».

					<i>КНУ.КБР.131.25.4-03.В</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ док-м.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Висновки</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Христенко</i>					
<i>Перевір.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. контр.</i>		<i>Нечаєв</i>					
<i>Зав. каф.</i>		<i>Рязанцев</i>					
					<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Архів</i>
					<i>Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

					КНУ.КБР.131.25.4-03.СВД				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Архцив	
Розроб.		Христенко							
Перевір.		Нечаєв							
Реценз.									
Н. контр.		Нечаєв							
Зав. каф.		Рязанцев				Каф. ТМ, гр. ЗПМ-22ск			

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

**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

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

Виконав здобувач гр. ЗПМ-22ск

(підпис)

Кирило ХРИСТЕНКО

Керівник КБР

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

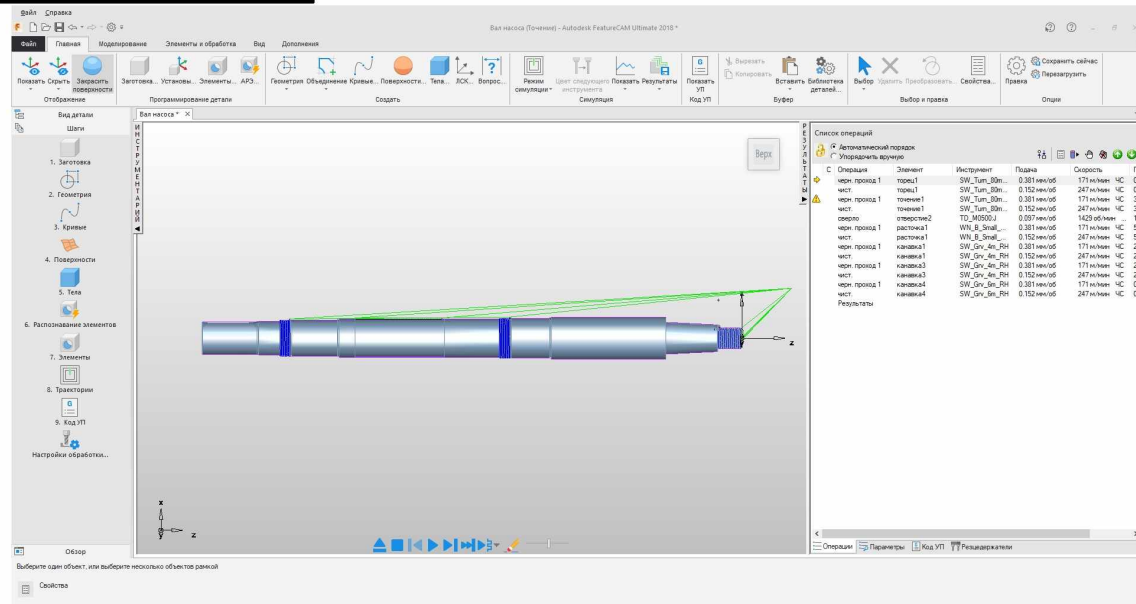
Завідувач кафедри

(підпис)

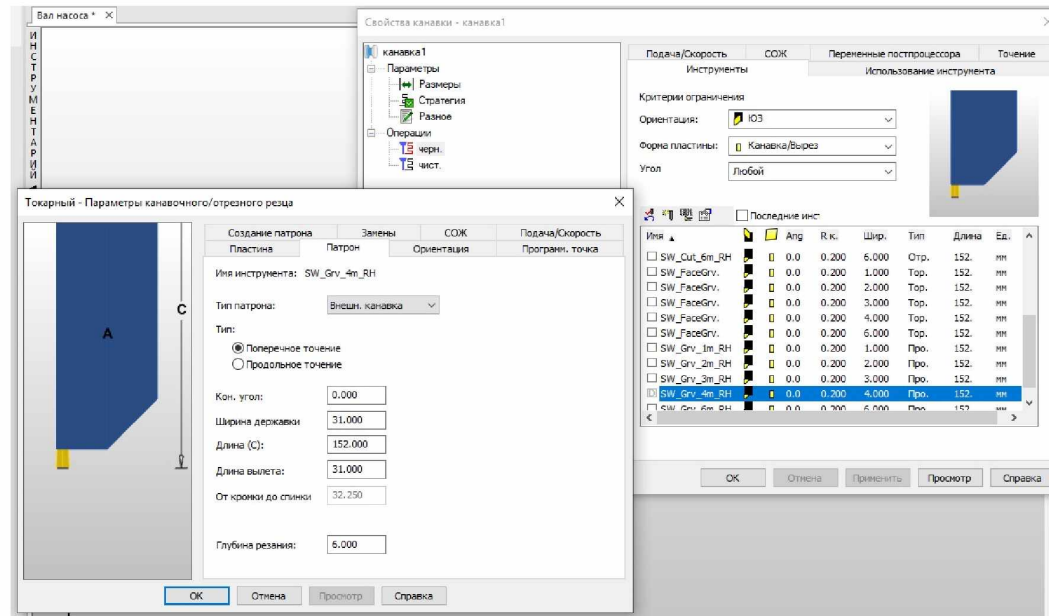
Антон РЯЗАНЦЕВ

Кривий Ріг
2025 р.

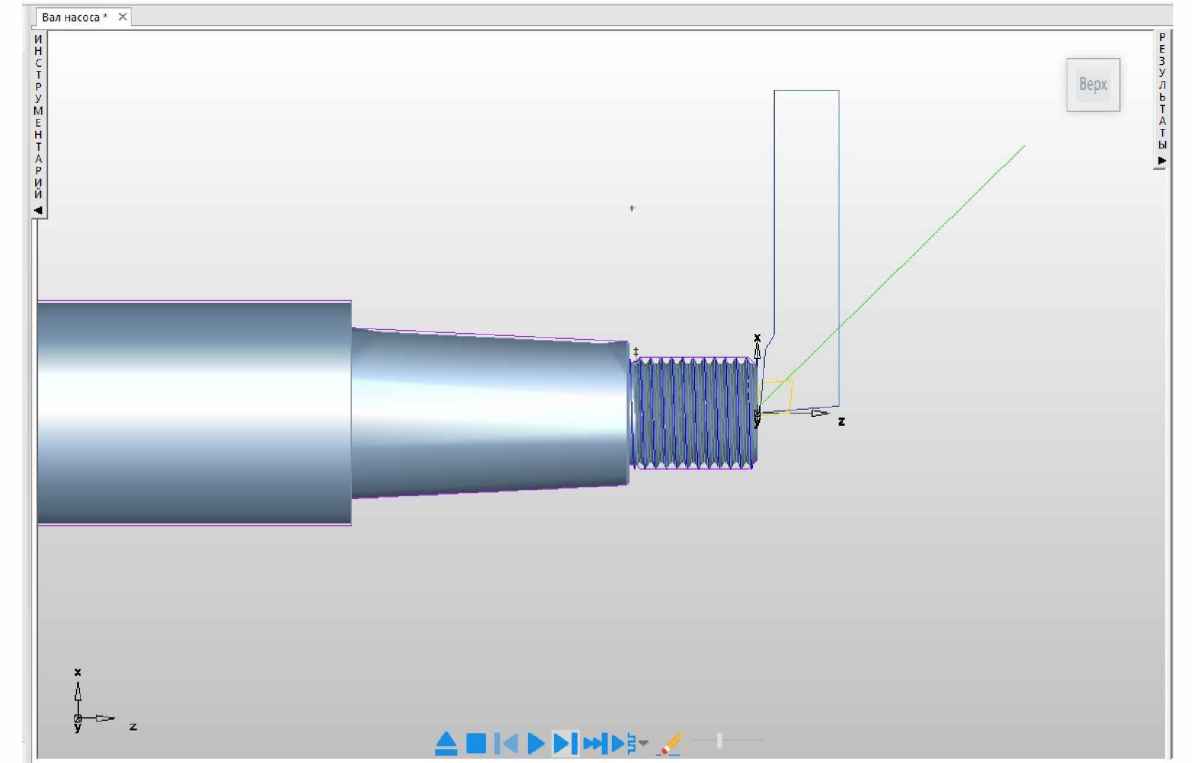
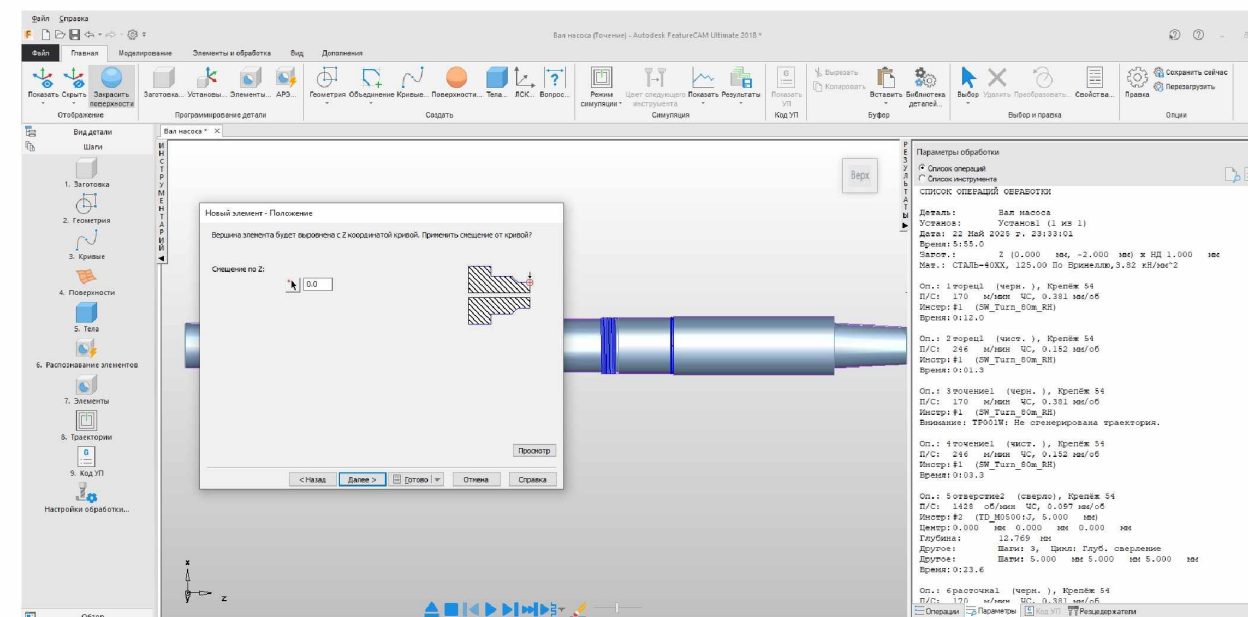
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №					Кресления			
	A2		1	КНУ.КБР.131.25.4-03.ВН	Вал насосу	1		
	A2		2	КНУ.КБР.131.25.4-03.ВН	Верстатно-інструментальне налагодження	1		
	A2		3	КНУ.КБР.131.25.4-03.РФП	Різець фасонний дисковий	1		
	A3		4	КНУ.КБР.131.25.4-03.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	1		
	A3		5	КНУ.КБР.131.25.4-03.МПМО	Моделювання процесу механічної обробки	1		
Подп. и дата								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
				КНУ.КБР.131.25.4-03.ВЕД				
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата				
Разраб.		Христенко						
Пров.		Нечаев						
Н.контр.		Нечаев						
Утв.		Рязанцев						
Відомість електронних документів КБР						Лит.	Лист	Листов
						Н		1
						Кафедра ТМ гр. ЗПМ-22ск		



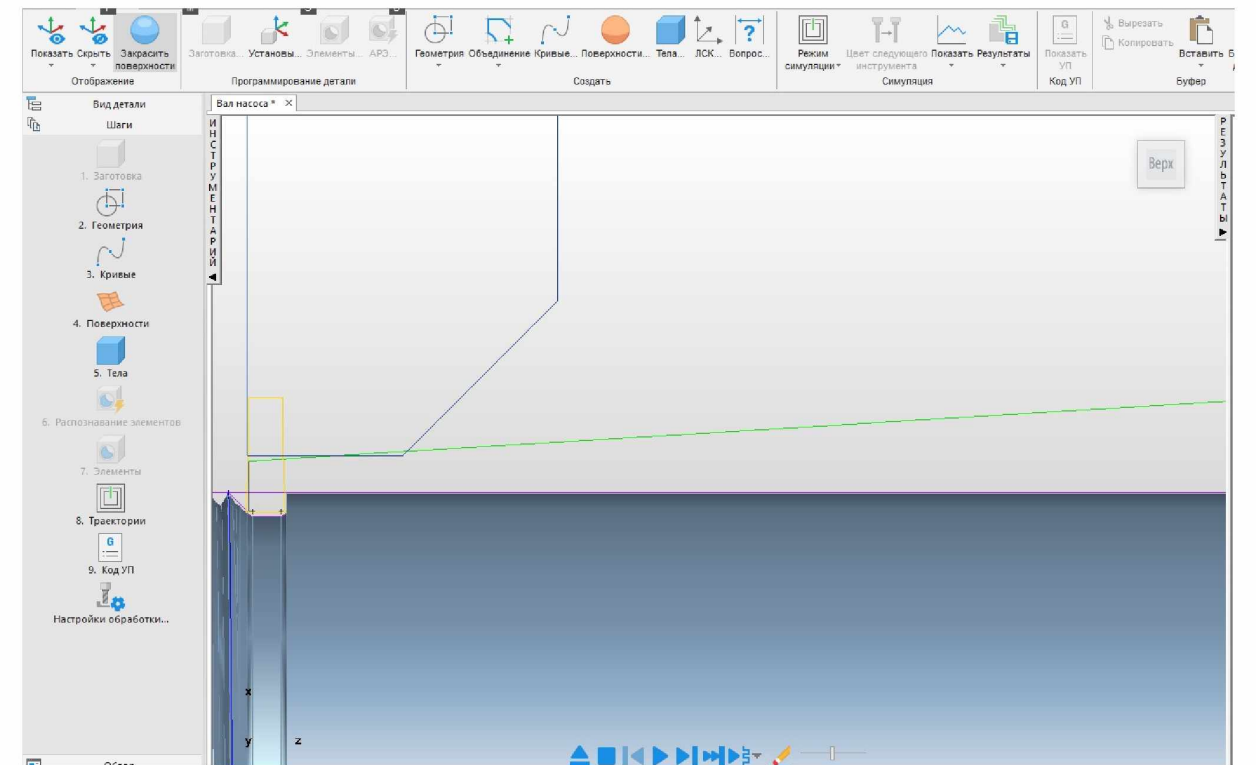
Етап вибору різального інструменту в меню програми



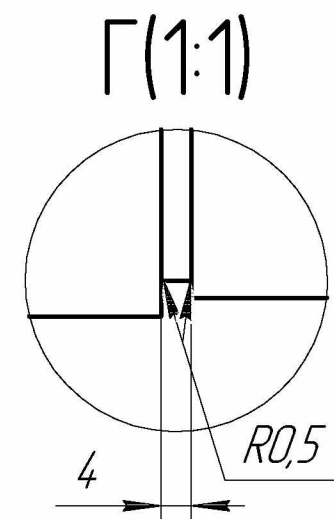
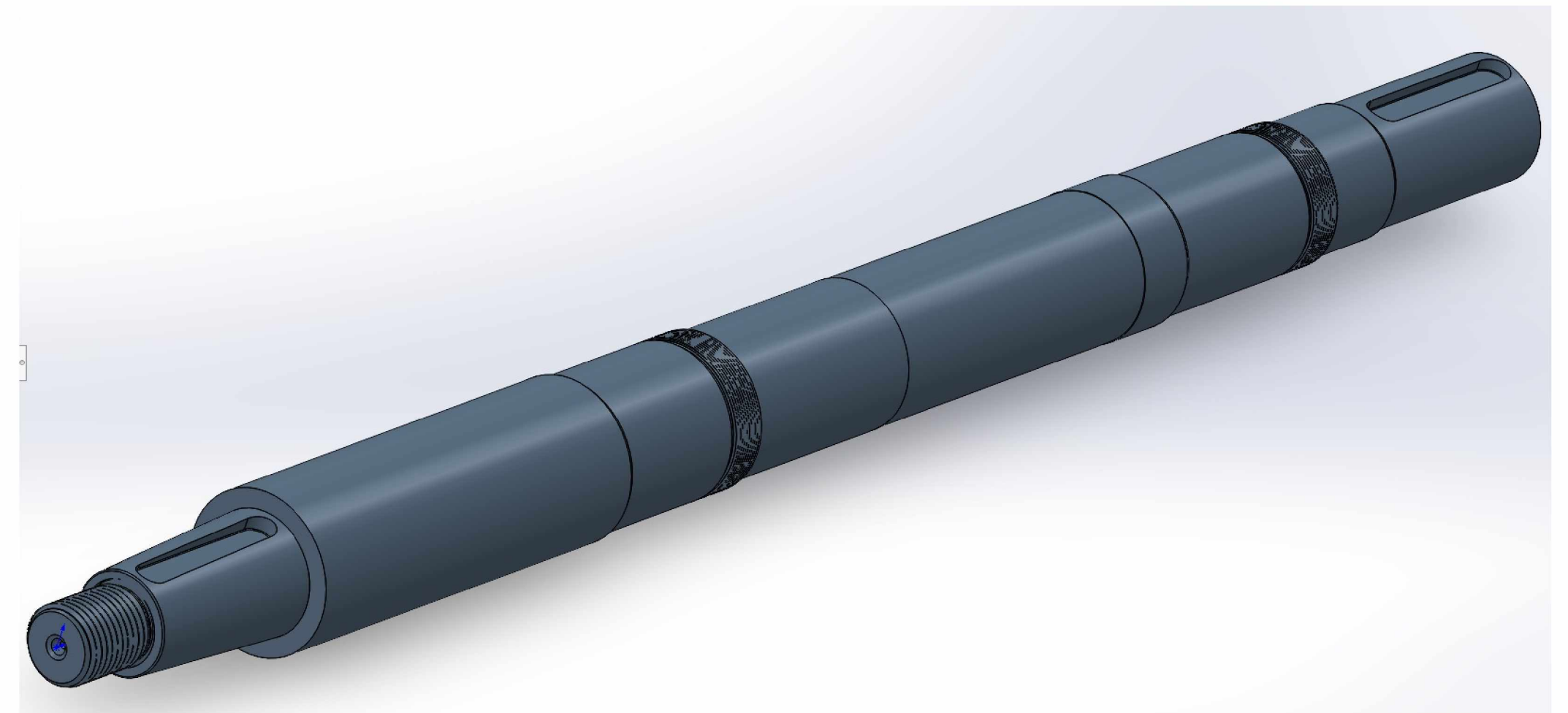
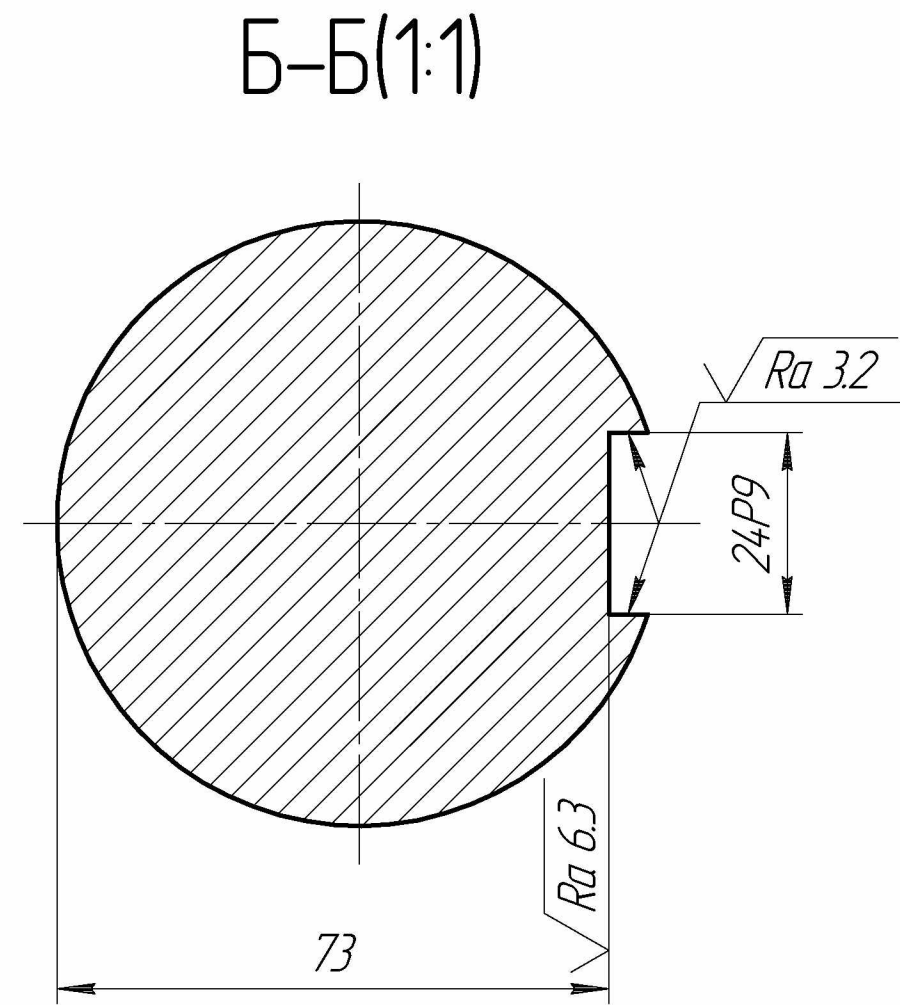
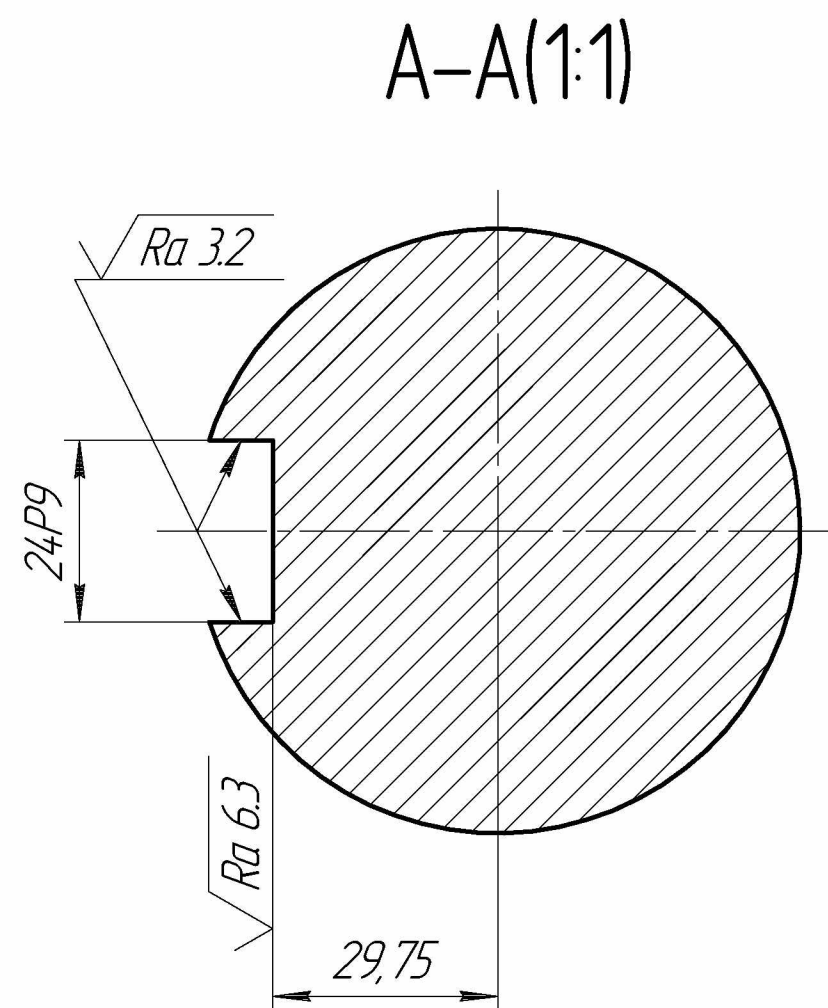
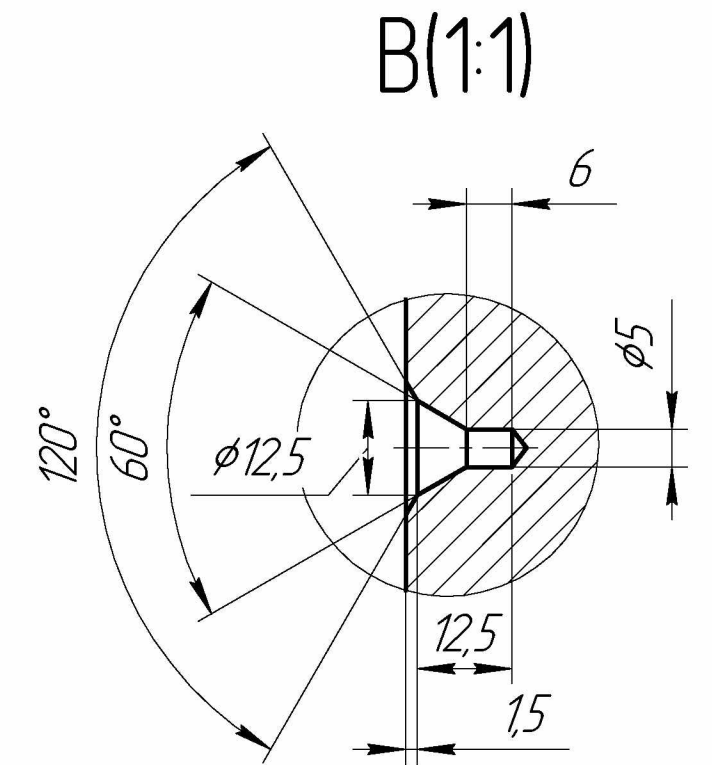
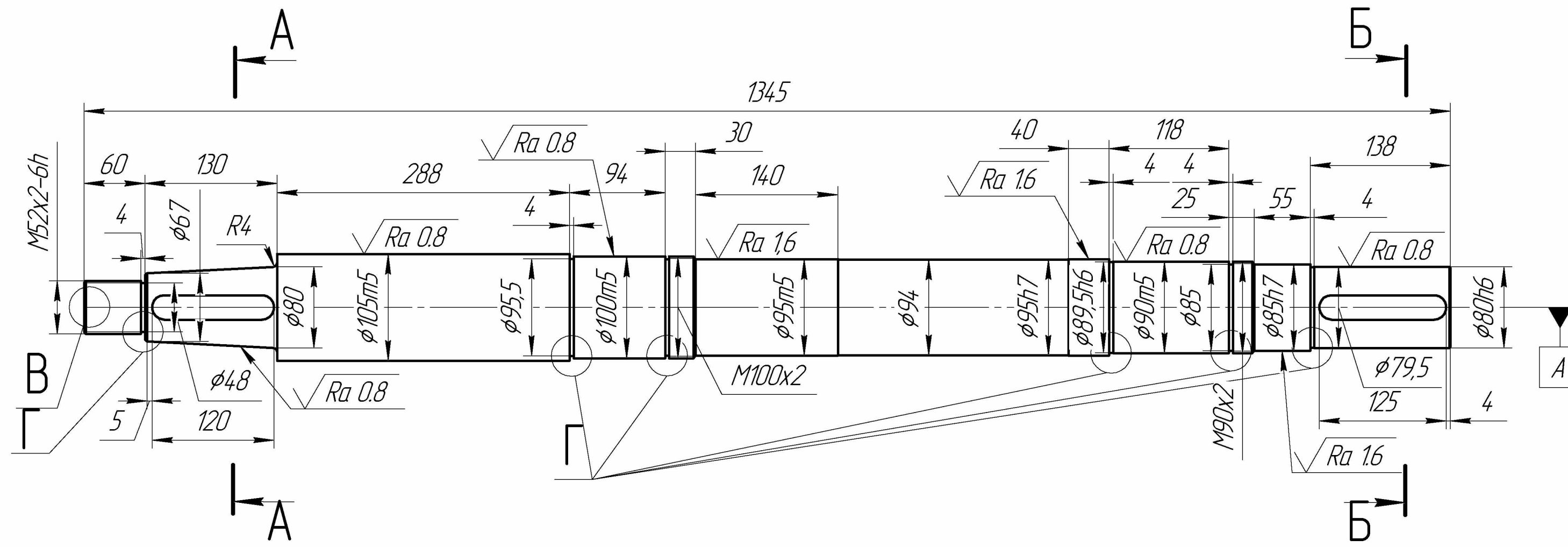
Розпізнавання елементів деталі



Фрагмент моделювання процесу обробки деталі (точіння канавки)



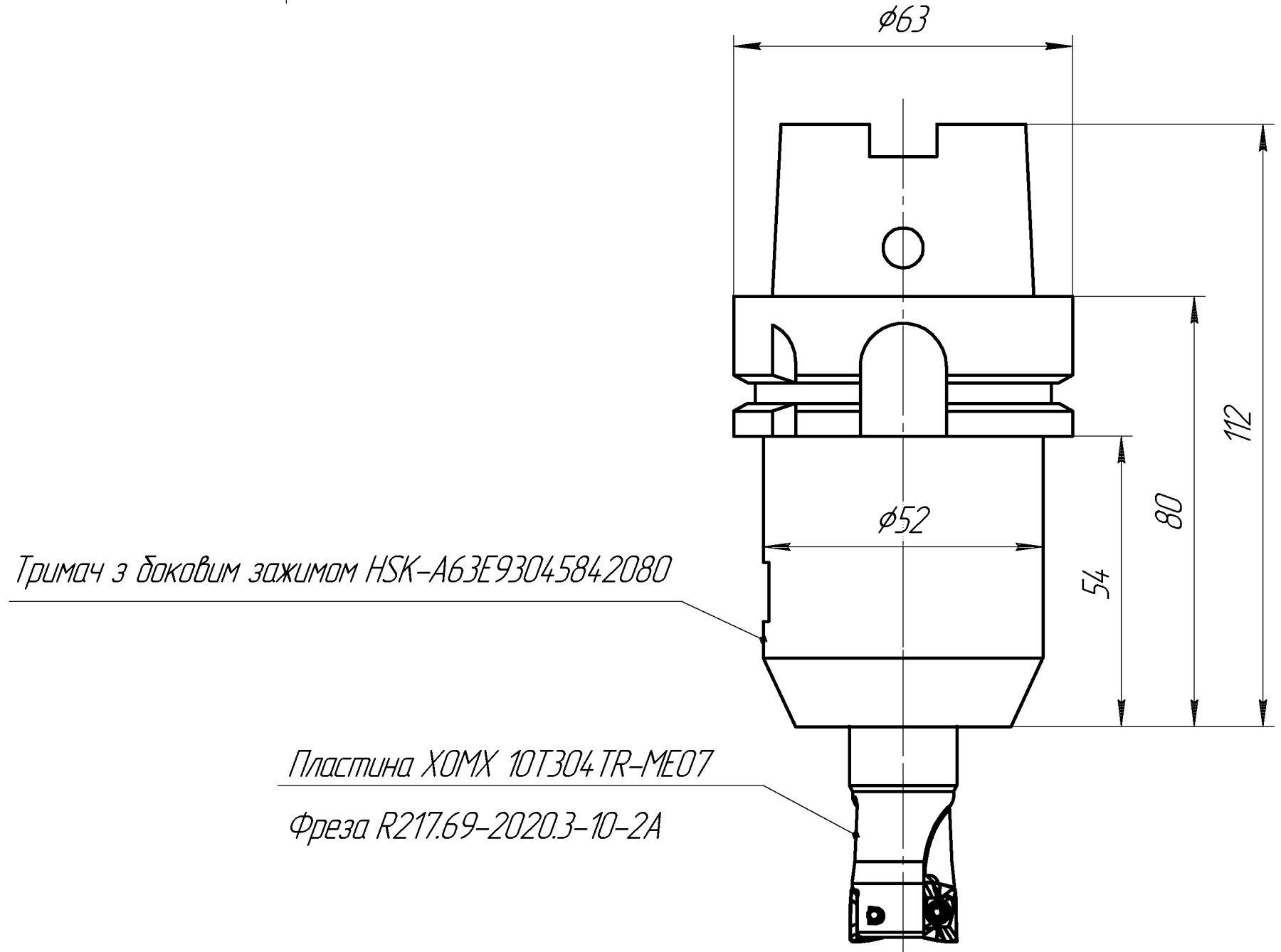
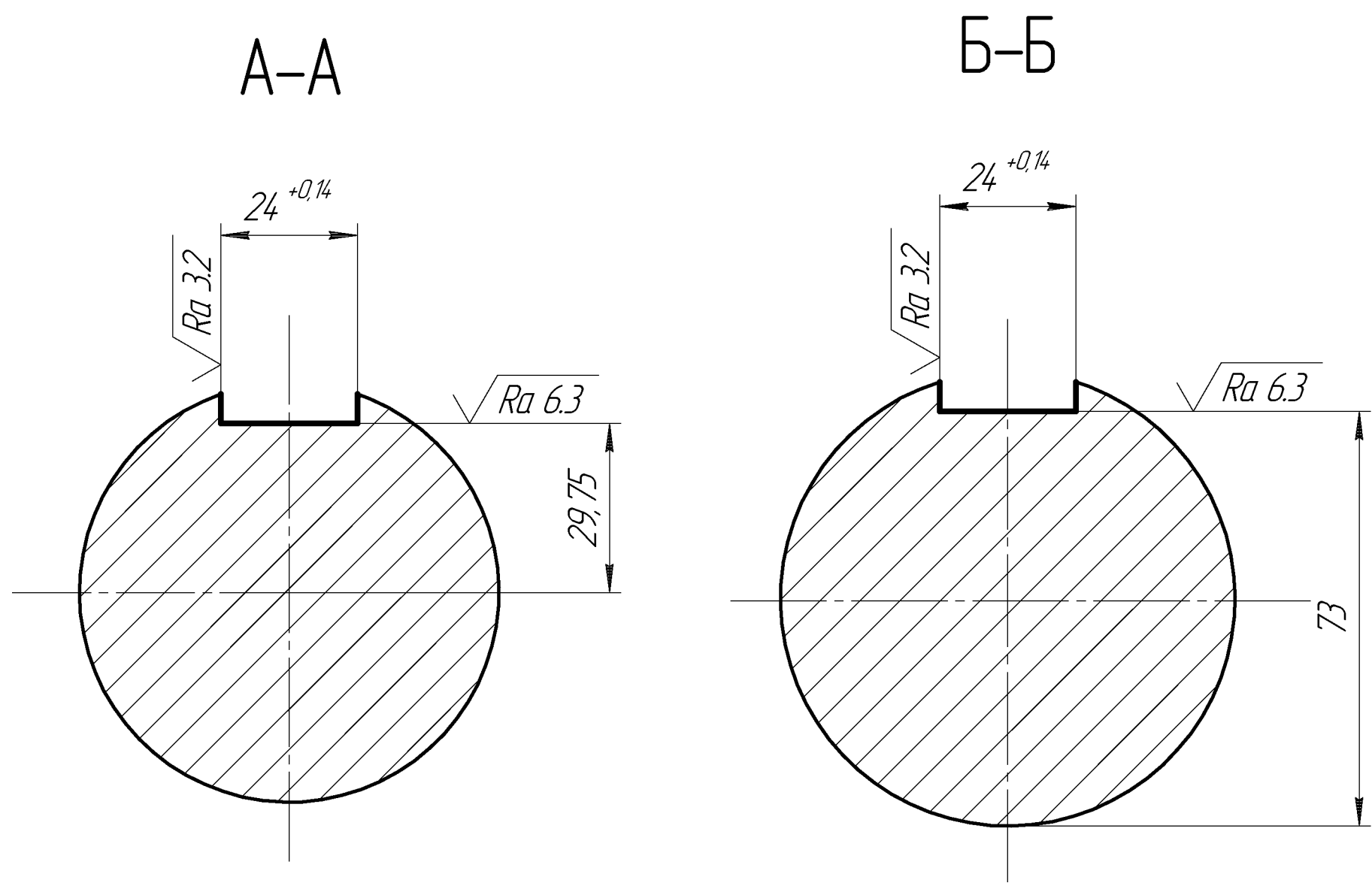
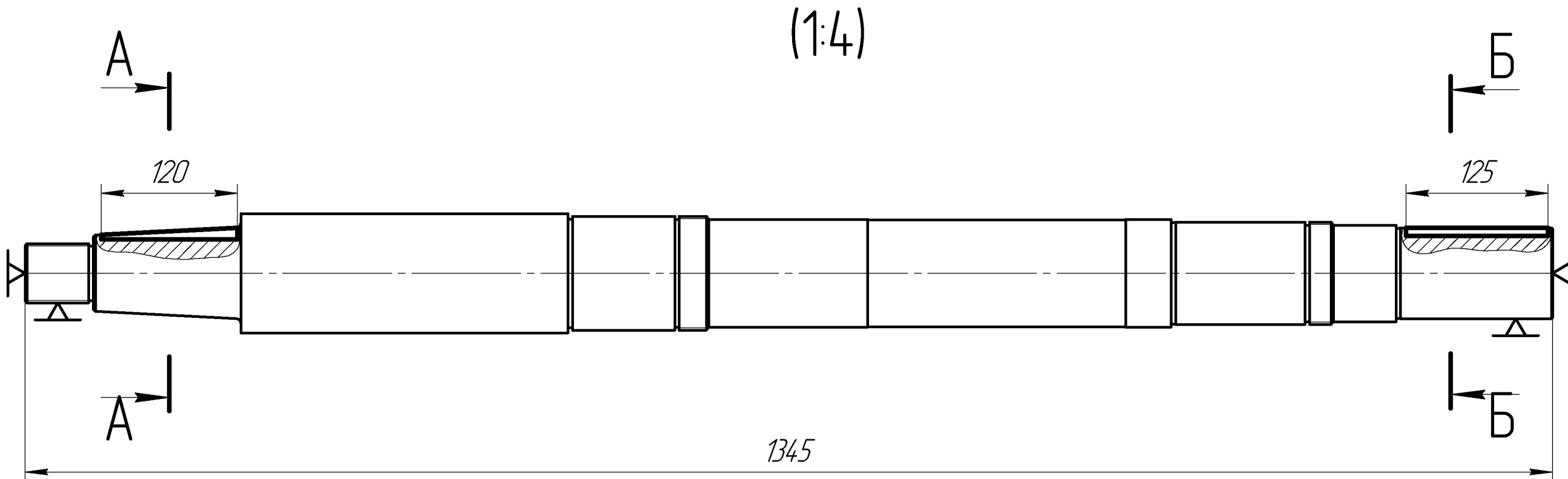
				КНУ.КБР.131.25.4-03.МПМО		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Моделювання процесу механічної обробки	Лит.	Маса
					Н	Масштаб
Розробив	Христенко				Лист	Листів 1
Керівник	Нечаев				Кафедра ТМ гр. ЗПМ-22ск	
Н.контр.	Нечаев					
Затв.	Рязанцев					



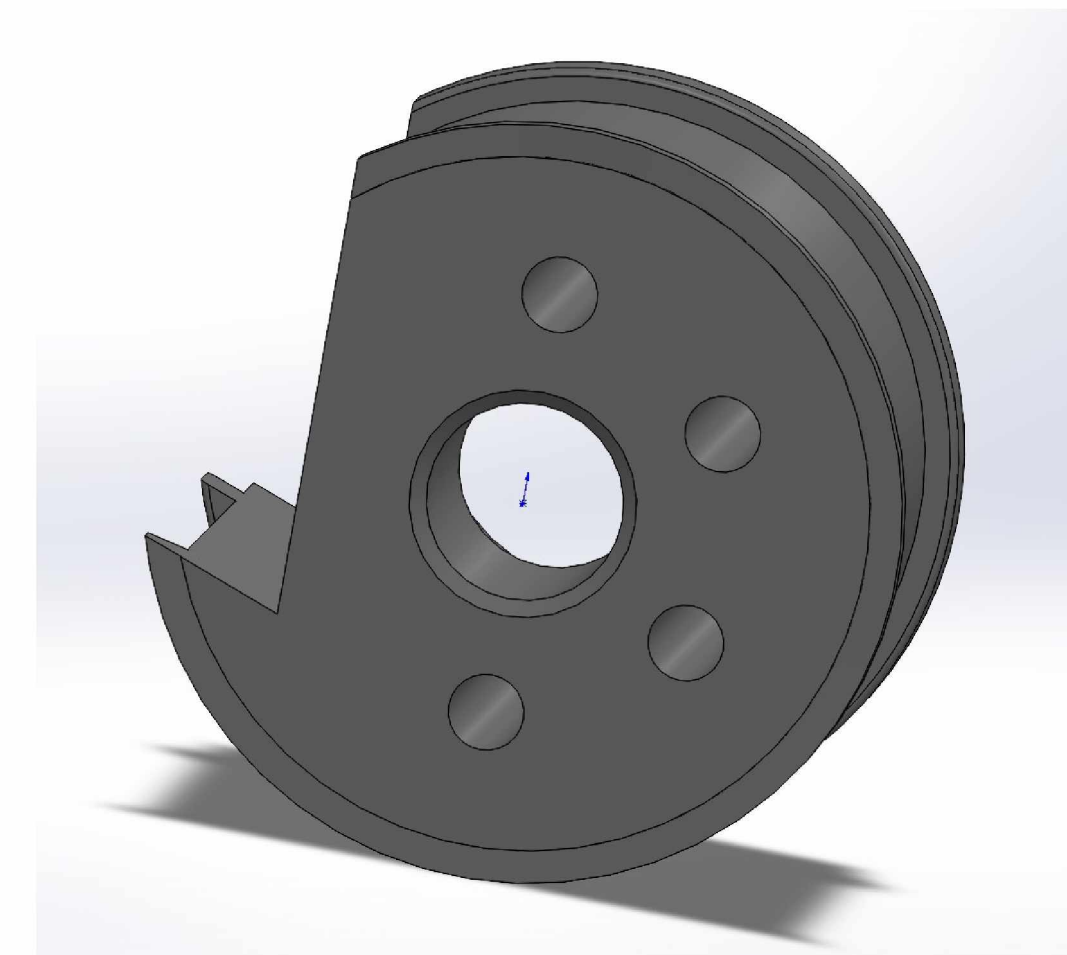
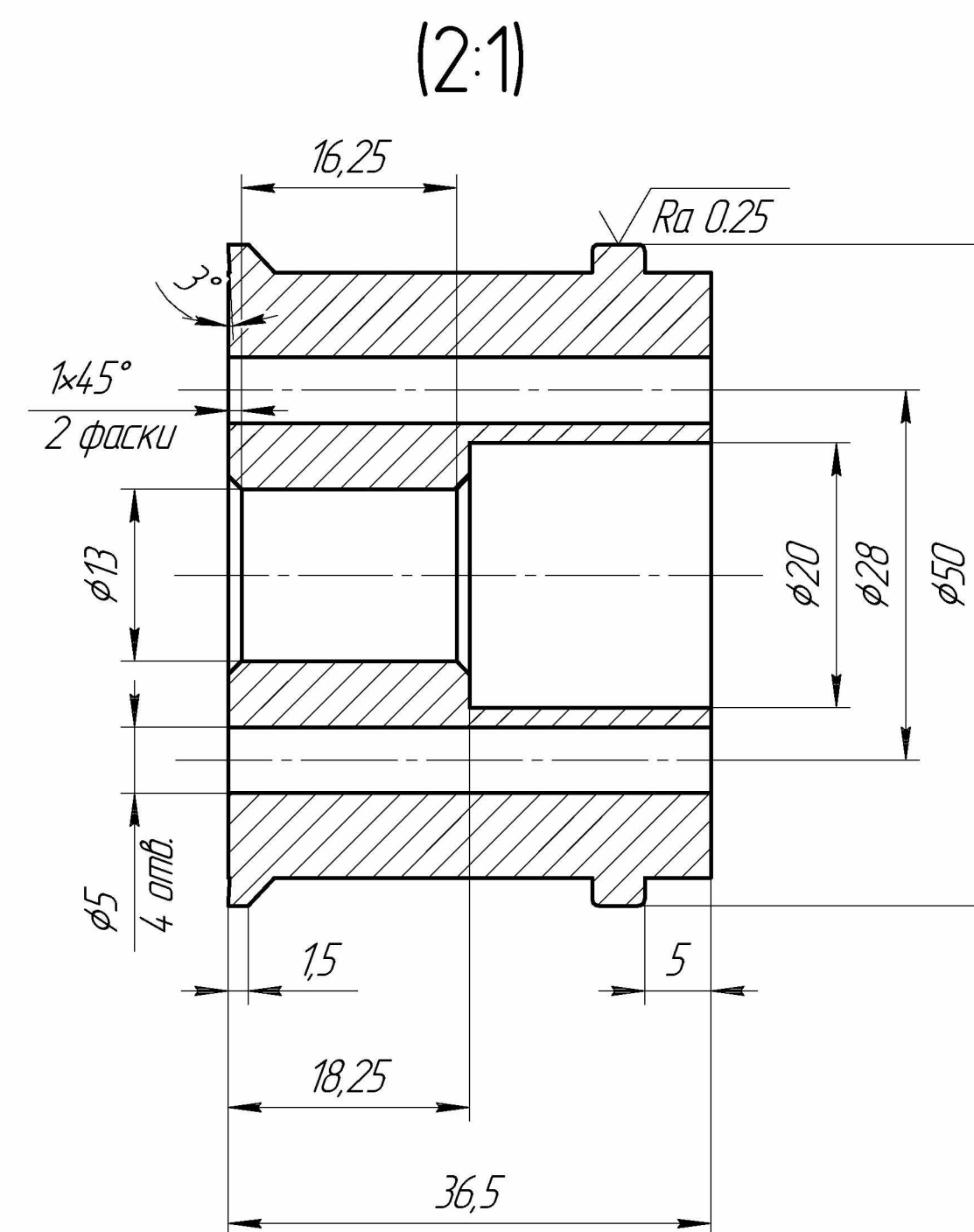
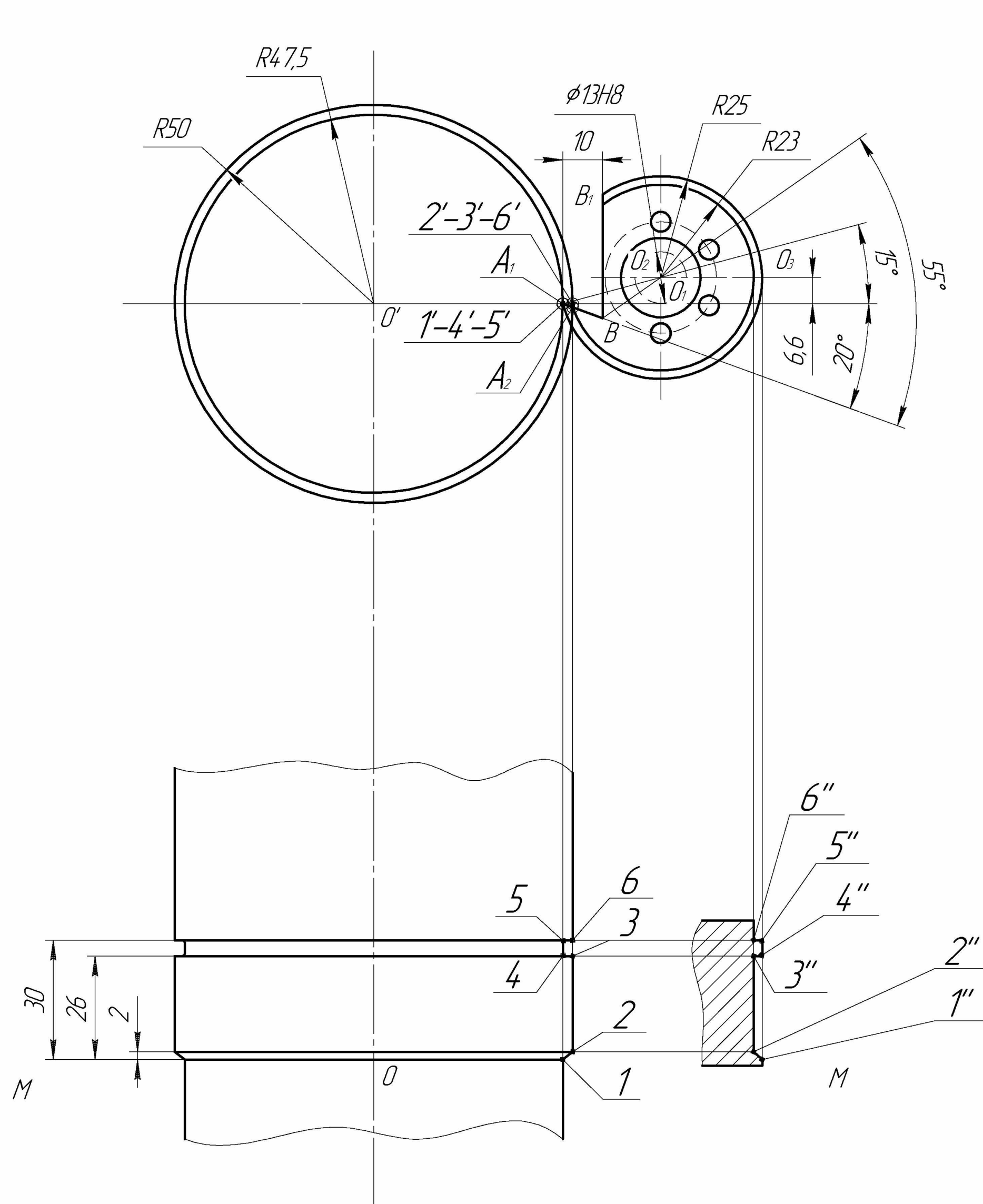
1 Невказані граничні відхилення: Н14, н14, ІТ14/2.

					КНУ.КБР.131.25.4-03.ВН			
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вал насоса		Лит.	Маса	Масштаб
Разробив	Христенко					Н	69,8	1:4
Керівник	Нечаєв					Лист	Листів 1	
Н.контр.	Нечаєв			Сталь 45 ДСТУ 7809:2015		Кафедра ТМ гр. ЗІПМ-22ск		
Затв.	Рязанцев							

Операція фрезерувальна з ЧПК
Верстат вертикальний обробний центр MICROCUT BUFFALO VMC-1300



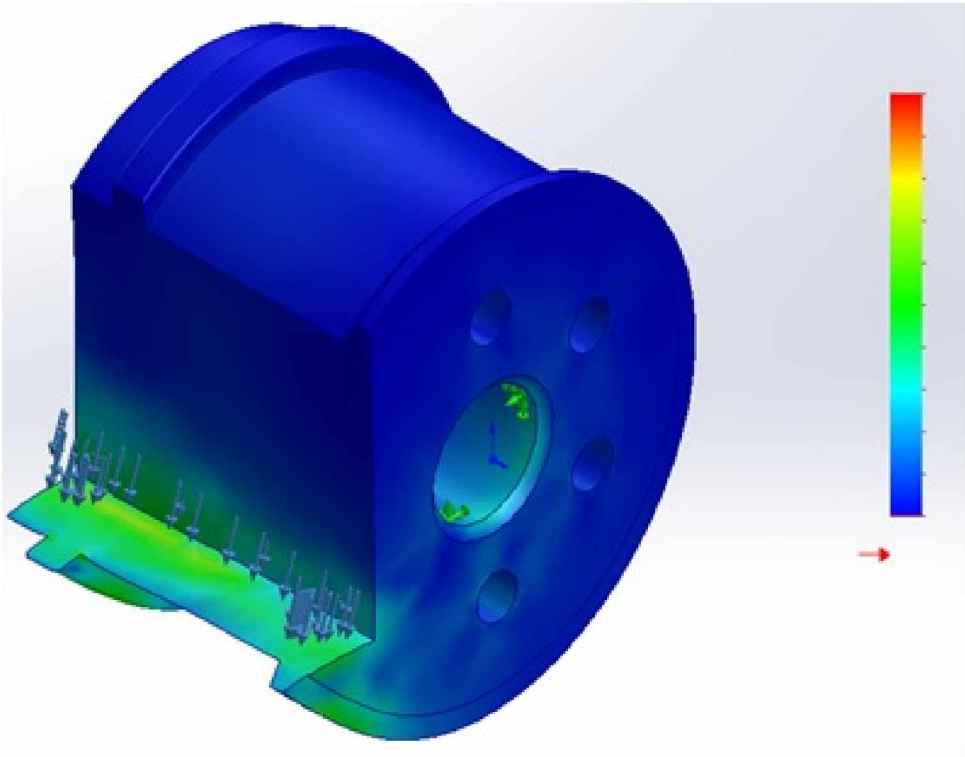
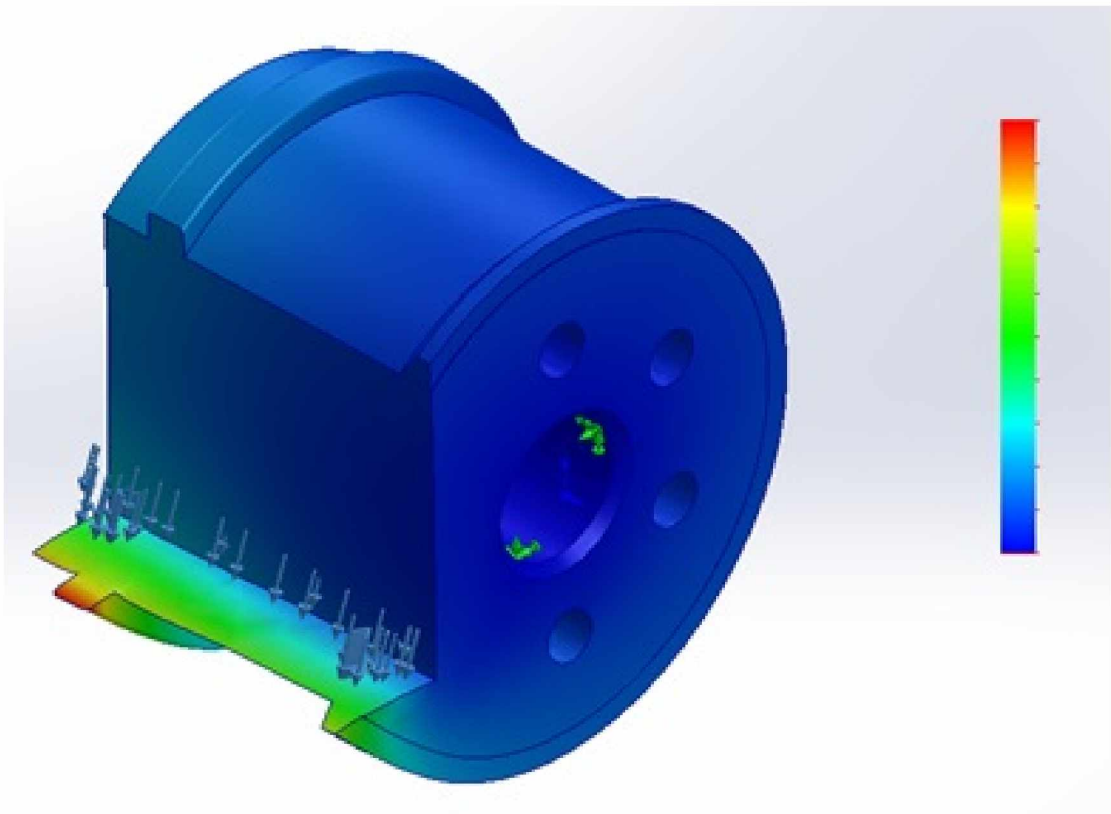
					КНУ.КБР.131.25.4-03.ВІН				
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Верстатно-інструментальне налагодження	Лит.	Маса	Масштаб	
						Н	57,5	1:1	
						Лист	Листів	1	
Н.контр.	Нечасів					Кафедра ТМ гр. ЗПМ-22ск			
Зав.	Рязанцев								



- 1 Матеріал державки різця – сталь 40Х ДСТУ 7806:2015; різальної частини – сталь Р18 або іншої марки за ISO 11054
- 2 Ріжуча частина різця проварюється методом контактної стикової зварки.
- 3 Твердість у ріжучої частини 210–227НВ.
- 4 Розміри контурних точок профілю різця отримати корекційним розрахунком з відхиленнями 0,001 мм.
- 5 Невказані граничні відхилення: $\pm IT4/2$.
- 6 Маркувати: марку сталі різця, задній кут різця, передній кут різця (Р18; $\alpha=15^\circ$; $\gamma=20^\circ$).

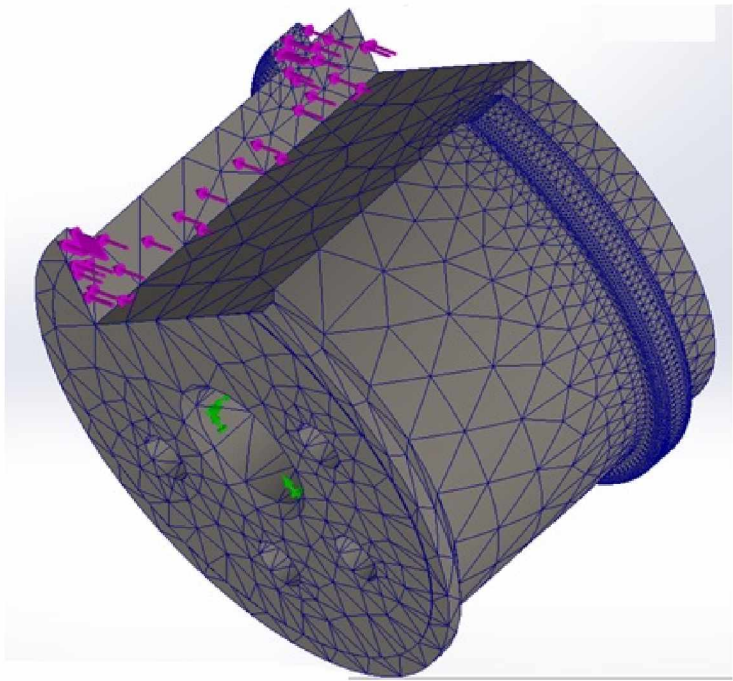
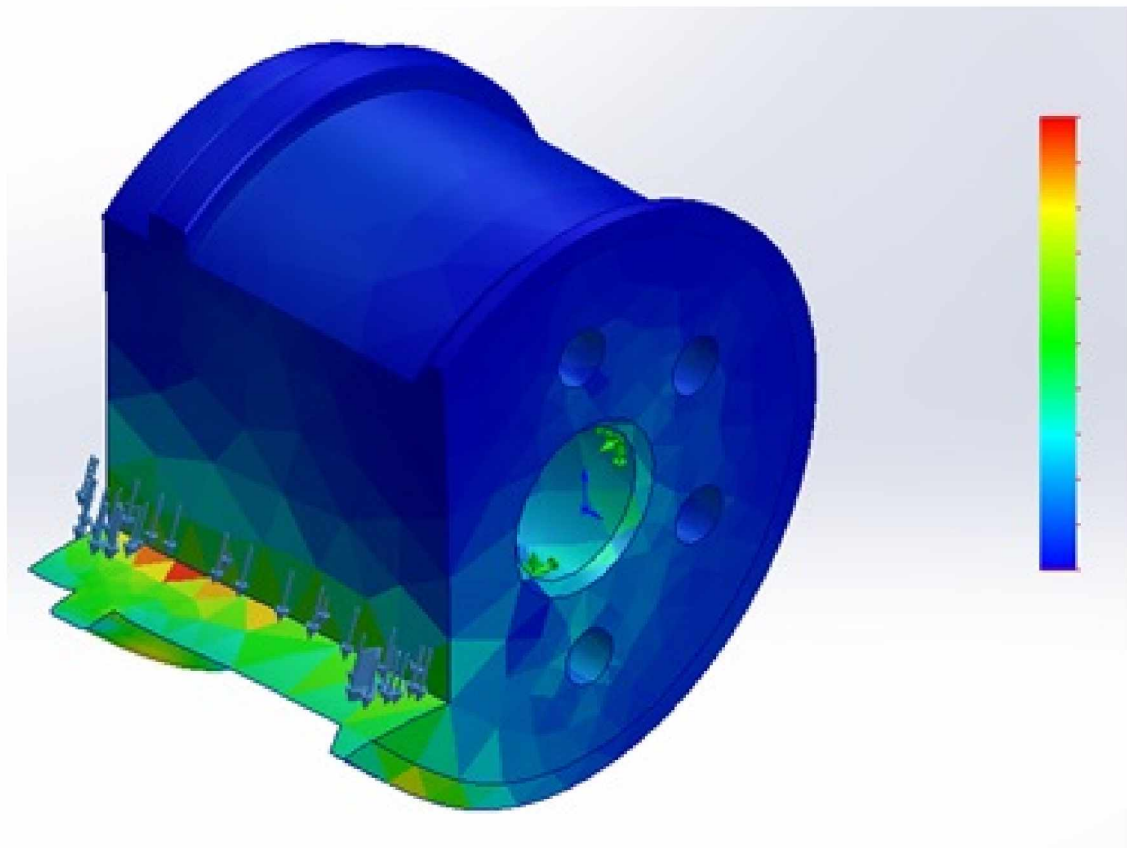
						КНУ.КБР.131.25.4-02.РФД		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		Різець фасонний дисковий		
Розробив	Христенко					Лім	Маса	Масштаб
Керівник	Нечасів					Н		1:1
						Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечасів					Див. тех. вимоги		
Затв.	Рязанцев					Кафедра ТМ гр. ЗПМ-22ск		

Симуляція «Переміщення» в SolidWorks Simulation



Сітка кінцевих елементів

Симуляція «Деформація» в SolidWorks Simulation



					КНУ.КБР.131.25.4-03.ІАСРІ				
					Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	Літ.	Маса	Масштаб	
						Н			
						Лист	Листів 1		
						Кафедра ТМ гр. ЗПМ-22ск			
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Христенко								
Керівник	Нечаєв								
Н.контр.	Нечаєв								
Затв.	Рязанцев								