

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал редуктору» та обґрунтування параметрів надійності процесу за допомогою CAD/CAM систем

Виконав: здобувач групи ПМ-21
Мітюєв Д.О.

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: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал редуктору» та обґрунтування параметрів надійності
процесу за допомогою CAD/CAM систем

Виконав здобувач гр. ПМ-21	_____	Дмитро МІТЮРСЬВ
	(підпис)	
Керівник КБР	_____	Василь НЕЧАСЬВ
	(підпис)	
Нормоконтроль	_____	Василь НЕЧАСЬВ
	(підпис)	
Завідувач кафедри	_____	Антон РЯЗАНЦЕВ
	(підпис)	

м. Кривий Ріг
2025 р.

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

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

(дата)

(підпис)

ЗАВДАННЯ **на кваліфікаційну бакалаврську роботу**

Здобувача групи ПМ-21 Мітюєва Дмитра Олексійовича

Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал редуктору» та обґрунтування параметрів надійності процесу за допомогою CAD/CAM систем

1. Затверджена наказом по КНУ № 45с від «16» 01 2025 р.
2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «16» 06 2025 р.
3. **Вихідні дані до роботи:** 1. Найменування вузла. 2. Креслення деталі «Вал-шестерня».
4. **Зміст пояснювальної записки:** 1. Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі. 2. Технологічна підготовка виробництва деталі. 3. Вибір ріжучих та допоміжних інструментів за міжнародними стандартами. 4. Проектування та інженерний аналіз різального інструменту. 5. Моделювання та програмування операцій механічної обробки. 6. Організаційно-економічна підготовка виробництва.
5. **Перелік графічного матеріалу:** 1. Вал. 2. Верстатно-інструментальне налагодження. 3. Різець фасонний призматичний. 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	15.01.25
2.	Технічне завдання та аналіз вихідних даних	28.03.25
3.	Призначення об'єкту виробництва	28.03.25
4.	Аналіз технологічності деталі.	31.03.25
5.	Креслення деталі (А1-А4).	02.04.25
6.	Вибір та обґрунтування послідовності обробки поверхонь деталі.	06.04.25
7.	Розробка технологічного маршруту обробки деталі.	15.04.25
8.	Вибір параметрів ріжучої частини інструментів.	26.04.25
9.	Розрахунок конструктивних параметрів ріжучої частини інструменту.	26.04.25
10.	Вибір розмірів ріжучого інструменту.	26.04.25
11.	Креслення спеціального ріжучого інструменту (А2-А4).	30.04.25
12.	Креслення з інженерним аналізом спеціального різального інструменту	30.04.25
13.	Вибір допоміжних інструментів.	30.04.25
14.	Розробка та креслення об'єднаного верстатно-інструментального (А1-А2)	01.05.25
15.	Моделювання та програмування операцій механічної обробки	07.05.25
16.	Креслення змодельованого процесу обробки (А1-А2)	11.05.25
17.	Організаційно-економічна підготовка виробництва.	27.05.25
18.	Висновки	28.05.25
19.	Оформлення РПЗ	12.06.25
20.	Попередній захист	16.06.25

Дата видачі завдання: «15» 01 2025 р.

ц

Завдання видав керівник КБР

/Нечаєв В.П./

Завдання отримав
здобувач освіти

/Мітюров Д.О./

[illegible]

РЕФЕРАТ

У даній кваліфікаційній бакалаврській роботі представлено: 69 сторінок, 48 рисунків та 33 таблиці.

У сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі особливу увагу приділяють підвищенню якості та надійності деталей, що виготовляються, а також оптимізації виробничих процесів шляхом впровадження цифрових технологій. Однією з ключових ланок у забезпеченні конкурентоспроможності продукції є ефективна конструкторсько-технологічна підготовка виробництва, що включає використання сучасних CAD/CAM-систем для моделювання та аналізу процесів обробки.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ефективності виготовлення відповідальних деталей, таких як вал редуктора, який відіграє важливу роль у трансмісійних системах машин і механізмів. Використання комп'ютеризованих систем дозволяє не лише автоматизувати етапи проєктування та розробки технології, а й забезпечити високу точність і надійність кінцевої продукції.

Об'єктом дослідження є процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва.

Предметом дослідження виступає процес розробки та оптимізації виготовлення вала редуктора з використанням CAD/CAM-систем, а також оцінка параметрів надійності процесу.

Метою роботи є розробка ефективної технології виготовлення деталі «вал редуктора» із застосуванням сучасних комп'ютерних технологій проєктування (CAD) та автоматизованого програмування обробки (CAM), а також обґрунтування параметрів надійності виробничого процесу.

Значущість дослідження полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані на машинобудівних підприємствах для вдосконалення технологічної підготовки виробництва, зниження витрат, підвищення точності деталей та загальної ефективності виробничого процесу.

ВАЛ-ШЕСТЕРНЯ, ПРОЕКТУВАННЯ, ВЕРСТАТ З ЧПК, ЕЛЕКТРОМОСТОВИЙ КРАН, МЕХАНІЗМ

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.P</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	<i>Мітюров</i>				<i>Реферат</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	<i>Нечаєв</i>							
Н. Контр.	<i>Нечаєв</i>				<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>			
Затверд.	<i>Рязанцев</i>							

ABSTRACT

This bachelor thesis contains: 69 pages, 48 figures and 33 tables.

In the current conditions of development of the machine-building industry, special attention is paid to improving the quality and reliability of manufactured parts, as well as optimising production processes through the introduction of digital technologies. One of the key elements in ensuring the competitiveness of products is the effective design and technological preparation of production, including the use of modern CAD/CAM systems for modelling and analysing machining processes.

The relevance of the study is driven by the need to improve the efficiency of manufacturing critical parts, such as a gearbox shaft, which plays an important role in the transmission systems of machines and mechanisms. The use of computerised systems allows not only to automate the design and development stages of the technology, but also to ensure high accuracy and reliability of the final product.

The object of research is the process of design and technological preparation of production.

The subject of the study is the process of developing and optimising the manufacture of a gearbox shaft using CAD/CAM systems, as well as assessing the process reliability parameters.

The aim of the study is to develop an effective technology for the manufacture of the gearbox shaft part using modern computer-aided design (CAD) and computer-aided machining (CAM) technologies, as well as to substantiate the reliability parameters of the production process.

The significance of the study lies in the fact that the results obtained can be used at machine-building enterprises to improve the technological preparation of production, reduce costs, increase the accuracy of parts and the overall efficiency of the production process.

SHAFT-GEAR, DESIGN, CNC MACHINE, ELECTRIC BRIDGE CRANE, MECHANISM

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.P</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ	10
1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних	10
1.2 Призначення об'єкту виробництва, як елементу вузла, механізму машини з характеристикою будови, принципів роботи, характеристикою кінематичних та силових ланцюгів та передач машини	11
1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання вал-шпонка....	12
2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ.....	15
2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміन.....	15
2.2 Аналіз якості поверхонь деталей.....	16
2.3 Технічний контроль робочого креслення.....	17
2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання.....	17
3 ВИБІР РІЗУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ.....	29
3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі	29
3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів	29
3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту.....	38
3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів	40
3.5 Компоновка інструментального комплексу та розробка інструментального налагодження на технологічну операцію деталі	42
4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ	45
4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту	45
4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту	49

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.3</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Мітюров</i>			<i>Зміст</i>		
Перевір.		<i>Нечаєв</i>					
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Затверд.		<i>Рязанцев</i>			<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ.....	54
5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора....	54
5.2 Розробка керуючої програми.....	55
6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА	61
6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників	61
6.2 Охорона праці та екологія виробництва.....	65
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.3</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку машинобудівної галузі значну увагу приділяють підвищенню ефективності виробництва, зниженню собівартості продукції, а також підвищенню її якості та точності. Одним із ключових факторів досягнення цих цілей є раціональна організація технологічної підготовки виробництва, яка передбачає глибокий аналіз конструкції деталі, обґрунтований вибір матеріалів, технологічних процесів, обладнання та інструментів.

Об'єктом дослідження даної кваліфікаційної роботи є деталь «вал-шестерня», яка входить до складу редуктора РМ-650, що використовується в механізмах підйому електромостового крана. Деталь виконує функцію передавання і перетворення крутного моменту, тому до неї пред'являються високі вимоги щодо точності, міцності та зносостійкості.

Метою роботи є розробка технологічного процесу механічної обробки зазначеної деталі із застосуванням сучасного програмного забезпечення для моделювання (SolidWorks), вибір раціонального обладнання, інструментів, а також проведення інженерного аналізу міцності різального інструменту. Основну увагу приділено підвищенню ефективності виробництва та забезпеченню якості готового виробу.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.В				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Мітюров			Вступ	Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Нечаєв							
Н. Контр.		Нечаєв							
Затверд.		Рязанцев							
						Каф.ТМ гр. ПМ-21			

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА ТА ДЕТАЛІ

1.1 Технічне завдання та аналіз вихідних даних

Вихідними даними для кваліфікаційної бакалаврської роботи є креслення «Вал-шестерня», представлене на рисунку 1.1.

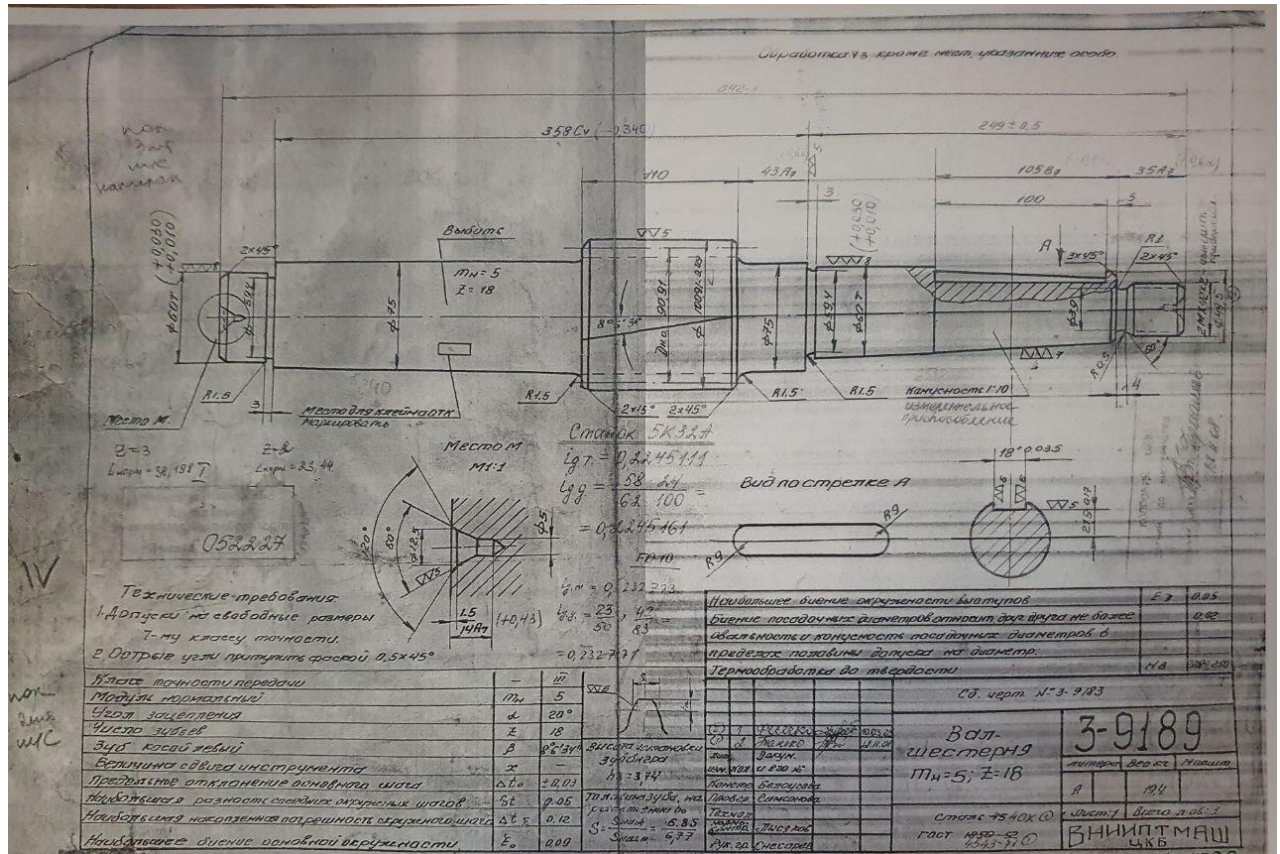


Рисунок 1.1 – Вихідне креслення деталі

Надане креслення валу є детальним технічним документом, що описує його конструкцію, розміри та технічні умови. На кресленні представлено вал ступінчастий з конструктивними елементами, такими як канавки, шпонковий паз, фаски, різьба та шестерня.

Вал містить шпонковий паз шириною 18 мм і глибиною 7,1 мм та шестерня $m = 5$, $z = 18$, зуб косий лівий ($\beta = 8^\circ$).

					КНУ.КБР.131.25.1-17.01.АСПМ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.	Мітюров				Аналіз службового призначення машини, вузла та деталі				Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.	Нечаєв										
Н. Контр.	Нечаєв										
Затверд.	Рязанцев								Каф.ТМ гр. ПМ-21		

Технічні умови для виготовлення валу включають:

- 1) Невказані граничні відхилення розмірів отворів – по H7, валів – по h7.
- 2) Гострі кути притупити фаскою 0,5x45°

Було розроблено 3D модель заданої деталі у програмному забезпеченні SolidWorks, яка зображена на Рисунку 1.2.

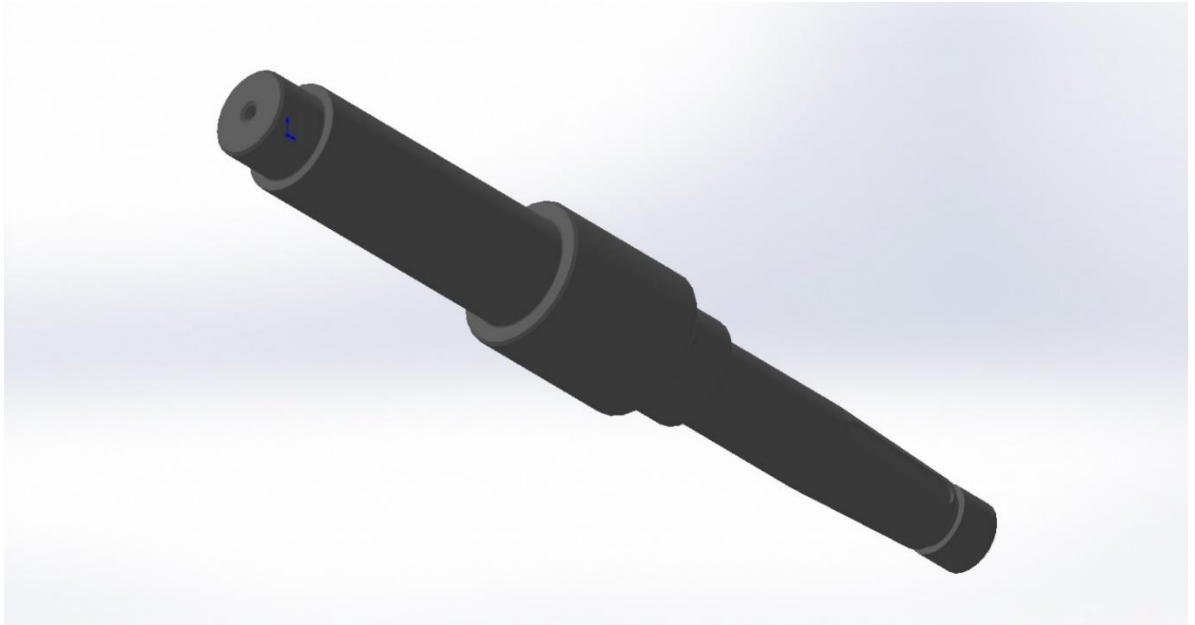


Рисунок 1.2 – 3D модель валу

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

Заданий вал-шестерня входить до редуктора РМ-650 механізму підйому електромостового крана.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд редуктора РМ-650

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.01.АСПМ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

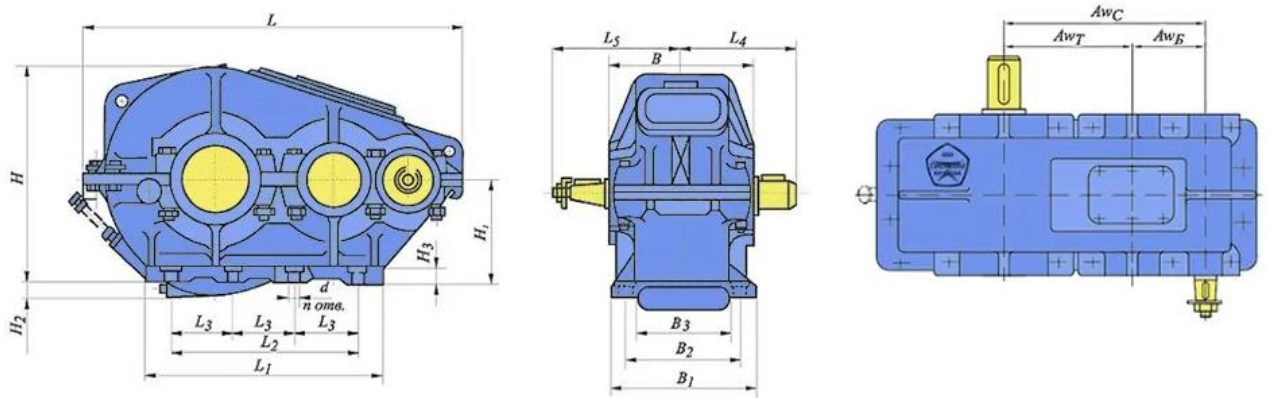


Рисунок 1.4 – Креслення редуктора РМ – 650

Таблиця 1.1 – Розміри редуктора РМ – 650

awc, мм	awt, мм	awb, мм	H, мм	H ₁ , мм	H ₂ , мм	H ₃ , мм	L, мм	L ₁ , мм	L ₂ , мм
650	400	250	697	320	95	35	1278	830	645

Продовження таблиці 1.1

L ₃ , мм	L ₄ , мм	L ₅ , мм	B, мм	B ₁ , мм	B ₂ , мм	B ₃ , мм	d, мм	n, шт
215	430	430	470	470	410	318	25	8

Вал-шестерня редуктора РМ-650 призначений для передавання і перетворення крутного моменту від електродвигуна до механізмів підйому, забезпечуючи співвідношення швидкості та сили, необхідне для безпечної та надійної роботи крана.

1.3 Розрахунок параметрів точності шпонкового з'єднання вал-шпонка

Проведемо розрахунок шпонкового з'єднання Ø60-18-11-3 у системі вал-шпонка

Вихідні дані для розрахунку:

- d – діаметр ступені валу на якому розташований шпонковий паз - Ø60h7;
- B – ширина шпонкового пазу – 18P9;
- t₁ – глибина шпонкового пазу валу – 7,1H12;
- L – довжина шпонкового пазу – 100H15;
- h – висота шпонки згідно ДСТУ 23360:2008 – 11h11 [7];
- b – ширина шпонки 18h9;
- l – довжина шпонки 100h14;
- група полів допусків – третя (щільне з'єднання)
- виконання шпонки – перше.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.01.АСПМ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

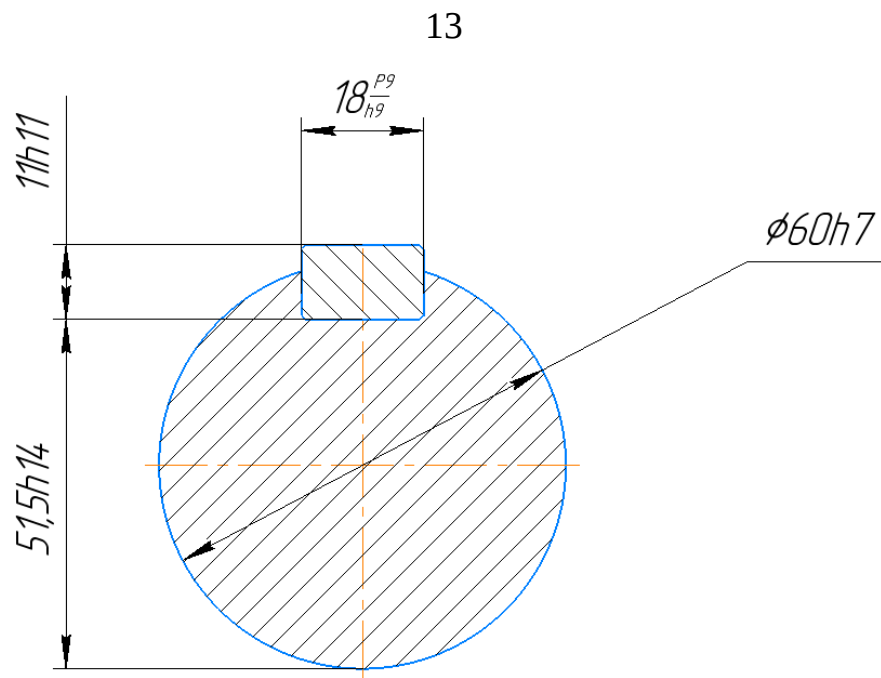


Рисунок 1.5 – Ескіз шпонкового з'єднання

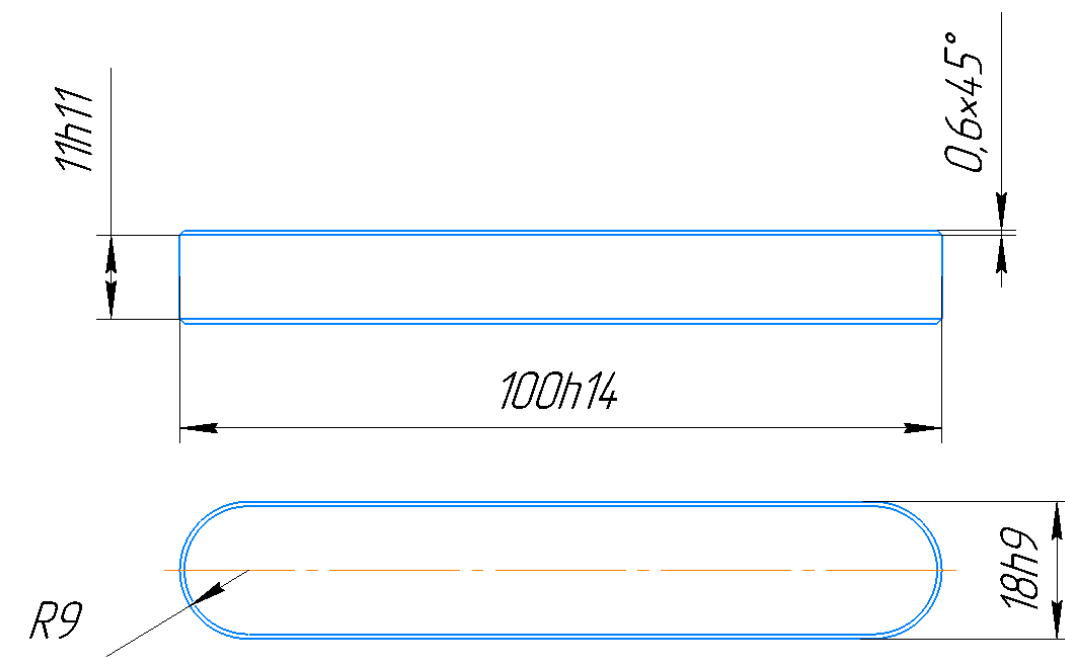


Рисунок 1.6 – Креслення шпонки 18 x 11 x 100 ДСТУ 23360:2008 [7]

					КНУ.КБР.131.25.1-17.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальноприйнята система допусків та посадок передбачає посадки тільки по ширині, по висоті та довжині завжди забезпечується гарантований зазор. Отже, визначимо граничні відхилення та поля допуску ширини шпонкового пазу валу та шпонки:

$$b = 18h9; es = 0; ei = -43 \text{ мкм};$$

$$b_{\max} = b + es = 18 + 0 = 18,000 \text{ мм}; \quad (1.1)$$

$$b_{\min} = b + ei = 18 + (-0,043) = 17,957 \text{ мм}; \quad (1.2)$$

$$B = 18P9; ES = -18 \text{ мкм}; EI = -61 \text{ мкм};$$

$$B_{\max} = B + ES = 18 + (-0,018) = 17,982 \text{ мм}; \quad (1.3)$$

$$B_{\min} = B + EI = 18 + (-0,061) = 17,939 \text{ мм}; \quad (1.4)$$

Визначимо допуск на обидва розміри:

$$Tb = b_{\max} - b_{\min} = 18,000 - 17,957 = 0,043; \quad (1.5)$$

$$TB = B_{\max} - B_{\min} = 17,982 - 17,939 = 0,043; \quad (1.6)$$

Розрахуємо максимальні натяги та зазори:

$$N_{\max} = b_{\max} - B_{\min} = 18,000 - 17,939 = 0,061 \text{ мм} = 61 \text{ мкм}; \quad (1.7)$$

$$S_{\max} = B_{\max} - b_{\min} = 17,982 - 17,957 = 0,025 \text{ мм} = 25 \text{ мкм}; \quad (1.8)$$

$$N_{\min} = S_{\min} = 0 \quad (1.9)$$

Зобразимо розраховані параметри полів допусків шпонкового з'єднання на схемі.

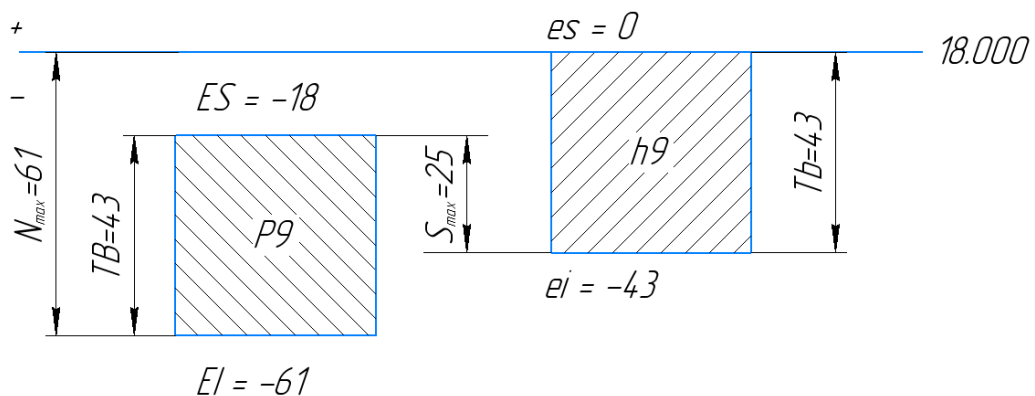


Рисунок 1.7 – Схема полів допусків з'єднання вал-шпонка

					КНУ.КБР.131.25.1-17.01.АСПМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА ДЕТАЛІ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів заміни

Заготовка для деталі «Вал-шестерня» - прокат зі Сталі 45 за ДСТУ-5632, що є аналогом міжнародних марок сталі з схожими характеристиками, такими як AISI 1045, Din:1.0503 C45 і S45C. Дані про хімічний склад та механічні властивості матеріалу валу та його аналогів приводяться у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Властивості сталі 45 та її аналогів

Властивість	Сталь 45	AISI 1045 (США)	Din:1.0503 C45 (Європа)	S45C (Японія)
Склад				
Вуглець (C), %	0,42-0,5	0,46	0,42 – 0,50	0,42 – 0,48
Хром (Cr), %	до 0,25	до 0,40	до 0,40	до 0,20
Марганець (Mn), %	0,5 – 0,8	0,65	0,5 – 0,8	0,6 – 0,9
Силіцій (Si), %	0,17 – 0,37	до 0,40	до 0,40	0,15 – 0,35
Нікель (Ni), %	до 0,25	до 0,49	до 0,40	до 0,20
Механічні властивості				
Границя міцності (σ_B), МПа	530 – 680	570 – 700	580 – 820	500 – 600
Границя текучості ($\sigma_{0,2}$), МПа	355	330	310	355
Відносне видовження (δ), %	14 – 19	20 – 25	8	16
Ударна в'язкість (KCU), Дж/см ²	110 – 123	130 – 140	30	59 – 118
Твердість (HВ)	131 – 179	170 – 210	171 – 241	160 – 220

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	<i>Мітюров</i>				<i>Технологічна підготовка виробництва деталі</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	<i>Нечаєв</i>							
Н. Контр.	<i>Нечаєв</i>							
Затверд.	<i>Рязанцев</i>				<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>			

2.2 Аналіз якості поверхонь деталей

Враховуючи вимоги до точності та якості поверхонь деталі, обираємо технологічні методи обробки (див. Таблицю 2.2), які в сукупності забезпечують задану якість поверхні, зазначену на робочому кресленні.

Таблиця 2.2 – Технологічні методи обробки поверхонь деталі

№ з/п	Розміри, мм	Технологічні методи обробки	Допуск, ІТ	Шорсткість Ra, мм
1	2	3	4	5
1, 26	L642	Чорнове підрізання торця	h14	Ra 12,5
		Напівчистове підрізання торця	h7	Ra 6,3
2, 10, 25	Фаска 2x45	Точіння фаски	h7	Ra 6,3
3	Ø60	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h10	Ra 6,3
		Чистове точіння	h8	Ra 3,2
		Попереднє шліфування	h7	Ra 1,6
4	Канавка b = 3	Точіння канавки	h7	Ra 6,3
5, 8, 13, 16	R1,5	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
6	L205	Чорнове підрізання торця	h14	Ra 12,5
		Напівчистове підрізання торця	h7	Ra 6,3
7	Ø75	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h7	Ra 6,3
9	L110	Чорнове підрізання торця	h14	Ra 12,5
		Напівчистове підрізання торця	h7	Ra 6,3
11	Ø100,91	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h7	Ra 6,3
12	L110	Чорнове підрізання торця	h14	Ra 12,5
		Напівчистове підрізання торця	h7	Ra 6,3
14	Ø75	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h7	Ra 6,3
15	L43	Чорнове підрізання торця	A14	Ra 12,5
		Напівчистове підрізання торця	A7	Ra 6,3

Продовження таблиці 2.2

1	2	3	4	5
17	Канавка $b = 3$	Точіння канавки	h7	Ra 6,3
18	Ø60	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h7	Ra 6,3
19	Фаска 3x45	Точіння фаски	h7	Ra 6,3
20	Ø49,5	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Напівчистове точіння	h7	Ra 6,3
21	R1	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
22	Канавка $b = 4$	Точіння канавки	h7	Ra 6,3
23	R0,5	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
24	M42x2	Чорнове точіння	h14	Ra 12,5
		Нарізання різьби	6g	R 1,25
27	Паз $b = 18$	Чорнове фрезерування	P14	Ra 12,5
		Напівчистове фрезерування	P10	Ra 6,3
		Чистове фрезерування	P9	Ra 3,2
28	Шестерня $m = 5, z = 18$	Чорнове фрезерування	P14	Ra 12,5
		Напівчистове фрезерування	P10	Ra 6,3
		Чистове фрезерування	P9	Ra 3,2

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Робоче креслення виконане у програмному забезпеченні SolidWorks на аркуші формату A1 та представлено в альбомі креслень кваліфікаційної бакалаврської роботи. На ньому зображені головний та виносні види вала-шестерня. На кресленні зазначені всі необхідні розміри, шорсткості поверхонь, відхилення форми, невказана шорсткість та технічні вимоги до виготовлення та контролю деталі.

2.4 Проектування технологічного процесу обробки деталі та вибір обладнання

Складемо маршрутну технологічну карту виготовлення заданого ступінчатого валу - Таблиця 2.3.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3 – Маршрутна карта

№	Тип операції	Тип верстату та модель	Примітки
005	Розточувальна	Горизонтально-розточувальний верстат 2В622Ф13	Встановити, вивірити, закріпити. Фрезерувати торець до "чистоти". Центрувати з одного боку
010	Токарна	Горизонтальний токарний верстат з ЧПУ Ні-ТЕСН 550А	Встановити у патроні, піджати центром, вивірити, закріпити.
			Точити з припуском 8 мм діаметральні поверхні; торці з припуском 4 мм набік. Точити шийки під люнет чистотою поверхні Ra 1,6. Встановити люнет. Забрати центр. Підрізати торці у розмірі 642 (-1). Зацентрувати із двох сторін. Перевстановити в центр, вивірити, закріпити. Точити з припуском 1мм під шліфування поверхні Ø 60Т; конусна поверхня.
015	Зубофрезерна	Зубофрезерний станок WMW MODUL ZFWZ 250-3	Встановити, вивірити, закріпити. Фрезерувати зубці з припуском 0,80 мм на товщину зуба $m = 5$, $z = 18$ згідно з кресленням. При необхідності зачистити задирки по контуру зубів
020	Розміточна	Плита розміточна	Нанести осьові лінії, розмітити шпонковий паз $b = 18$
025	Фрезерна	Вертикально-фрезерний станок VESTA 660	Установити, вивірити, закріпити. Фрезерувати шпонковий паз $b = 18$ з урахуванням припуску під шліфування

					КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 2.3

030	Термічна	-	Резьбу М42 предохранить
035	Токарна	Горизонтальний токарний верстат з ЧПУ Hi-TECH 550	Установити, вивірити, закріпити. Перевірити биття. За наявності биття правити центрові фаски.
040	Шліфувальна	Круглошліфувальний верстат ЗШМ SHU321x1000	Установити, вивірити, закріпити. Шліфувати поверхні Ø 60Т, конусну поверхню конусність 1:10 згідно з кресленням
045	Зубошліфувальна	Зубошліфувальний станок SPITZEN SGG-320	Установити, вивірити, закріпити. Шліфувати зуби $m = 5$, $z = 18$ згідно з кресленням.
050	Контрольна	-	Контроль якості, маркування

З урахуванням кількості та характеру попередньо визначених технологічних методів обробки поверхонь, підберемо типи металорізального обладнання. Отримані дані занесемо в таблицю 2.8. Нумерацію поверхонь валу додано у Додаток А.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1) Горизонтально-розточувальний верстат з ЧПК 2В622Ф13



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд верстата 2В622Ф13

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики верстата 2В622Ф13

Назва параметрів	Од. Вим.	Значення
1	2	3
Клас точності верстата	-	Н, П, В, А, С
Найбільший діаметр розточування	мм	125
Довжина робочої поверхні столу	мм	1250
Ширина столу	мм	1250
ЧПУ	-	УЦИ
Межі частот обертання шпинделя Min/Max	об/хв	6-2500
Потужність	кВт	28
Габарити	мм	4130/6335/3980
Маса	кг	17500

2) Горизонтальний токарний верстат з ЧПУ Hi-TECH 550A



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд верстата Hi-TECH 550A

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.5 – Технічні характеристики верстата Ні-ТЕСН 550А

Назва параметрів	Од. Вим.	Значення
1	2	3
Технічні параметри		
Найбільший діаметр над станиною	мм	Ø800
Максимальний діаметр обробки	мм	Ø590
Стандартний діаметр обробки	мм	Ø387
Максимальна довжина обробки	мм	1100
Діаметр патрона	дюйми	15
Шпиндель		
Тип конуса	ASA	A2-11
Максимальна швидкість обертання	об/хв	2000
Діаметр отвору в шпинделі	мм	Ø132
Максимальний діаметр прутка	мм	Ø116
Внутрішній діаметр підшипника шпинделя	мм	Ø180
Двигун шпинделя	кВт	30
Револьверна головка		
Кількість позицій	шт.	12
Розмір інструменту	мм	□32 × Ø60
Швидкість подачі		
Швидке переміщення (X/Z)	м/хв	20/24
Максимальний хід (X/Z)	мм	345/1150
Двигун подачі (X/Z)	кВт	4/4
Габарити		
Висота	мм	2400
Площа (Довжина x Ширина)	мм	4590x2450
Маса	кг	9500
Система ЧПУ	Fanuc 0i-TD	

					КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3) Зубофрезерний станок WMW MODUL ZFWZ 250-3



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд верстата WMW MODUL ZFWZ 250-3

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики верстата WMW MODUL ZFWZ 250-3

Назва параметрів	Од. Вим.	Значення
1	2	3
Модуль (max)	-	6
Кут нахилу лінії зуба	°	45
Діаметр круглого столу	мм	Ø275
Діаметр заготовки	мм	Ø250
Обороти шпинделя	об/хв	400
Осьова подача	мм/хв	0,2-10
Тангенціальна подача	мм/хв	0,1-5
Радіальна подача	мм/хв	0,025-4
Потужність приводу шпинделя	кВт	7,5
Потужність загальна	кВт	19
Маса	кг	5500

					КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Вертикально-фрезерный станок VESTA 660



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд верстата VESTA 660

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики верстата VESTA 660

Назва параметрів	Од. Вим.	Значення
1	2	3
Переміщення		
Переміщення по осях (X / Y / Z)	мм	660/430/400
Відстань від поверхні столу до краю шпинделя	мм	150-500
Робочий стіл		
Робоча поверхня	мм	720x400
Допустиме навантаження	кг	560
Форма поверхні (Т-подібні пази WxP – кількість пазів)	мм	18 x 100 – 3 шт.
Шпиндель		
Максимальна швидкість шпинделя	об/хв	10000
Двигун шпинделя	кВт	11
Подача		
Швидке переміщення (X/Y/Z)	м/хв	36/36/30
Швидкість робочої подачі (X/Y/Z)	мм/хв	1-24000
Автоматична система зміни інструменту		
Тип хвостовика	-	MAS-403 BT40
Тип штрівеля	-	MAS P40T-1 (45°)
Кількість інструментів	шт.	20 (24)
Максимальний діаметр інструменту (з/без сполучених інструментів)	мм	Ø80 / Ø150
Максимальна довжина інструменту	мм	300
Максимальна вага інструменту	кг	8
Двигун		
Серводвигун (X/Y/Z)	кВт	1,8/1,8/3,0
Насос подачі МОР (шпиндель/змив стружки)	кВт	0,4
Габарити верстата		
Висота	мм	2535
Загальна площа (довжина x ширина)	мм	3130x1980
Маса	кг	5000
ЧПУ	Fanuc-0i MD	

5) Круглошліфувальний верстат ЗШМ SHU321x1000



Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд верстата ЗШМ SHU321x1000

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.02.ТПВД</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики верстата ЗШМ SHU321x1000

Назва параметрів	Од. Вим.	Значення
1	2	3
Висота центрів	мм	165
Габаритна висота	мм	1700
Габаритна довжина	мм	4175
Габаритна ширина	мм	1780
Діаметр посадкового отвору круга	мм	203
Діаметр шліфувального круга	мм	400
Кількість шліфувальних шпинделів	шт.	1
Керування ЧПУ	-	PLC
Конус задньої бабки	-	MT4
Мінімальні поздовжні робочі подачі	мм/хв	100
Мінімальні поперечні робочі подачі	мм/хв	0,0025
Мінімальна швидкість обертання деталі	об/хв	30
Мінімальна швидкість обертання шліфувального шпинделя	об/хв	1700
Мінімальний внутрішній діаметр обробки	мм	10
Мінімальний діаметр зовнішньої обробки	мм	8
Мінімальний кут повороту столу	°	3
Мінімальний кут шпинделя	°	-90
Максимальні поздовжні робочі подачі	мм/хв	800
Максимальні поперечні робочі подачі	мм/хв	0,02
Максимальна внутрішня довжина обробки	мм	135
Максимальна довжина зовнішньої обробки в патроні	мм	200
Максимальна довжина обробки	мм	1000
Максимальна швидкість різання	м/с	35
Максимальний діаметр внутрішшліфувального круга	мм	30
Максимальний кут повороту столу	°	9
Максимальний кут шпинделя	°	90
Маса	кг	5500

Таблиця 2.9 – Вибір металорізальних верстатів та інструментів по обробці поверхонь деталі

№ Поверхні	Найменування операції	Тип і модель верстата
1	2	3
1, 26	Чорнове підрізання торця	Горизонтально-розточувальний верстат з ЧПК 2B622Ф13
1, 26	Напівчистове підрізання торця	
6, 9, 12, 15	Чорнове підрізання торця	Горизонтальний токарний верстат з ЧПУ Hi-TECH 550A
6, 9, 12, 15	Напівчистове підрізання торця	
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24	Чорнове точіння	
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24	Напівчистове точіння	
3	Чистове точіння	
2, 10, 25, 19	Точіння фаски	
4, 17, 22	Точіння канавки	
24	Нарізання різьби	
27	Чорнове фрезерування	Вертикально-фрезерний станок VESTA 660
27	Напівчистове фрезерування	
27	Чистове фрезерування	
28	Чорнове фрезерування	Зубофрезерний станок WMW MODUL ZFWZ 250-3
28	Напівчистове фрезерування	
28	Чистове фрезерування	
3, 28	Попереднє шліфування	Круглошліфувальний верстат ЗШМ SHU321x1000

З ВИБІР РІЖУЧИХ ТА ДОПОМІЖНИХ ІНСТРУМЕНТІВ ЗА МІЖНАРОДНИМИ СТАНДАРТАМИ

3.1 Вибір типу інструментів з обробки поверхонь деталі

Беручи до уваги кількість та зміст раніше запропонованих технологічних методів обробки поверхонь, обираємо сучасні типи інструментів, запропоновані міжнародними виробниками. Для кожного виду поверхні деталі обираємо відповідний тип інструменту, обґрунтовуємо його вибір та представляємо ескіз. Основна інформація заноситься до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Вибір типів інструментів по обробці поверхонь деталі

№ з/п поверхні	Найменування операції	Тип інструмента
1	2	3
1, 26, 6, 9, 12, 15	Чорнове / Напівчистове підрізання торця	Підрізний різець
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24	Чорнове / Напівчистове / Чистове точіння	Прохідний різець
24	Нарізання різьби	Різьбовий різець
2, 10, 25, 19	Точіння фаски	Прохідний різець
4, 17, 22	Точіння канавки	Канавковий різець
27	Чорнове / Напівчистове / Чистове фрезерування	Кінцева фреза
28	Чорнове / Напівчистове / Чистове фрезерування	Черв'ячна фреза
3, 28	Попереднє шліфування	Шліфувальний круг

3.2 Вибір параметрів різальної частини інструментів

Враховуючи фізико-механічні характеристики матеріалу деталі, тип обробки та застосовані металорізальні верстати, для визначених типів металорізальних інструментів визначаємо матеріал різальної частини, геометричні параметри, а також матеріал державки (корпусу, хвостовика) інструменту, які виготовлені міжнародними виробниками. Всі дані відображені у таблиці 3.10.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.03.ВРДІ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	<i>Мітюров</i>				<i>Вибір ріжучих та допоміжних інструментів</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	<i>Нечаєв</i>							
Н. Контр.	<i>Нечаєв</i>					<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>		
Затверд.	<i>Рязанцев</i>							

1) Позиції: 1, 26, 6, 9, 12, 15 – Чорнове підрізання торця:



Рисунок 3.1 – Державка DCLNL2525X12JETI [1, с. 207]

Таблиця 3.2 – Геометричні параметри державки DCLNL2525X12JETI

Н, мм	В, мм	OAL, мм	LF, мм	WF, мм	HF
25	25	120	36	32,2	25

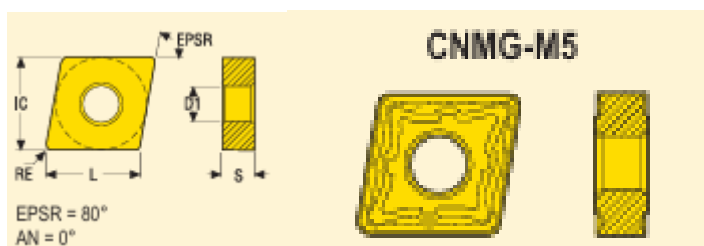


Рисунок 3.2 – Пластина CNMG120412-M5 [1, с. 428]

Таблиця 3.3 – Геометричні параметри пластини CNMG120412-M5

IC, мм	L, мм	S, мм	D1, мм	RE, мм	Матеріал
12,70	12,9	4,76	5,15	1,2	TP3501

2) Позиції: 1, 26, 6, 9, 12, 15 – Напівчистове підрізання торця:



Рисунок 3.3 – Державка DDJCL2525X11JETI [1, с. 208]

Таблиця 3.4 – Геометричні параметри державки DDJCL2525X11JETI

H, мм	B, мм	OAL, мм	LF, мм	WF, мм	HF
25	25	117	33	32,2	25

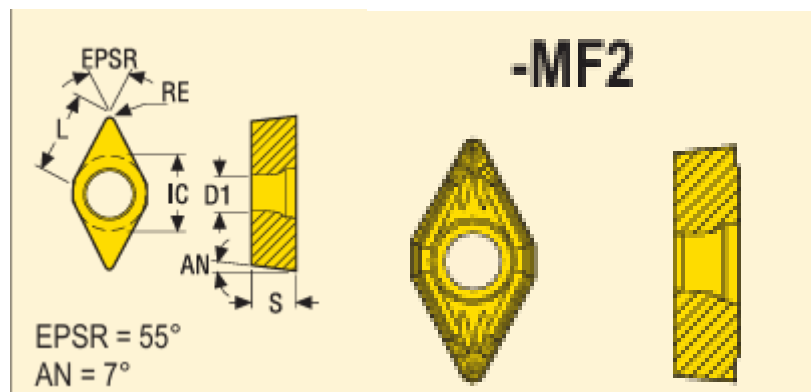


Рисунок 3.4 – Пластина DCMT11T308-MF2 [1, с. 433]

Таблиця 3.5 – Геометричні параметри пластини DCMT11T308-MF2

IC, мм	L, мм	S, мм	D1, мм	RE, мм	Матеріал
9,53	11,6	3,97	4,5	0,8	TP3501

3) Позиції: 3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24, 2, 10, 25, 19 – Чорнове точіння

Обираємо державку: DCLNL2525X12JETI (Рисунок 3.1, Таблиця 3.2)

Обираємо пластину: CNMG120412-M5 (Рисунок 3.2, Таблиця 3.3)

4) Позиції: 3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24, 2, 10, 25, 19 –

Напівчистове/Чистове точіння

Обираємо державку: DDJCL2525X11JETI (Рисунок 3.3, Таблиця 3.4)

Обираємо пластину: DCMT11T308-MF2 (Рисунок 3.4, Таблиця 3.5)

5) Позиції: 24 – Нарізання різьби

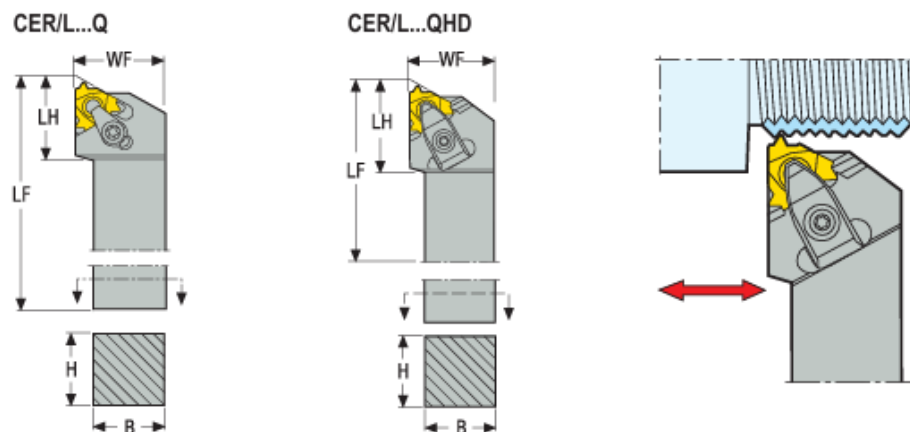


Рисунок 3.5 – Державка CEL2525M16QHD [2, с. 62]

Таблиця 3.6 – Геометричні параметри державки CEL2525M16QHD

Н, мм	В, мм	LF, мм	WF, мм	LH
25	25	150	32,0	32,0

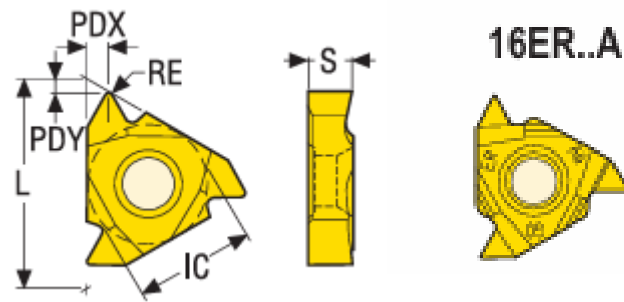


Рисунок 3.6 – Пластина 16ERAG60 [2, с. 127]

Таблиця 3.7 – Геометричні параметри пластини 16ERAG60

RE, мм	PDY, мм	PDX, мм	IC, мм	L, мм	S	Крок, мм	Матеріал
0,08	1,1	1,5	9,525	16,5	3,47	0,5-3,0	CP200

6) Позиції: 4, 17, 22 – Точіння канавки

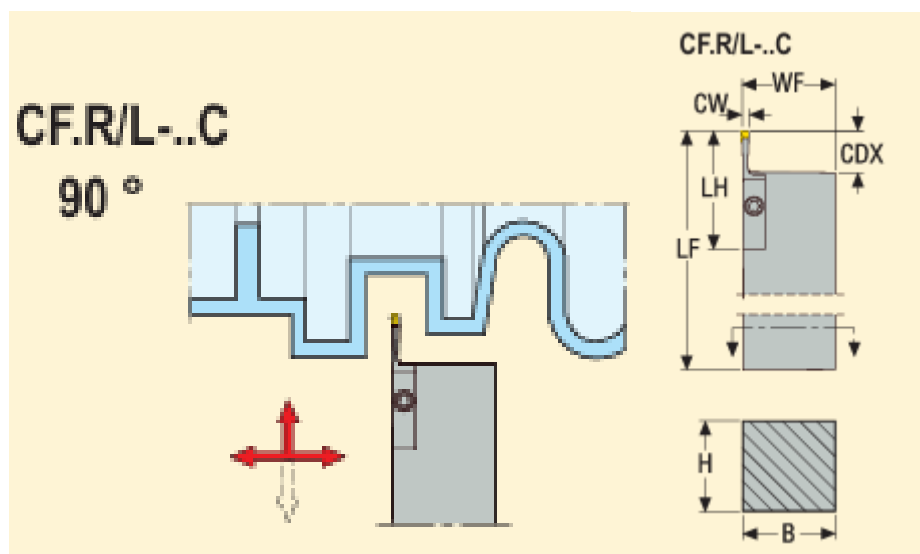


Рисунок 3.7 – Державка CFOL3244M-0317C [1, с. 719]

Таблиця 3.8 – Геометричні параметри державки CFOR3244M-0317C

H, мм	B, мм	LF, мм	WF, мм	LH, мм	CDX, мм
32	44	150	44,2	56,4	19,4

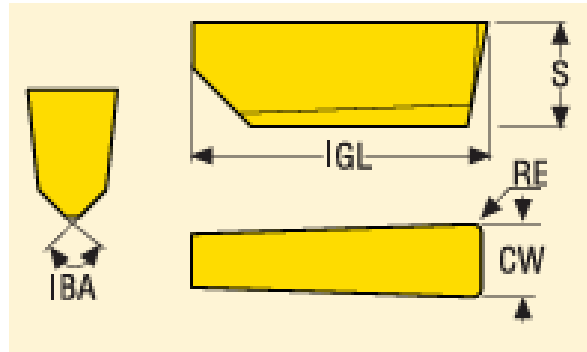


Рисунок 3.8 – Пластина LPGN120404-03175E [1, с. 729]

Таблиця 3.9 – Геометричні параметри пластини LPGN120404-03175E

CW, мм	IGL, мм	S, мм	RE, мм	Матеріал
3,175	12,70	4,50	0,4	CW100

7) Позиції: 27 – Фрезерування шпонкового пазу:

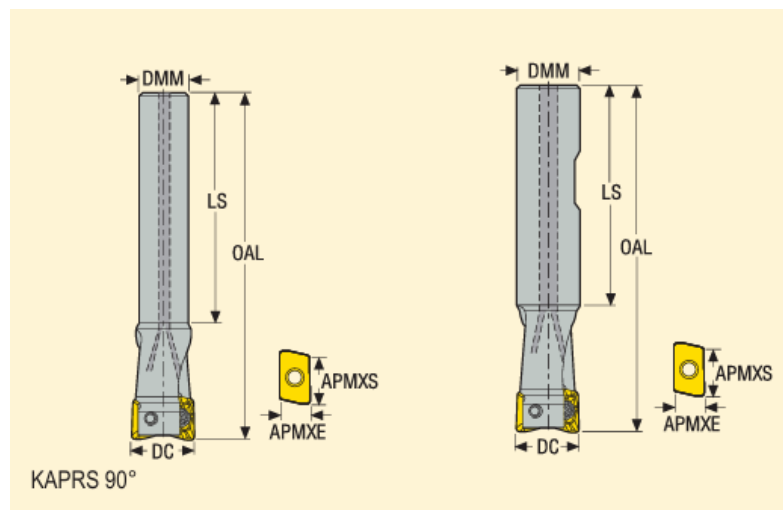


Рисунок 3.9 – Фреза R217.69-1618.0-06-4AN [3, с. 23]

Таблиця 3.10 – Геометричні параметри фрези R217.69-1618.0-06-4AN

APMHE, мм	APMXS, мм	DC, мм	DMM, мм	OAL, мм	LS, мм	Cmin	Cmax	z
3,0	5,0	18	16	180	160	30,5	35,0	4

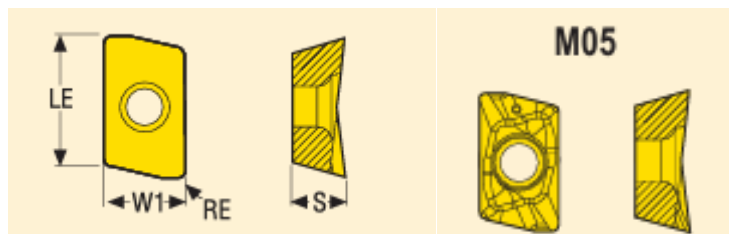


Рисунок 3.10 – Пластина ХОМХ060202R-M05 [3, с. 661]

Таблиця 3.11 – Геометричні параметри пластини ХОМХ060202R-M05

W1, мм	S, мм	LE, мм	BS, мм	RE, мм	Матеріал
4,1	2,45	5,5	1,1	0,2	MP3000

8) Позиції: 28 - Фрезерування зубів:

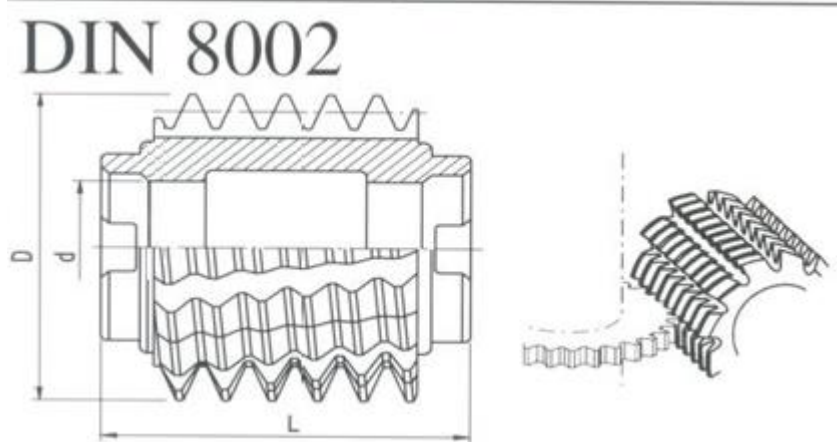


Рисунок 3.11 – Фреза DIN 8002 9431 5 [9, с. 13]

Таблиця 3.12 – Геометричні параметри фрези DIN 8002 9431 5

m	D, мм	L, мм	d, мм	Профіль	Клас точності
5	100	104	32	III	A

9) Позиції: 27, 28 – Шліфування

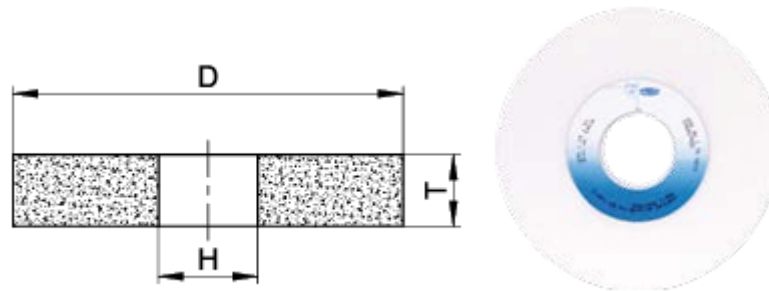


Рисунок 3.12 – Шліфувальний круг 1-225x25x51-89A-802-J8A-V217 [4, с. 28]

					КНУ.КБР.131.25.1-17.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.13 – Вибір параметрів різальної частини інструментів

№ Поверхні	Тип інструмента	Матеріал ріжучої частини інструменту	Матеріал державки (корпуса, хвостовика) інструмента	Геометричні параметри різальної частини інструмента
1	2	3	4	5
1, 26, 6, 9, 12, 15	Підрізний різець	Чорнова – TP3501	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$ $\alpha = 0$ $d = 12,70$ $l = 12,90$ $s = 4,76$ $h = 5,15$ $r = 1,2$
1, 26, 6, 9, 12, 15	Підрізний різець	Напівчистова – TP3501	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$ $\alpha = 7^\circ$ $d = 9,53$ $l = 11,6$ $s = 3,97$ $h = 4,5$ $r = 0,8$
24	Різьбовий різець	CP 200	Сталь 40	$\varepsilon = 60^\circ$ $\alpha = 6^\circ$ $d = 9,52$ $l = 11,6$ $s = 4,76$ $h = 3,81$ $r = 0,08$
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24, 2, 10, 25, 19	Прохідний різець	Чорнова – TP3501	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$ $\alpha = 0$ $d = 12,70$ $l = 12,90$ $s = 4,76$ $h = 5,15$ $r = 1,2$

Продовження таблиці 3.13

1	2	3	4	5
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24, 2, 10, 25, 19	Прохідний різець	Напівчистова/ Чистова – TP3501	Сталь 40	$\varepsilon = 80^\circ$ $\alpha = 7^\circ$ $d = 9,53$ $l = 11,6$ $s = 3,97$ $h = 4,5$ $r = 0,8$
4, 17, 22	Канавковий різець	Напівчистова – CW 100	Сталь 40	$\varepsilon = 90^\circ$ CW = 3,175 IGL = 12,70 $s = 4,50$ $r = 0,4$
27	Кінцева фреза	MP 3000	Сталь 40	$\lambda = 20,2^\circ$ W1 = 4,1 S = 2,45 LE = 5,5 BS = 1,1 RE = 0,2
28	Черв'ячна фреза	-	P6M5	-
27, 28	Шліфувальний круг	89А – електрокорунд білий	-	-

3.3 Розрахунок на міцність конструктивних параметрів різального інструменту

Для одного з обраних інструментів аналізуються найбільш навантажені умови експлуатації, а саме чорнова обробка. З урахуванням умов різання, включаючи фізико-механічні властивості матеріалу деталі, характеристики верстата та режими різання, визначаються сили різання. Обраний інструмент перевіряється на міцність у найбільш навантажених умовах обробки.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для розрахунків обираємо прохідний різець DCLNL2525X12JETI, оскільки він знімає найбільший припуск на механічну обробку та працює в найважчих умовах. Розміри різця становлять: висота перерізу державки $H = 25$ мм, ширина перерізу державки $B = 25$ мм, довжина $OAL = 120$ мм, $LF = 36$ мм, $WF = 32,2$ мм, $HF = 25$ мм. Матеріал різця - сталь 40 з межею міцності $\sigma = 650$ МПа і допустимою напругою $\sigma = 200$ МПа. Матеріал заготовки - сталь 45 з межею міцності $\sigma = 650$ МПа. Діаметр заготовки - 120 мм, припуск на обробку (на сторону) - 4 мм, подача $S = 0.4$ мм/об, виліт різця $l = 32$ мм.

3.3.1 Сила різання розраховується за формулою (3.1)

$$P_z = 9,81 C_{P_x} t^{X_{P_z}} S^{Y_{P_z}} K_{P_z} \quad (3.1)$$

де, $K_{P_z} = 1$ – сумарний поправочний коефіцієнт;

$X_{P_z} = 0,15$ – показник степені при глибині різання;

$Y_{P_z} = 0,45$ – показник степені при подачі.

$$P_z = 9,81 \cdot 350 \cdot 1^{0,15} \cdot 0,4^{0,45} \cdot 1 = 2273 \text{ Н}$$

3.3.2 Ширина та висота перетину державки, $h = 25$ мм, $b = 25$ мм.

3.3.3 Перевіряємо міцність і жорсткість державки різця:

а) максимальне навантаження, допустима міцність різця визначається за формулою (3.2)

$$P_{Z_{\text{дон}}} = \frac{bh^2 \sigma_{u.d.}}{6l} = \frac{25 \cdot 10^{-3} \cdot (25 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 200 \cdot 10^6}{6 \cdot 32 \cdot 10^{-3}} = 16276 \text{ Н} \quad (3.2)$$

б) максимальне навантаження, допустима жорсткість різця визначається за формулою (3.3)

$$P_{Z_{\text{жорс}}} = \frac{3f \cdot E \cdot j}{l^3} = \frac{3 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 3,255 \cdot 10^{-8}}{(32 \cdot 10^{-3})^3} = 59600 \text{ Н} \quad (3.3)$$

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

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

J – момент інерції прямокутного перетину державки визначається за формулою (3.4)

					КНУ.КБР.131.25.1-17.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$J = \frac{bh^3}{12} = \frac{25 \cdot 25^3}{12} = 32552 \text{ мм}^4 \quad (3.4)$$

Перевіркою різця на міцність і жорсткість є подвійна нерівність (3.5)

$$P_{z_{\text{доп}}} > P_z < P_{z_{\text{жорст}}} \quad (3.5)$$

$$16276 > 2273 < 59600$$

Умова виконана. Різець має достатню міцність і жорсткість.

3.4 Вибір типорозміру допоміжних інструментів

Інструментальне налагодження являє собою комплекс ріжучих та допоміжних інструментів, скомпонованих відповідно до конструкції деталі та змісту технологічної операції. Цей комплекс складається із основного ріжучого інструмента, набору допоміжних інструментів і посадкових поверхонь металорізального верстату (шпиндель). Під час проектування налагодження враховуються тип виробництва, точність, продуктивність та зручність обслуговування інструментального комплексу.

З урахуванням параметрів оброблюваної поверхні, способу базування деталі, типу верстату та основних розмірів обраного стандартного ріжучого інструмента, вибираємо допоміжний інструмент із зазначеними конструктивними параметрами.

Розробку інструментального налагодження здійснюємо для токарних, свердлильних та фрезерних операцій. Операції виконуються на верстатах 2В622Ф13, Ні-ТЕСН 550А, WMW MODUL ZFWZ 250-3 та VESTA 660. Інструментальний комплекс формується на основі даних таблиць 3.1 та 3.10 відповідно до технологічної операції. Ці дані занесено до таблиці 3.11.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.03.ВРДІ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.14 – Структура інструментального комплексу

№	Найменування операції	Верстат	Тип ріжучого інструменту	Допоміжний інструмент
1	2	3	4	5
1, 26	Чорнове підрізання торця	2B622Ф13	Різець DCLNL2525X12JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
1, 26	Напівчистове підрізання торця		Різець DDJCL2525X11JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
6, 9, 12, 15	Чорнове підрізання торця	Hi-TECH 550A	Різець DCLNL2525X12JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
6, 9, 12, 15	Напівчистове підрізання торця	Hi-TECH 550A	Різець DDJCL2525X11JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24	Чорнове точіння	Hi-TECH 550A	Різець DCLNL2525X12JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
3, 5, 8, 13, 16, 7, 11, 14, 18, 20, 21, 23, 24	Напівчистове точіння	Hi-TECH 550A	Різець DDJCL2525X11JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
3	Чистове точіння	Hi-TECH 550A	Різець DDJCL2525X11JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
2, 10, 25, 19	Точіння фаски	Hi-TECH 550A	Різець DDJCL2525X11JETI	ASHA-L-VDI40-25-JETI
4, 17, 22	Точіння канавки	Hi-TECH 550A	Різець CFOL3244M-0317C	B2-50x32x55
24	Нарізання різьби	Hi-TECH 550A	Різець CEL2525M16QHD	ASHA-L-VDI40-25-JETI

Продовження таблиці 3.14

1	2	3	4	5
27	Фрезерування	VESTA 660	Кінцева фреза R217.69-1618.0-06- 4AN	E3414 5800 1685
28	Фрезерування	WMW MODUL ZFWZ 250-3	Черв'ячна фреза DIN 8002 9431 5	ISO50A-32- 315

3.5 Компоновка інструментального комплексу та розробка інструментального налагодження на технологічну операцію деталі

- 1) Для різців DCLNL2525X12JETI, DDJCL2525X11JETI та CFOL3244M-0317C використовуємо різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI:

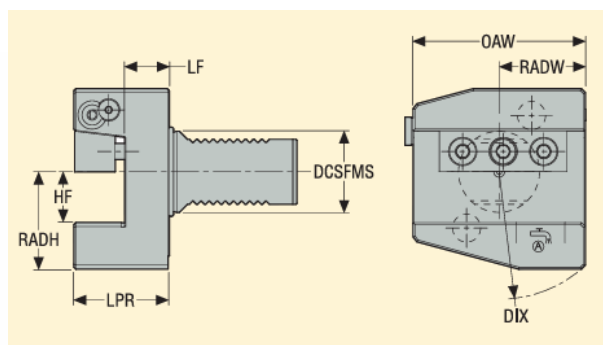


Рисунок 3.13 – Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI [1, с. 407]

Таблиця 3.15 – Параметри різцетримача ASHA-L-VDI40-25-JETI

DCSFMS	DIX	RADW	OAW	RADH	HF	LF	LPR	m, кг
40	128	43	85	48	25	22	47	2,6

- 2) Для різця CFOL3244M-0317C використовуємо різцетримач В2-50х32х55:

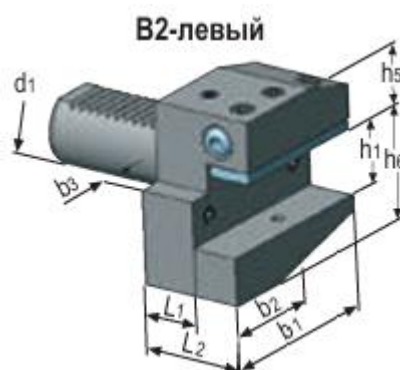


Рисунок 3.14 – Різцетримач В1-50х32х55 [5, Е-80]

Таблиця 3.16 – Параметри різцетримача С6-ASHA-50071-32М

d_1	h_1	L_2	L_1	b_1	b_2	b_3	h_5	h_6
50	32	55	30	100	50	16	35	60

- 3) Для фрези R217.69-1618.0-06-4AN використовуємо термopatрон E3414 5800 1685:

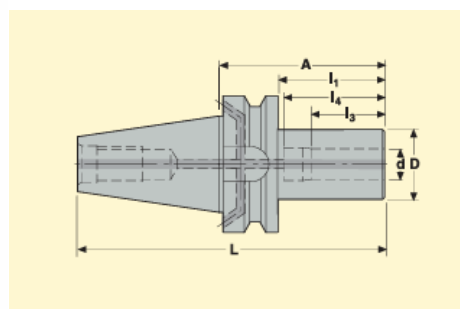


Рисунок 3.15 – Термопатрон E3414 5800 1685 [6, 136]

Таблиця 3.17 – Параметри термопатрона E3414 5800 1685

d	A	D	L	l_1	l_3	l_4	m , кг
16	85	36	150,4	58	38	52	1,40

- 4) Для фрези DIN 8002 9431 5 використовуємо оправлення горизонтальне для черв'ячних фрез ISO50A-32-315:



Рисунок 3.16 – Оправлення горизонтальне для черв'ячних фрез ISO50A-32-315

Таблиця 3.18 – Параметри оправлення горизонтального для черв'ячних фрез ISO50A-32-315

d	D	L ₁
32	56	315

4 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ІНЖЕНЕРНИЙ АНАЛІЗ РІЗАЛЬНОГО ІНСТРУМЕНТУ

4.1 Розрахунок та проектування спеціального різального інструменту

Під час вибору типу фасонного різця враховуються особливості форми деталі, розташування фасонної поверхні, точність розмірів, стан технологічної системи

Призматичний, радіальний, з базовою точкою, прямою базою кріплення фасонний різець застосовується для обробки зовнішніх фасонних поверхонь підвищеної точності, жорсткості та надійності кріплення.

Призматичний, радіальний, з базовою лінією, прямою базою кріплення фасонний різець кріплення фасонний різець застосовується для обробки точних зовнішніх конусів.

Круглий, радіальний, з базовою точкою, прямою базою кріплення, кільцевою утворюючою фасонний різець застосовують для оброблення фасонних торців, внутрішніх і зовнішніх фасонних поверхонь. [8, с. 5]

Таблиця 4.1 – Вихідні дані до розрахунку

Матеріал заготовки	Сталь 45
Твердість	131 – 179 НВ
Стан поверхні	після механічної обробки
Діаметр заготовки	75 мм
Оброблювані поверхні	2, 3, 4, 5, 6 (Див. Додаток А)
Шорсткість поверхні	Ra 12,5

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.	Мітюров				Проектування та інженерний аналіз різального інструменту			Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	Нечаєв									
								Каф.ТМ гр. ПМ-21		
Н. Контр.	Нечаєв									
Затверд.	Рязанцев									

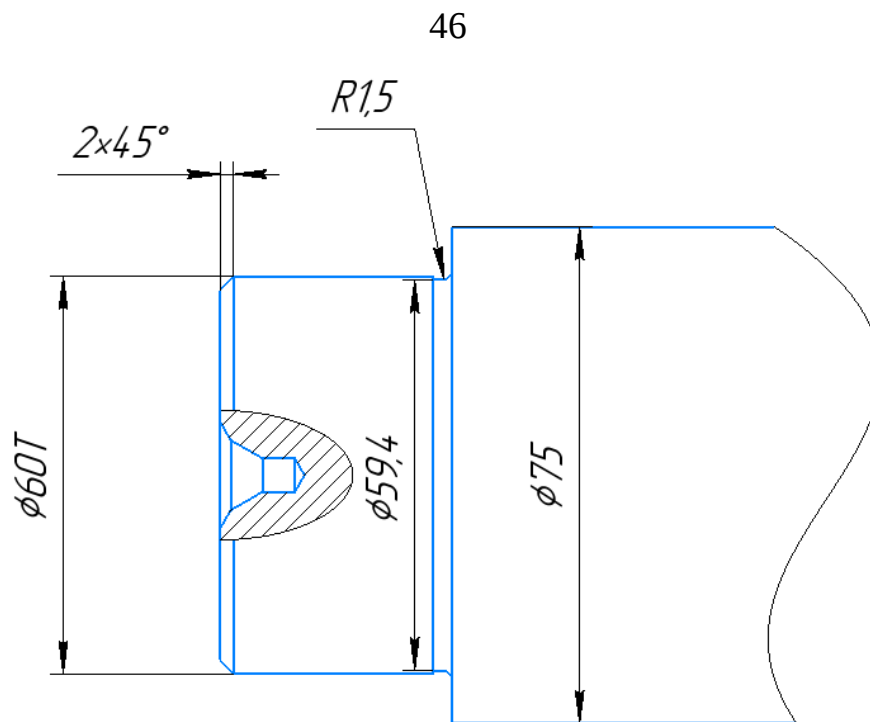


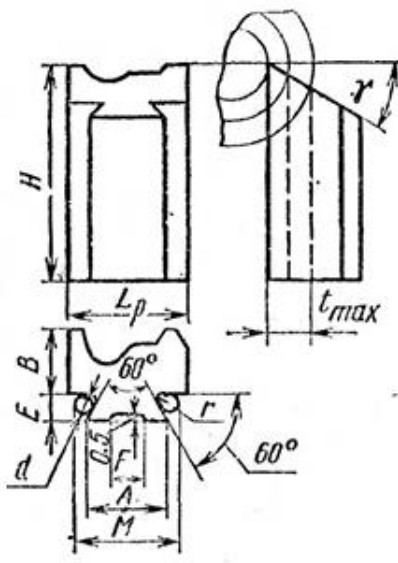
Рисунок 4.1 – Креслення оброблюваних поверхонь

Порядок розрахунку:

- 1) Обираємо тип фасонного різця – призматичний. Згідно Таблиць 44, 47 Збірника задач Нефьодова Н. обираємо основні розміри різця, враховуючи максимальну глибину різання 9,5 мм та матеріал заготовки Сталь 45. [8, с. 133]

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2 – Розміри, мм, фасонних призматичних різців

								
Глибина профіля заготовки t_{max} , мм, не більше	B	H	E	A	F	r	d	M (h9)
10	19	90	10	25	15	1	6	34,46

Таблиця 4.3 – Геометричні елементи леза робочої частини призматичного різця

Матеріал заготовки	σ_B		Передній кут γ , °	Задній кут α , °
	МПа	кгс/мм ²		
Сталь 150-235 НВ	500-800	50-80	20-25	8-15

Приймаємо: передній кут - 20°, задній кут - 10°

Обираємо графічний метод розрахунку профіля фасонного різця.

2) Будуємо профіль заготовки, для чого проводимо вісь ОО, від якої відкладаємо відповідні розміри профілю заготовки, і будуємо в лівому нижньому кутку креслення повний профіль заготовки.

3) Проектуємо отримані точки 1, 2, 3, 4, 5 і 6 профілю заготовки на горизонтальну вісь, що проходить через центр заготовки О (точки 1'-2', 3'-4', 5'-6'), через які проводимо відповідні кола, що дорівнюють, рівні r_{1-2} , r_{3-4} , r_{5-6} .

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 4) З точки 1' (A_1) проводимо лінію передньої поверхні леза різця під кутом γ і лінію задньої поверхні під кутом α .
- 5) Позначаємо точки перетину відповідних кіл різців r_{1-2} , r_{3-4} , r_{5-6} з лінією передньої поверхні A_{1-2} , A_{3-4} , A_{5-6} .
- 6) Із цих точок проводимо лінії, паралельні задній поверхні різця.
- 7) Будуємо профіль різця в нормальному перерізі, тобто в перерізі, перпендикулярному до його задньої поверхні (переріз AA): проводимо лінію MM; відкладаємо від цієї лінії осьові розміри l_1 , l_2 , l_3 , l_4 , l_5 та l_6 , що відповідають осьовим розмірам оброблюваної заготовки; відкладаємо на горизонтальних лініях, паралельних лінії MM, відрізки, що дорівнюють відстаням між лініями, паралельними до задньої поверхні різця, знаходимо точки 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'' і, з'єднуючи їх прямими, отримуємо профіль різця в нормальному перерізі.
- 8) Виконуємо робоче креслення фасонного призматичного різця.

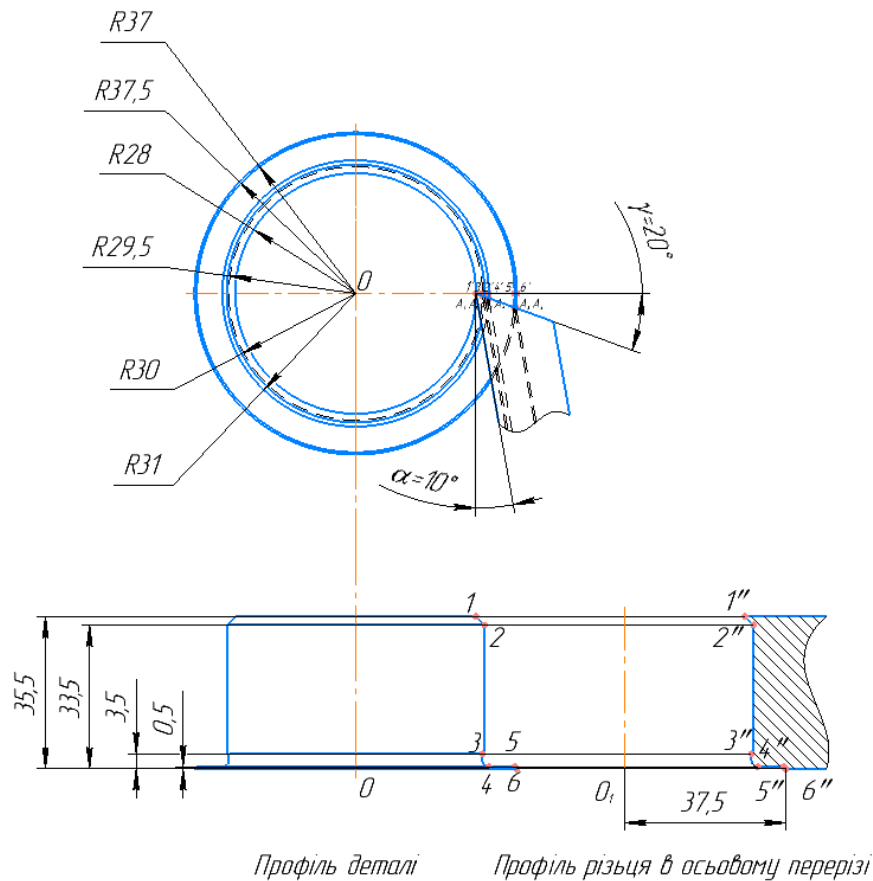


Рисунок 4.2 – Побудова профіля різця

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

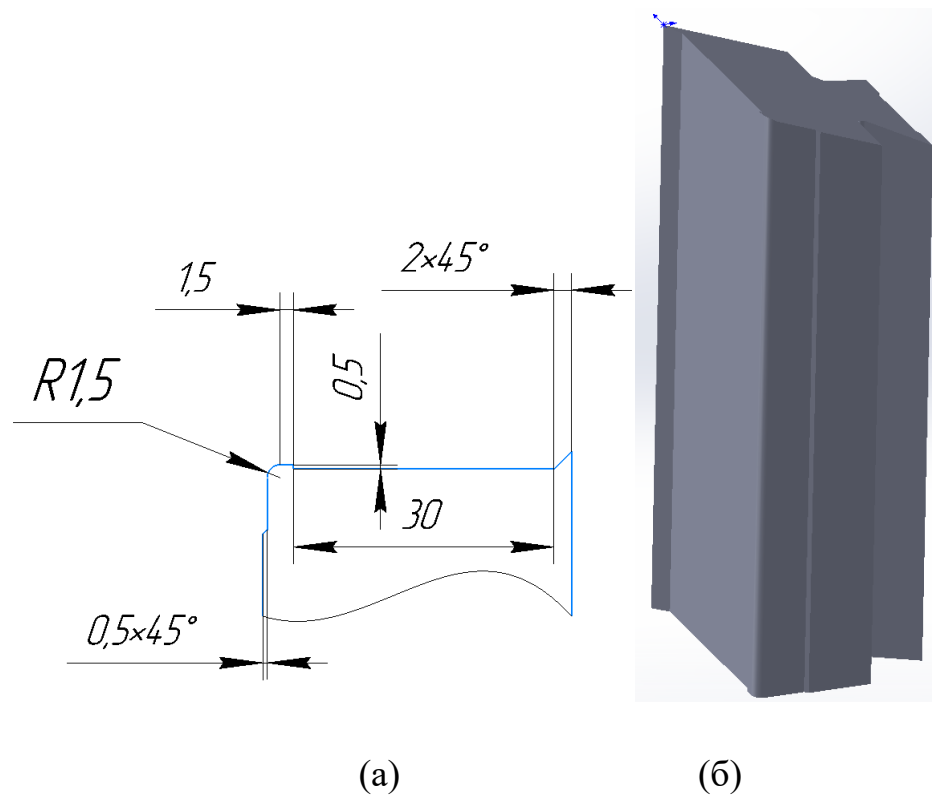


Рисунок 4.3 – Скорегований профіль (а) та загальний вид різця (б)

4.2 Інженерний аналіз спеціального різального інструменту

Міцнісний аналіз розрахованого призматичного фасонного різця виконано в програмному середовищі SolidWorks Simulation.

На модель було накладено відповідні фіксації та прикладено сили, що впливають на різець. Значення прикладеної сили різання становить 1434 Н.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

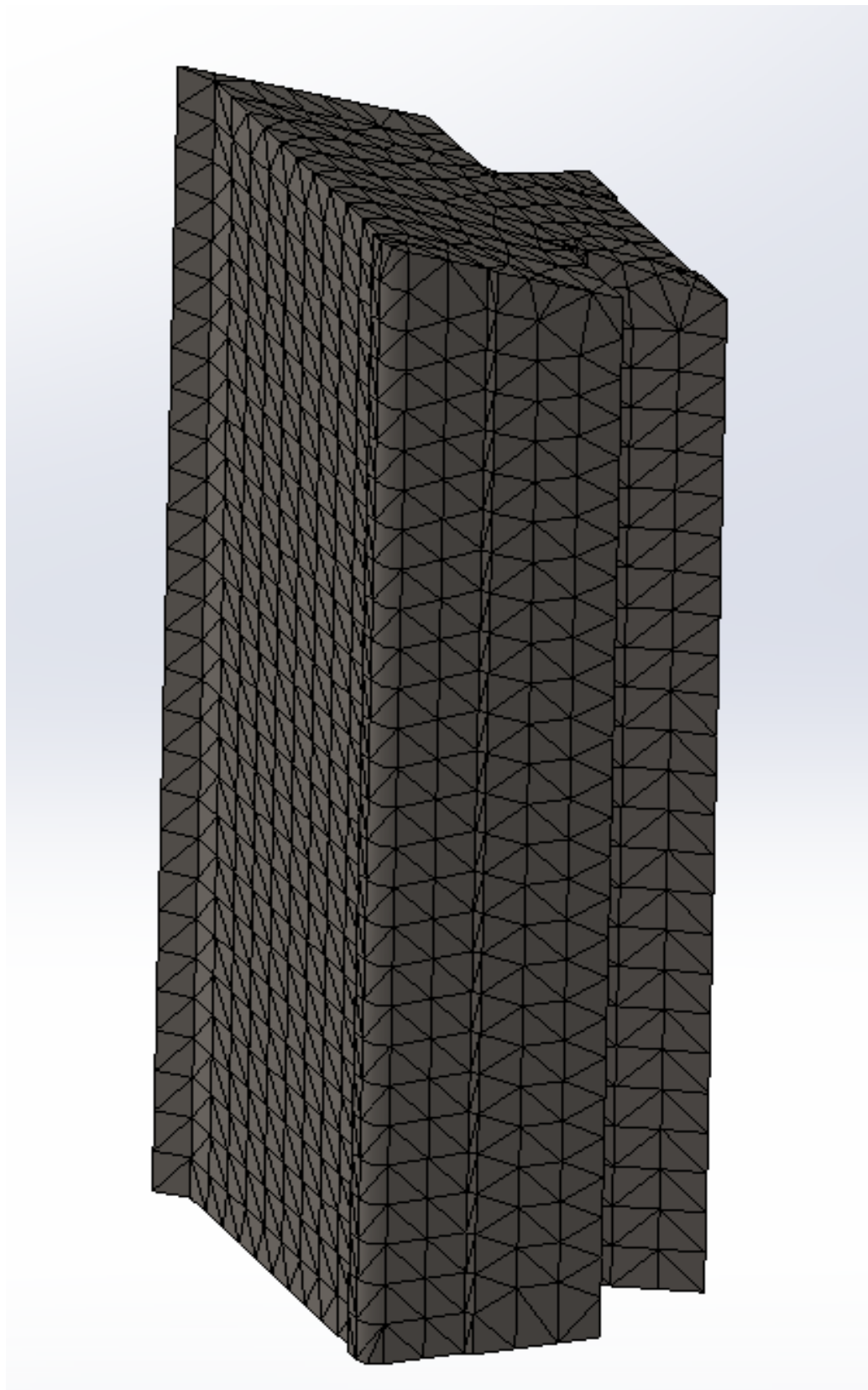


Рисунок 4.4 – Сітка кінцевих елементів моделі

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

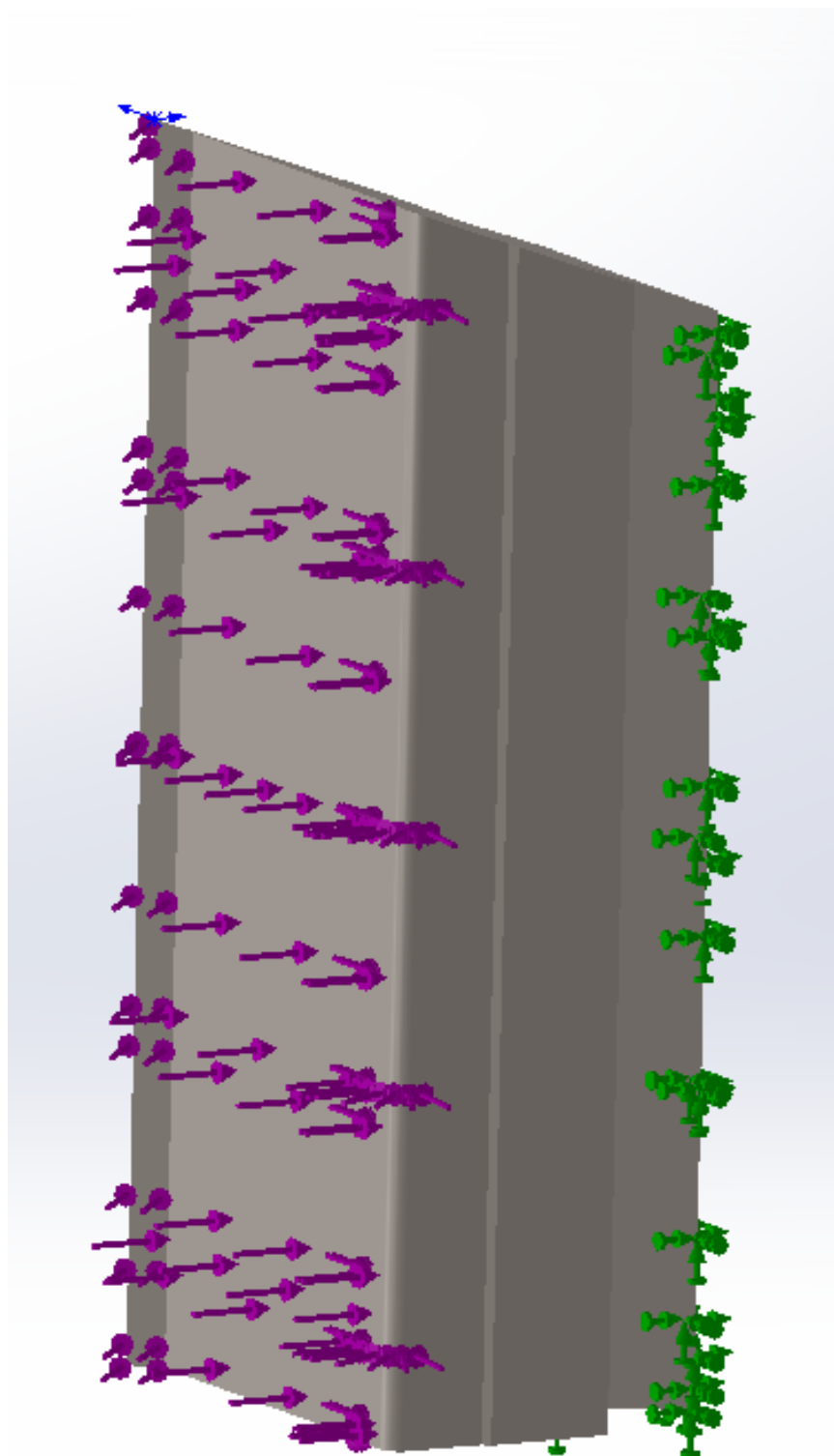


Рисунок 4.5 – Прикладені сили та фіксація деталі

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

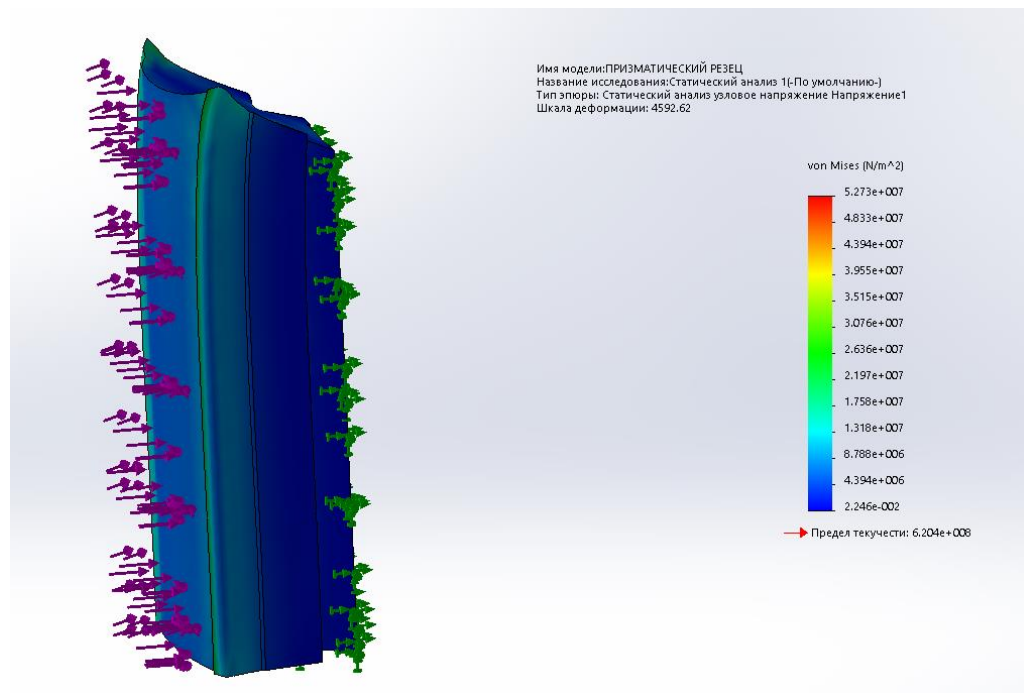


Рисунок 4.6 – Епюра напруження

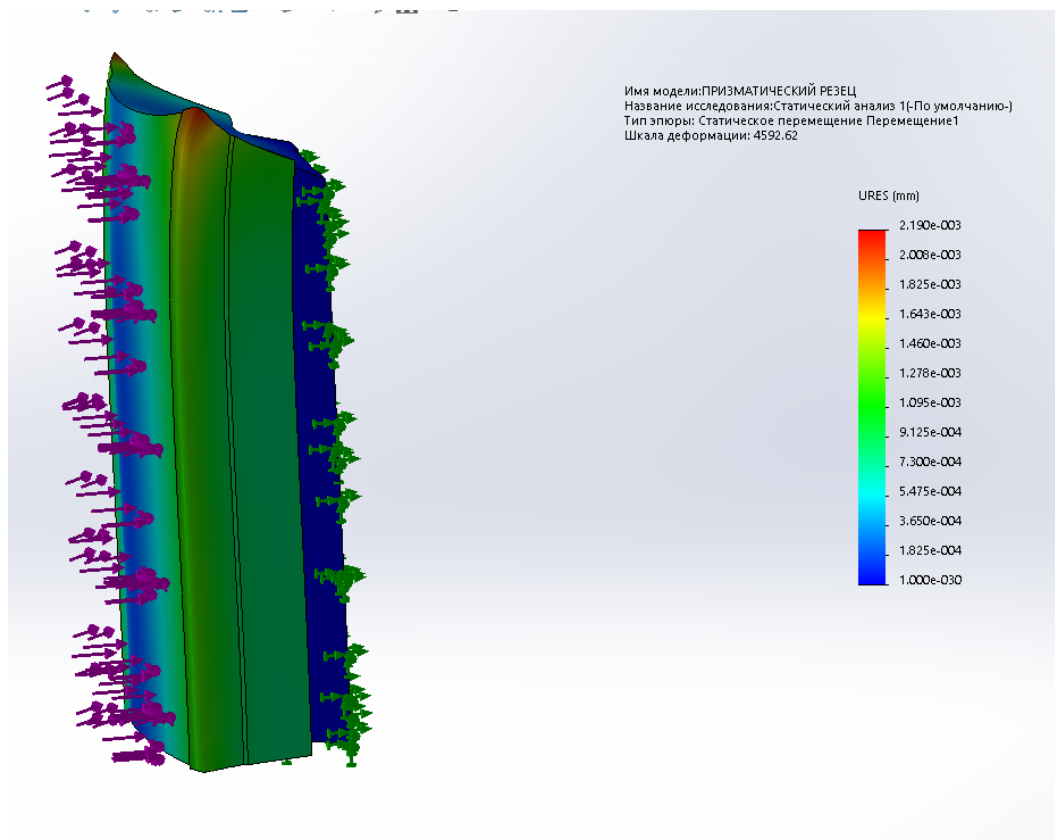


Рисунок 4.7 – Епюра переміщення

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

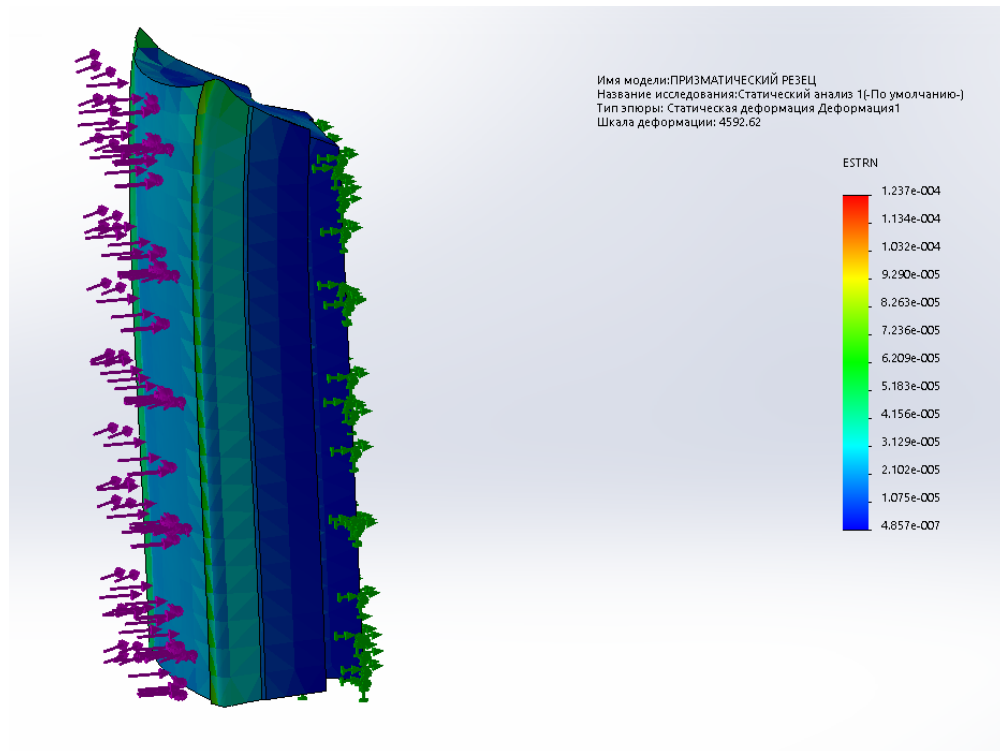


Рисунок 4.8 – Епюра деформації

На основі аналізу, проведеного в SolidWorks Simulation для призматичного різця, можна зробити такі висновки:

Предел текучести: 620,4 МПа

Предел прочности при растяжении: 723,8 МПа

Модуль упругости: 210 ГПа

Максимальне переміщення: 0,00219 мм. Дуже мале значення, що свідчить про високу жорсткість

Призматичний різець під дією прикладеної нормальної сили в 1434 Н демонструє стійку і безпечну роботу без ознак виходу за межі міцності або надмірних деформацій. Його можна рекомендувати для практичного застосування при подібних навантаженнях.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.04.ПІАР	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ ОПЕРАЦІЙ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ

5.1 Робота з проміжними файлами, вибір системи ЧПК, постпроцесора

Для моделювання та програмування процесу механічної обробки було обрано токарну операцію з виготовлення ступінчастого вала. Даний вид обробки включає в себе підрізання торців, точіння і нарізування різьби.

Для першого установу робимо базування по правому торцю.

Кріплення вала відбувається за допомогою цангового патрона і циліндричної оправки

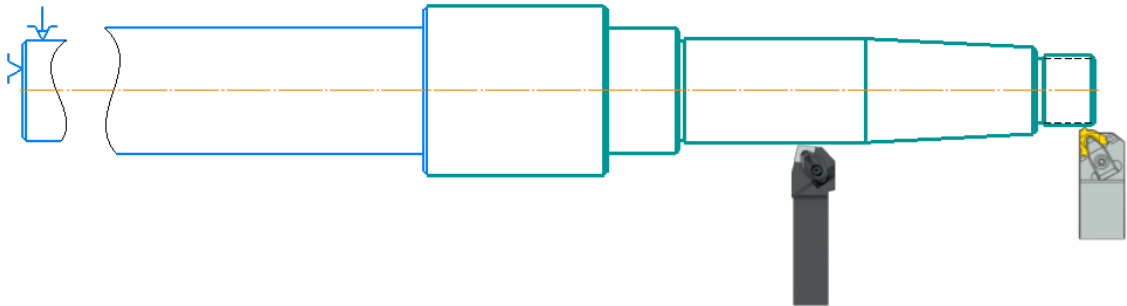


Рисунок 5.1 – Технологічна схема базування першого установу

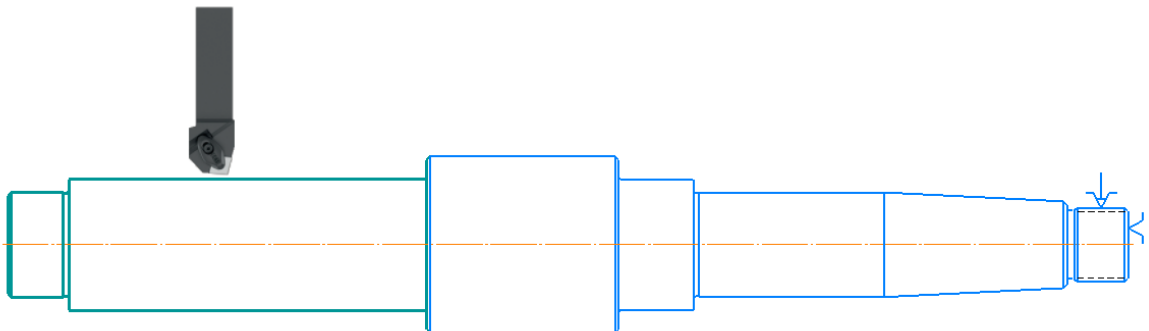


Рисунок 5.2 – Технологічна схема базування другого установу

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	<i>Мітюров</i>				<i>Моделювання та програмування операцій механічної обробки</i>	Літ.	Арк.
Перевір.	<i>Нечаєв</i>						
Н. Контр.	<i>Нечаєв</i>					<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>	
Затверд.	<i>Рязанцев</i>						

Переваги використання цангового патрона:

- Висока точність центрування. Забезпечує співвісність, що важливо для точної механічної обробки.
 - Надійна фіксація. Деталь затискається рівномірно по всьому колу.
 - Швидка заміна інструменту. Зручно при серійному виробництві.
- Компактність. Зазвичай менші габарити, що корисно при обмеженому робочому просторі.

Недоліки:

- Обмежений діапазон діаметрів. Цанга підходить лише для конкретного розміру або з незначним відхиленням.
- Крихкість. При надмірному навантаженні може деформуватись.
- Ціна. Високоточні цангові патрони коштують дорожче.

Переваги використання циліндричної оправки:

- Простота конструкції. Часто дешевша та легша в обслуговуванні.
- Універсальність. Підходить для різних типів деталей, особливо з фіксуючим гвинтом або шпонкою.
- Надійність при важкій обробці. Добре витримує великі навантаження та крутний момент.

Недоліки:

- Низька точність центрування. Можливе биття при неточній установці.
- Повільне встановлення/зняття. Потребує більше часу на монтаж.
- Менша жорсткість для дрібних деталей. Можливі вібрації.

5.2 Розробка керуючої програми

Обробку та перевірку керуючої програми було змодельовано за допомогою програмного забезпечення Autodesk Feature CAM 2024.

1) Створення елемента «Торець». Задаємо положення торця відносно нульової точки деталі. Вказуємо зовнішній та внутрішній діаметри заготовки (Рисунок 5.3). Налаштовуємо стратегію та параметри обробки підрізання торця.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

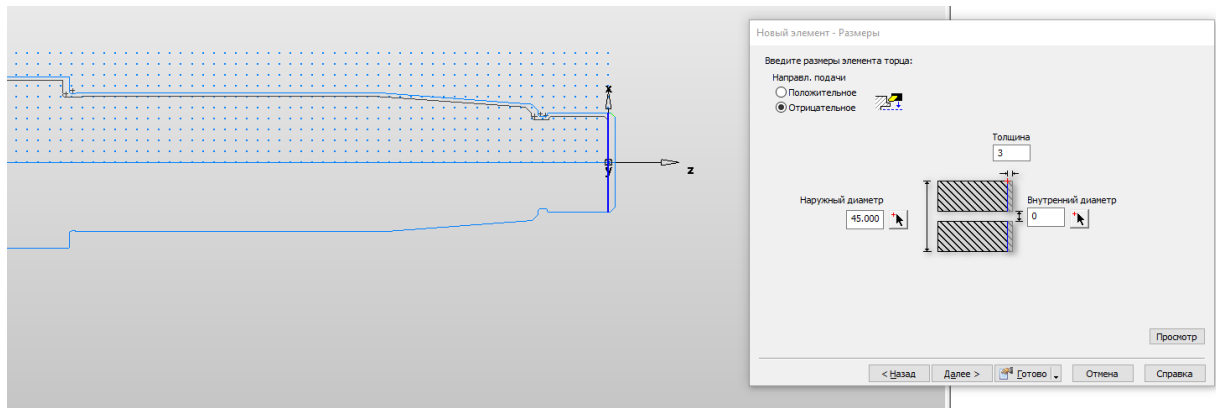


Рисунок 5.3 – Створення операції підрізання торця

2) Додаємо елемент «Точіння». Заздалегідь була створена крива, яка відповідає зовнішньому обточуванню заготовки (Рисунок 5.4).

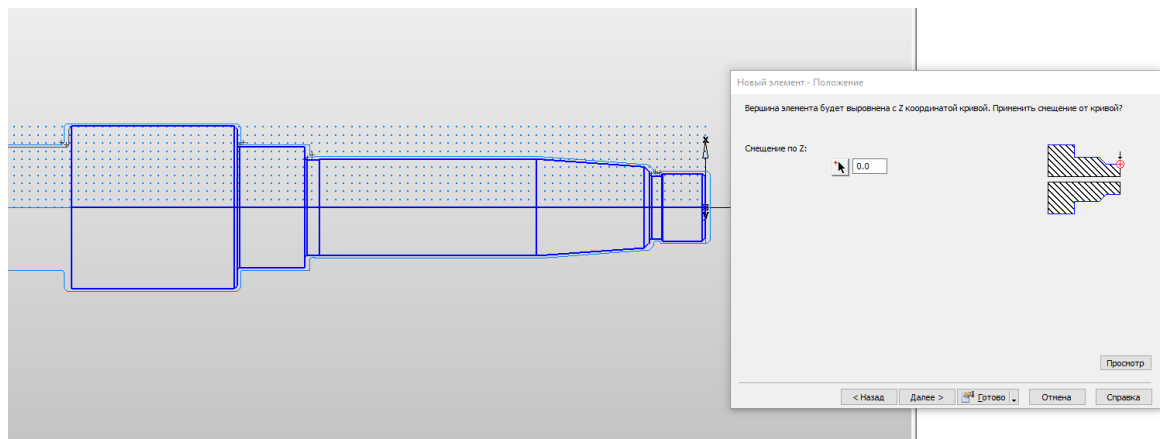


Рисунок 5.4 – Створення операції точіння

3) Додаємо елемент «Різьба». Вибираємо тип зовнішній діаметр (Рисунок 5.5), встановлюємо розміри згідно з кресленням М42х2 (Рисунок 5.6).

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

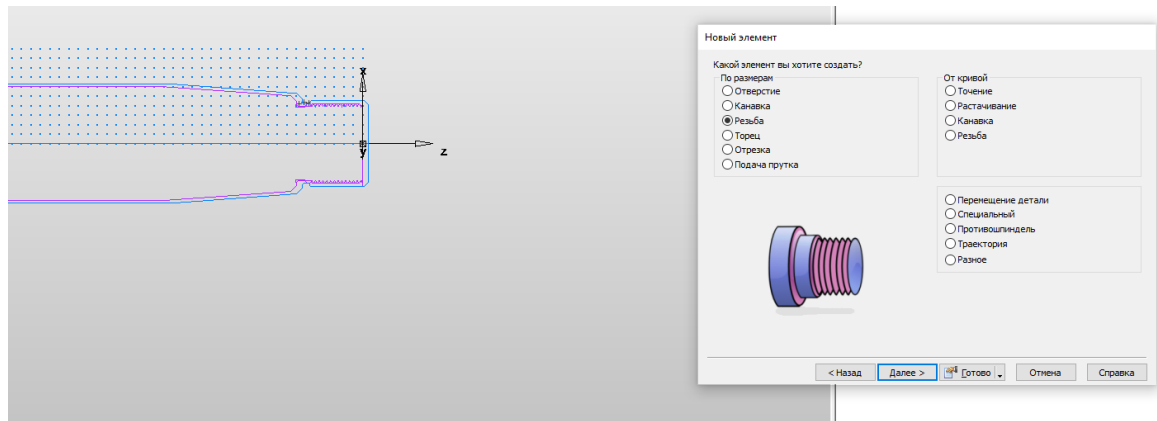


Рисунок 5.5 – Створення операції «Різьба»

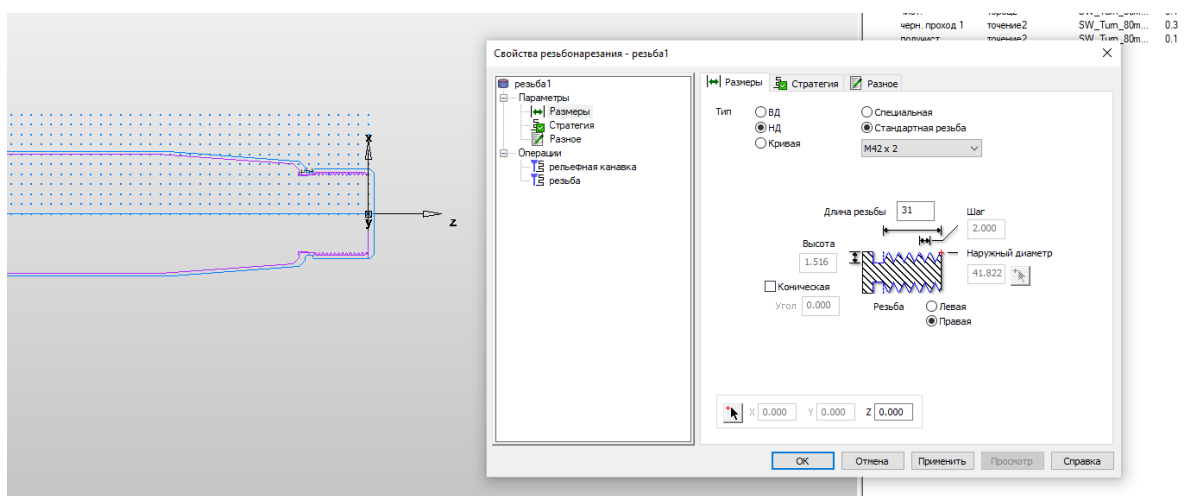


Рисунок 5.6 – Розміри різьби

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

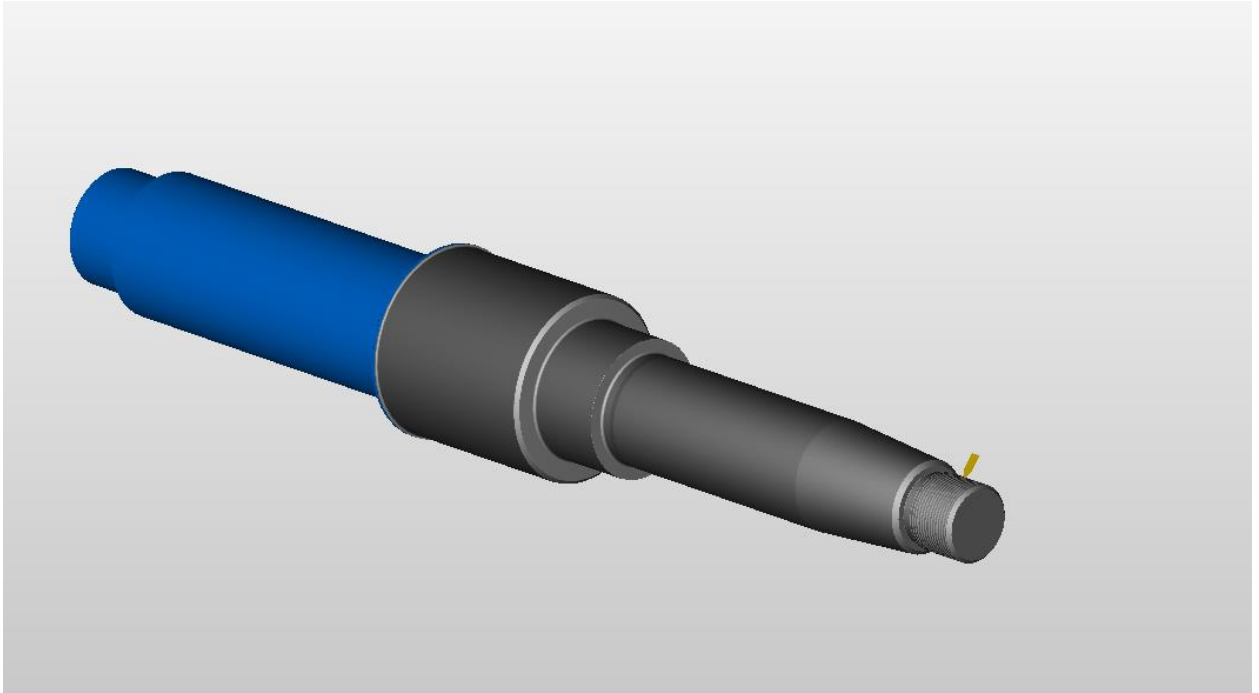


Рисунок 5.7 – Результат обробки на першому установі

4) Створюємо новий установ з базуванням по лівому торцю заготовки, далі створюємо операцію підрізання торця (Рисунок 5.8).

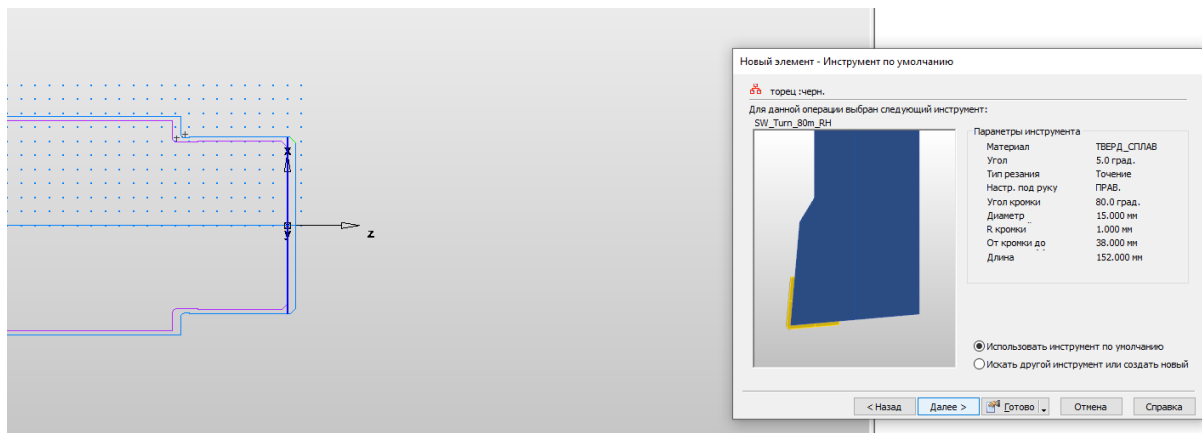


Рисунок 5.8 – Створення операції підрізання торця на новому установі

5) Створюємо операцію точіння (Рисунок 5.9)

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

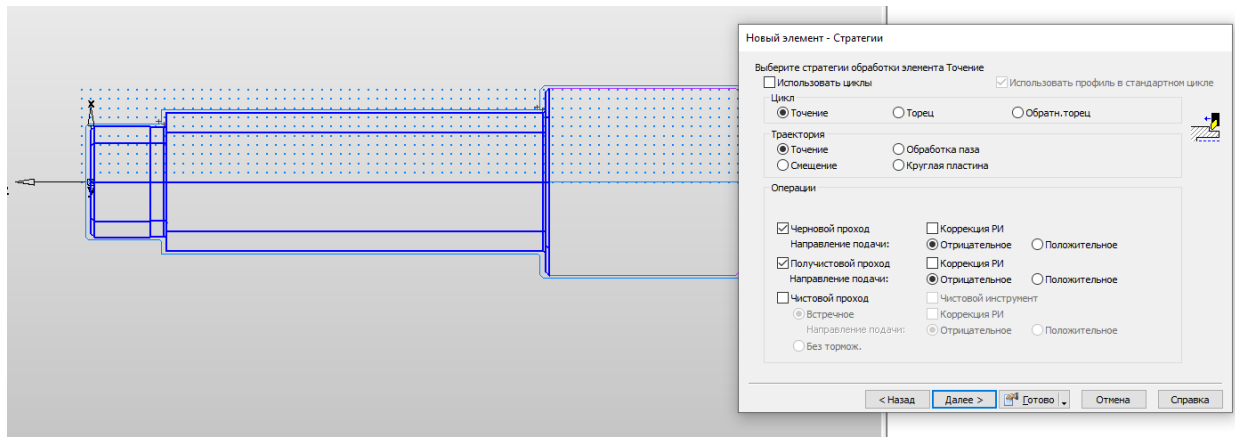


Рисунок 5.9 – Створення операції точіння

Траєкторію руху інструмента показано на Рисунку 5.9

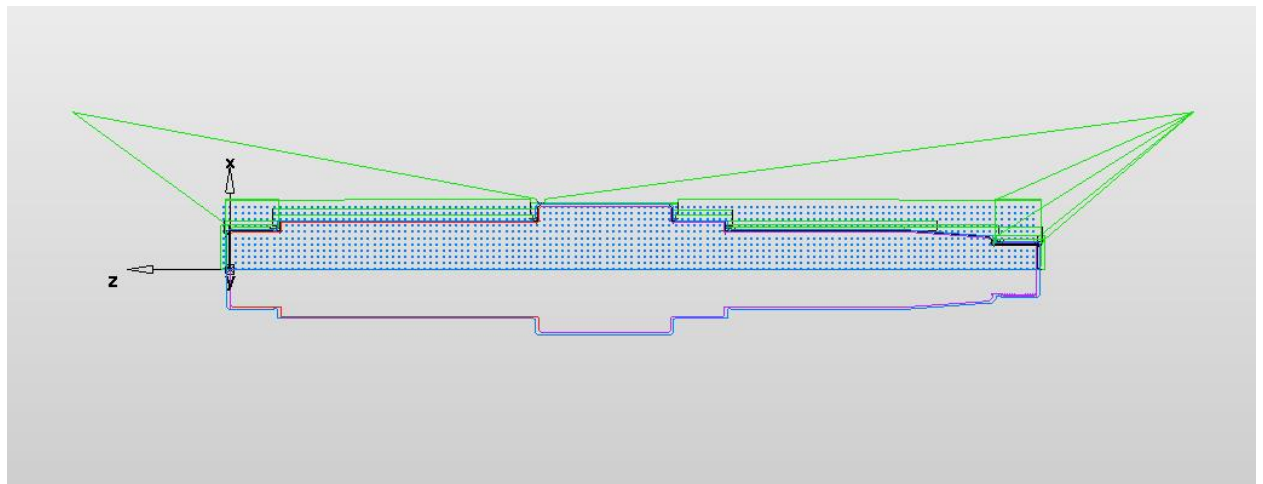


Рисунок 5.10 – Траєкторія руху інструмента

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

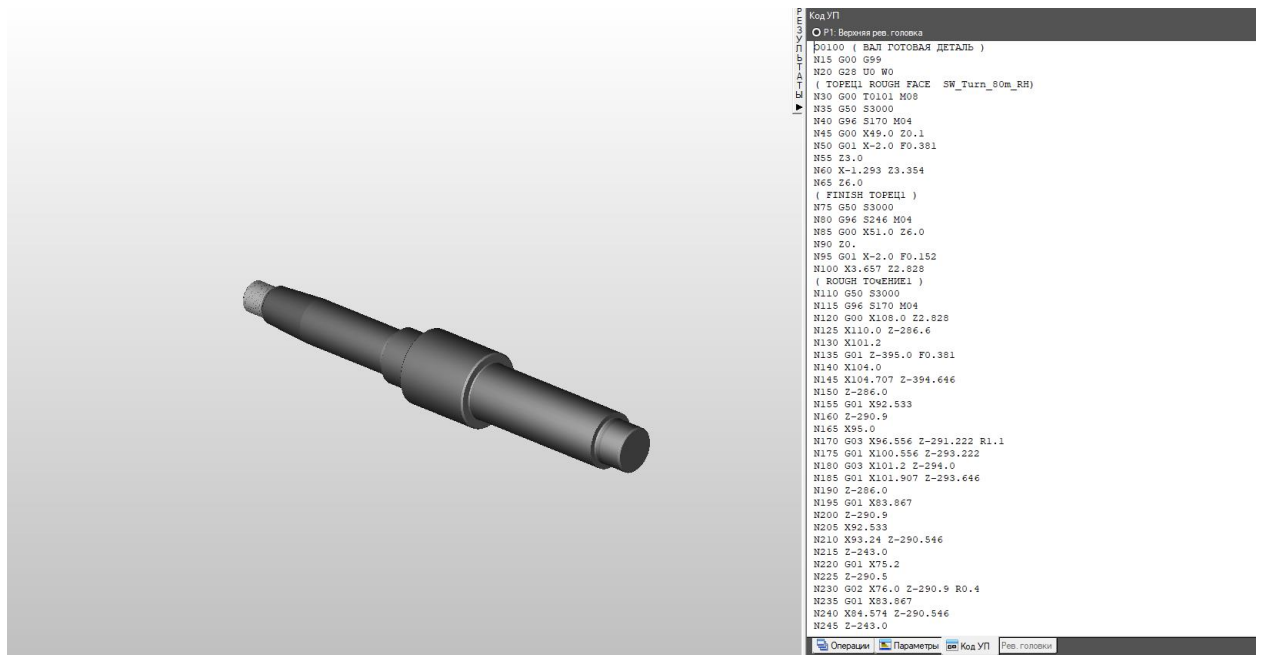


Рисунок 5.11 – Результат обработки та керуюча програма

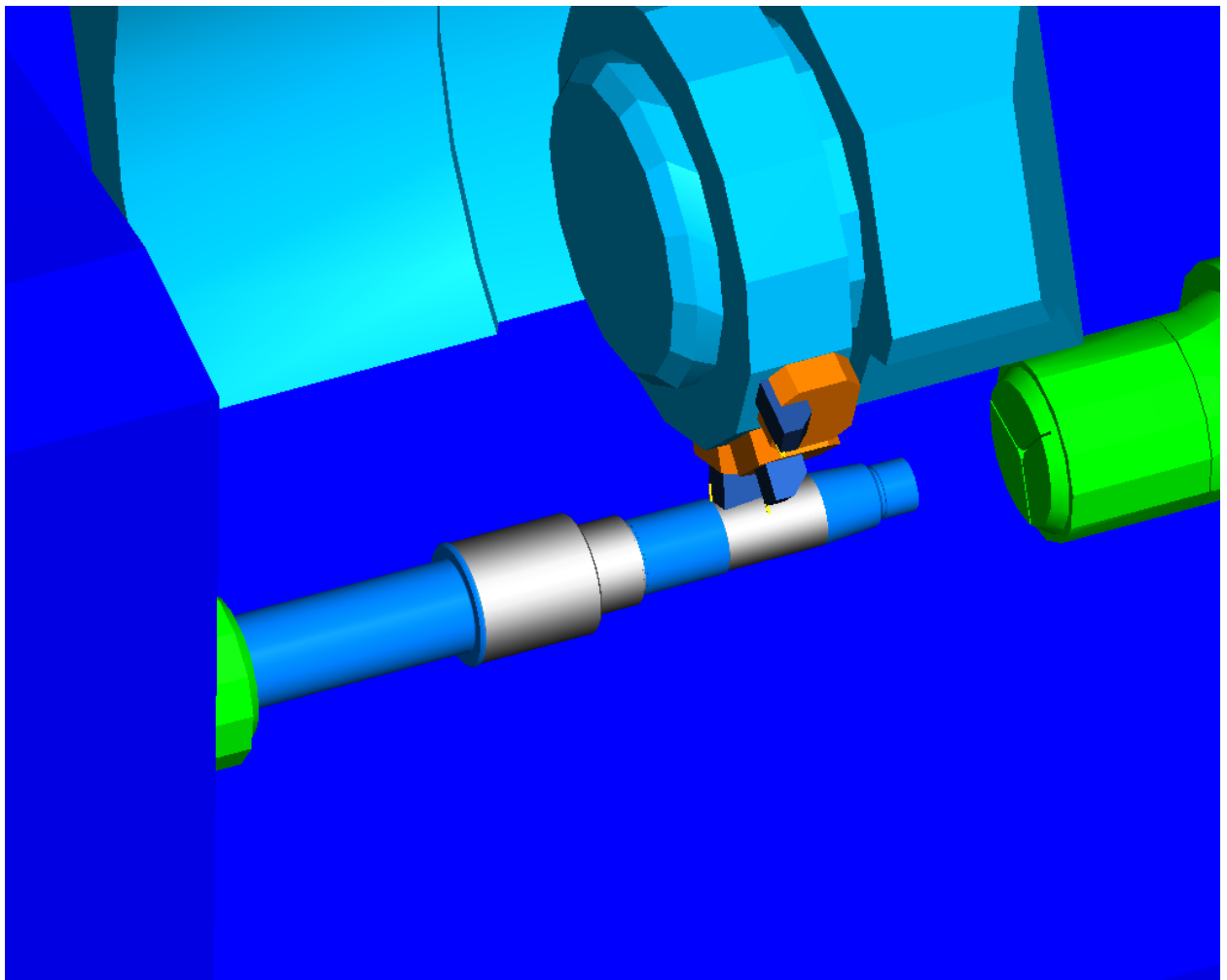


Рисунок 5.12 – Симуляція верстата

					КНУ.КБР.131.25.1-17.05.МПОМ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА

6.1 Розрахунки ключових техніко-економічних показників

Аналізується результативність використання токарного верстата з числовим програмним керуванням. Замість традиційних верстатів без ЧПК було застосовано верстат моделі Ні-TECH 550A з програмним управлінням.

Таблиця 6.1 – Вихідні дані до розрахунку

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2620	1A64	6P12П	2M60	Ні-TECH 550A
Деталі					
Річний обсяг випуску деталей N_d шт.	1500				
Кількість запусків партій деталей в рік, шт	12				12
Тривалість випуску деталей Z , років	3				3
Штучний час обробки деталі $t_{шт}$, хв.	10	13	17	12	15
Час наладки верстата, хв.	15	10	11	13	20
Вартість заготовки $S_{заг}$, грн.	500				500
Вартість комплексу спеціальних пристосувань $K_{пр}$, грн	33000	43500	23200	20600	90400
Оптова ціна на прокат одного УСП, грн	0	0	0	0	0
Середній час налагодження за прибором одного інструменту поза верстатом, хв.	1	1,3	1,6	1,5	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 розробки ПК $K_{пр}$, грн.	0	0	0	0	1700

Продовження таблиці 6.1

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2620	1A64	6P12П	2M60	Hi-TECH 550A
Працівники					
Середньочасова заробітня плата, грн					
верстатника $H_{ст}$	43,6	42,3	42,3	45,3	50,6
наладчика $H_{нал}$	43,6	43,2	43,2	45,8	48,3
наладчика інструмента $H_{ін}$	40	48,3	43	46	48,3
контролера H_k	40,3				40,3
Верстати					
Клас точності верстата	Н	Н	Н	Н	А
Маса верстата, т	30	30	30	30	9,5
Категорія складності ремонту верстата ЕРС:					
механічної частини R_m	18,6	27,7	15	15,6	22,42
електротехнічної частини R_e	13,4	14	9,8	9,2	17,2
Кількість верстатів, що обслуговує один робочий d , шт	1	1	1	1	2
Оптова ціна верстата Π , грн.	310000	255000	290000	300000	2100000
Коефіцієнт завантаження верстата η_z	0,75	0,75	0,78	0,75	0,95
Площа верстата за габаритами A , м. кв.	25,0	25,0	25,0	25	11,0

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КНУ.КБР.131.25.1-17.06.0ЕПВ		
Розроб.	Мітюров						
Перевір.	Нечаєв				Організаційно-економічна підготовка виробництва		
Н. Контр.	Нечаєв						
Затверд.	Рязанцев				Літ. Арк. Акруші		
					Каф.ТМ гр. ПМ-21		

Продовження таблиці 6.1

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2620	1A64	6P12П	2M60	Hi-TECH 550A
Площа пристрою ЧПК $A_{\text{ч}}$, м. кв.	0	0	0	0	0,25
Витрати на одну одиницю ЕРС верстата, грн.					
механічної частини $H_{\text{м}}$	401	401	401	401	302
електротехнічної частини $H_{\text{е}}$	86	86	86	86	60
Норматив річних витрат на поточне обслуговування та ремонт ПЧПК Q , грн.	0	0	0	0	2300
Коеф., що враховує додаткову площу верстата, γ	2,5	2,5	2,5	2,5	3,5
Коеф., що враховує клас точності верстата, μ	1	1	1	1	1,8
Ефективний річний фонд часу роботи верстата $\Phi_{\text{об}}$, год	3975	3975	3975	3975	3845
Виробничі та інші площі					
Вартість 1 м. кв. площі механічної $\Pi_{\text{пл.зд.}}$, грн	500				500
Вартість 1 м. кв. площі службово-побутових приміщень $\Pi_{\text{сл.поб.}}$, грн	1000				1000

Продовження таблиці 6.1

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2620	1A64	6P12П	2M60	Hi-TECH 550A
Площа служб.-побут. приміщень, що припадають на одного робочого $A_{\text{б}}$, м. кв.	7				7
Витрати на утримання та амортизаційні витрати на 1 м. кв. цеху $H_{\text{пл.}}$, грн.	180	180	180	180	200
Додаткові дані					
Розряд					
контролера	5				5
верстатника	4	3	4	4	4
наладчика	3	3	3	3	4
наладчика інструменту	4	4	4	4	4
Габарити верстата (довжина x ширина), м	5,495 x 4,55	5,495 x 4,55	5,495 x 4,55	5,495 x 4,56	4,590 x 2,450
Габарити пристрою ЧПК, м	0	0	0	0	0,5 x 0,5
Тип пристрою ЧПК	0	0	0	0	FANUC 0iMF
Строк служби верстата до капітального ремонту $T_{\text{пл}}$, років	7	7	7	7	10
Встановлена потужність всіх електродвигунів головного руху, кВт	10	10	10	4	50

Продовження таблиці 6.1

Дані	Базовий варіант				Новий варіант
	2620	1A64	6P12П	2M60	НІ-TECH 550A
Розрахунок допоміжних показників					
Трудомісткість обробки $T_{шт}$, год	420	390	425	300	1700
Час наладки верстата впродовж року $T_{в}$, год	3	2	2,2	2,6	4
Час наладки інструмента поза верстатом впродовж року $T_{в.ін}$, год	0	0,00	15,71555556	10,4	20
Час контролю деталей впродовж року $T_{к}$, год	34,86	32,37	35,28	24,90	141,10
Кількість верстатників $P_{ст}$, чол. (розр.)	0,23	0,21	0,23	0,16	0,46
дійсна	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків верст. $P_{в}$, чол. (розр.)	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002
дійсна	1	1	1	1	1
Кількість наладчиків інстр. $P_{в.ін}$, чол.	0,000	0,000	0,008	0,006	0,011
дійсна	1	0	1	1	1
Кількість контролерів $P_{к}$, чол. (розр.)	0,02	0,02	0,02	0,01	0,08
дійсна	1	1	1	1	1
Додаткова кількість робочих по обслуговуванню верстатів з ЧПК $P_{доп}$, чол.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
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	0,13	0,14	0,10	0,47

Таблиця 6.2 – Результат розрахунку

Собівартість механічної обробки річного випуску деталей

$$C = I_z + I_n + I_{ін} + I_{пк} + I_{пр} + I_{усп} + I_a + I_{пл} + I_{сл} + I_r + I_y + I_k,$$

де I_z – зарплатня верстатника; I_n – зарплатня за наладку верстата; $I_{ін}$ – 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

C1 на деталь = 174,67

C2 на деталь = 119,81

I_z	I_n	$I_{ін}$	$I_{пк}$	$I_{пр}$	$I_{усп}$	I_a	$I_{пл}$	$I_{сл}$	I_r	I_y	I_k	
C1 = 109845	+ 678,24	+ 1154,17	+ 0,00	+ 44912	+ 0	+ 5294,75	+ 6313,51	+ 84000	+ 5098,05	+ 0	+ 4713,99	= 262009,36
C2 = 71488	+ 303,80	+ 234,00	+ 566,67	+ 33749,3	+ 0	+ 22037,40	+ 3024,00	+ 35000	+ 6552,01	+ 1072,9	+ 5686,33	= 179714,27

					КНУ.КБР.131.25.1-17.06.0ЕПВ		Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Продовження таблиці 6.2

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		$K_{зд}$		$K_{сл}$		$K_{нез}$		$K_{пр}$		$K_{п.у.}$	
$K_1 =$	176322	+	17538	+	84000	+	123599	+	120300	+	0	= 521758
$K_2 =$	415800	+	3544	+	28000	+	75587	+	90400	+	1700	= 615030.89

Продовження таблиці 6.2

Приведені витрати				
31	$=$	C_1	$+$	$E_n \cdot K_1$
340273		262009		0,15 · 521758
32	$=$	C_2	$+$	$E_n \cdot K_2$
271969		179714		0,15 · 615031

Річний економічний ефект			
E	$=$	31	$-$ 32
68304		340273	- 271969

Строк окупності				
$T_{ок} =$	$(K_2$	$-$	$K_1)$	$/$ $(C_1 - C_2)$
1,13	615031	-	521758	262009 - 179714,3

За результатами розрахунків можна зробити висновок, що річний економічний ефект становить 68304 грн, термін окупності 1,13 рік.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6.2 Охорона праці та екологія виробництва

У машинобудуванні можуть виникати різні шкідливі та небезпечні фактори, які впливають на працівників і навколишнє середовище.

Вплив на здоров'я працівників (шкідливі виробничі фактори):

- Фізичне навантаження – важка фізична праця, незручне робоче положення, підняття вантажів.
- Шум і вібрація – робота обладнання (токарні, фрезерні, зварювальні верстати) часто супроводжується надмірним шумом і вібрацією.
- Пил і аерозолі металів – при шліфуванні, різанні, обробці металів у повітря потрапляють шкідливі частинки.
- Газоподібні і хімічні речовини – зварювання, фарбування, очищення деталей пов'язані з виділенням токсичних газів (озон, оксиди азоту, ацетон тощо).
- Ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання – особливо небезпечно під час зварювання.
- Температурні перепади – робота в умовах надмірного тепла або холоду.

Вплив на довкілля (екологічна шкода):

- Викиди в атмосферу – пил, дим, гази від роботи верстатів і котлів.
- Забруднення води – внаслідок скидання стічних вод з мастильно-охолоджувальними речовинами (МОР).
- Виробничі відходи – металеві обрізки, використані хімікати, фарби, мастила.
- Шумове забруднення – впливає як на працівників, так і на навколишнє середовище.
- Надмірне споживання енергії – неефективне використання ресурсів, що сприяє викидам CO₂.

Основні методи усунення або зменшення шкідливих факторів у машинобудівному виробництві – як для захисту працівників, так і для збереження довкілля:

					КНУ.КБР.131.25.1-17.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічні методи:

- Механізація та автоматизація процесів – зменшує участь людини в небезпечних зонах (робота з ЧПК, роботизовані лінії).
- Установлення витяжної вентиляції та фільтраційних систем – для очищення повітря від пилу, газів, аерозолів.
- Звукоізоляція та віброізоляція обладнання – зменшення шуму і вібрацій у робочій зоні.
- Теплоізоляція джерел тепла – для захисту працівників від перегріву.
- Обладнання захисними екранами – особливо в зонах зварювання або роботи з ріжучим інструментом.

Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Захисні окуляри, щитки, рукавиці, респіратори, спецодяг та взуття.
- Засоби захисту органів слуху – навушники, беруші.
- Засоби для роботи в екстремальних температурах – спецодяг з термозахистом.

Екологічні заходи:

- Очищення та рециркуляція стічних вод.
- Рециклінг відходів виробництва – повторне використання металевих залишків.
- Перехід на менш токсичні матеріали та екологічні технології.
- Моніторинг рівня забруднення і впровадження ISO 14001.

					КНУ.КБР.131.25.1-17.06.0ЕПВ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної бакалаврської роботи було проведено повноцінне дослідження, спрямоване на техніко-технологічне обґрунтування та проектування обробки деталі «вал-шестерня», яка є ключовим елементом у складі редуктора механізму підйому електромостового крана.

На першому етапі було здійснено аналіз службового призначення вузла та деталі, розглянуто конструктивні особливості валу-шестерні, включно з шпонковим з'єднанням, ступінчастими ділянками, зубчастим вінцем, різьбовими та іншими елементами. Було розроблено 3D-модель деталі у програмному середовищі SolidWorks, що дозволило точно візуалізувати конструкцію та підготувати робочі креслення.

Особливу увагу приділено вибору матеріалу – сталі 45 згідно з ДСТУ, а також її зарубіжним аналогам. Враховано фізико-механічні властивості та хімічний склад для забезпечення достатньої міцності, зносостійкості та оброблюваності деталі в умовах інтенсивної експлуатації.

Був виконаний розрахунок параметрів шпонкового з'єднання за міжнародними стандартами з урахуванням полів допусків, посадок, допусків форми та шорсткості. Це дозволило забезпечити високу точність та надійність функціонування з'єднання.

Детально розроблено маршрутну карту обробки деталі, визначено послідовність операцій від чорнової обробки до чистового шліфування. Обґрунтовано вибір сучасного високоточного металорізального обладнання, зокрема з ЧПК – токарних, зубофрезерних, фрезерних та шліфувальних верстатів. Для кожної технологічної операції підібрано оптимальні типи ріжучих інструментів, зокрема прохідні, підрізні, канавкові різці, кінцеві та дискові фрези, шліфувальні круги з відповідними пластинами від міжнародних виробників.

Виконано перевірку одного з найнавантажениших інструментів – прохідного різця – на міцність і жорсткість, що засвідчило його придатність до експлуатації в умовах значних навантажень. Також розроблено спеціальний фасонний різець та виконано його інженерний аналіз методом кінцевих елементів у середовищі SolidWorks Simulation. Модель показала достатній запас міцності (2,3), що підтверджує її надійність.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.B</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		<i>Мітюров</i>			<i>Висновки</i>		
Перевір.		<i>Нечаєв</i>					
Н. Контр.		<i>Нечаєв</i>					
Затверд.		<i>Рязанцев</i>			<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>		

У межах економічної частини було доведено ефективність застосування обладнання з ЧПК. За результатами техніко-економічних розрахунків річний економічний ефект від упровадження верстата Ні-ТЕСН 550А становить 68304 грн, а термін окупності — 1,13 року.

Розділ з охорони праці та екології охоплює аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів, включаючи шум, вібрацію, запиленість, токсичні речовини, та подає комплекс заходів щодо їхнього усунення або мінімізації — як технічними, так і організаційними методами.

Таким чином, усі поставлені завдання бакалаврської роботи виконано у повному обсязі. Робота демонструє високий рівень підготовки автора в галузі технології машинобудування, знання сучасного інструменту, вміння застосовувати інженерні розрахунки, CAD/CAE-програми та аналізувати ефективність технологічних рішень у реальних виробничих умовах.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.B</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

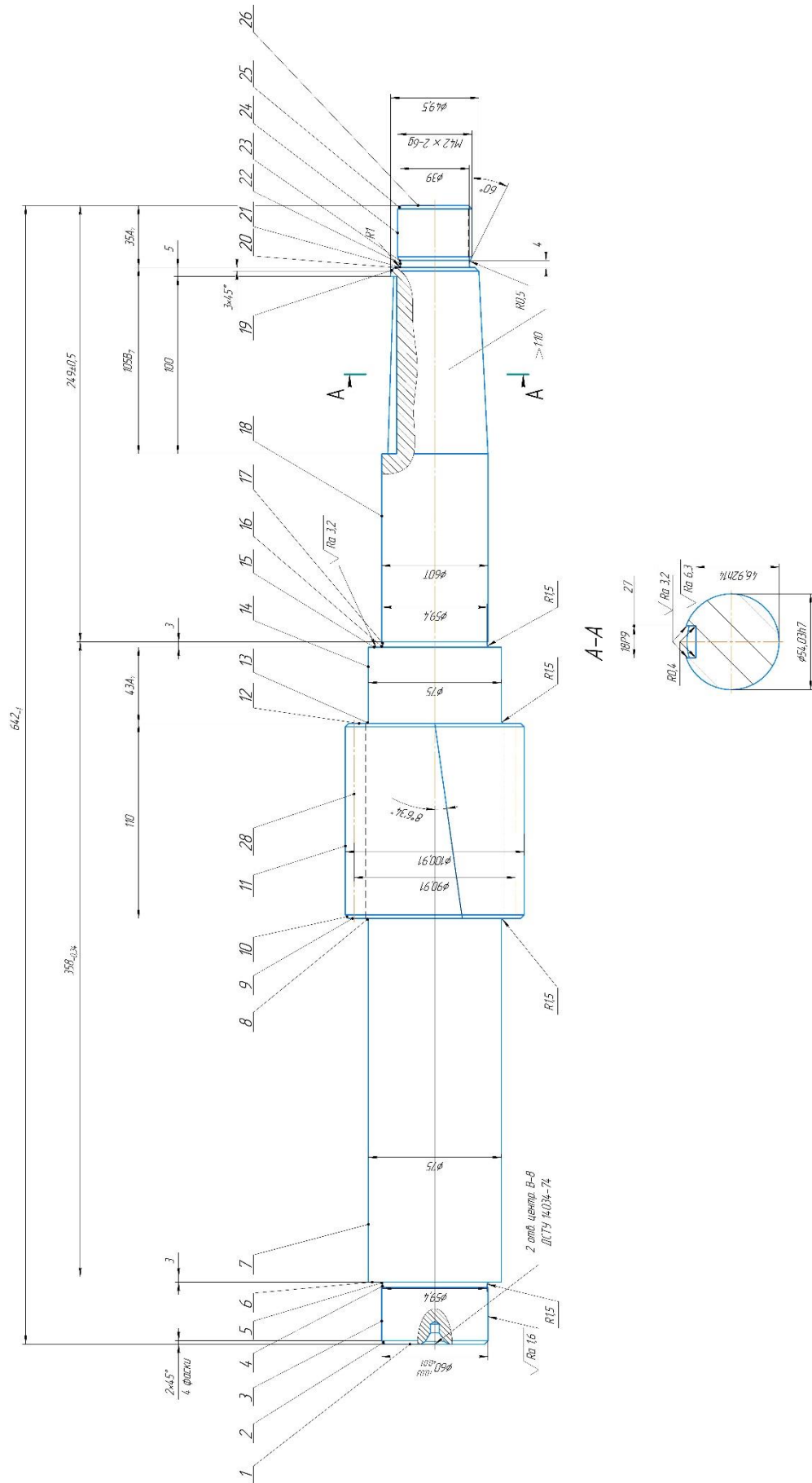
1. Токарна обробка: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020.1. 804 с.
2. Нарізування різьблень: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2021.2. 402 с.
3. Фрезерування: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020.1. 726 с.
4. Абразивний інструмент: Кат. шліф. інструм. TYROLIT. 186 с.
5. Допоміжний інструмент: Різцетримачі для токарних верст. з ЧПУ. EROGLU. E-87
6. Допоміжний інструмент: Кат. та техн. керівництво. SECO, 2020. 422 с.
7. ДСТУ 23360:2008. Основні норми взаємозамінності. З'єднання шпонні з призматичними шпонками. Розміри шпонок і перетинів пазів. Допуски і посадки. Вид. офіц. Київ : 2008. 13 с
8. Нефьодов Н., Осипов К. Збірник задач і прикладів з різання металів і різального інструменту : Навч. посіб. 5-те вид. М. : "Машинобудівництво", 1990. 445 с.
9. Фрезерування: Зубообробний інструмент. GEAR CUTTERS, 30 с.

					<i>КНУ.КБР.131.25.1-17.СВД</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.	<i>Мітюров</i>				<i>Список використаних джерел</i>	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.	<i>Нечаєв</i>							
Н. Контр.	<i>Нечаєв</i>							
Затверд.	<i>Рязанцев</i>				<i>Каф.ТМ гр. ПМ-21</i>			

ДОДАТКИ

					КНУ.КБР.131.25.1-17.Д			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Додатки	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Мітюров						
Перевір.		Нечаєв						
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев				Каф.ТМ гр. ПМ-21		

Додаток А – Нумераціх поверхонь деталі «Вал-шестерня».



**АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-
ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ**

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення
деталі «Вал редуктору» та обґрунтування параметрів надійності
процесу за допомогою CAD/CAM систем

Виконав здобувач гр. ПМ-21

(підпис)

Дмитро МІТЮРЄВ

Керівник КБР

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Нормоконтроль

(підпис)

Василь НЕЧАЄВ

Завідувач кафедри

(підпис)

Антон РЯЗАНЦЕВ

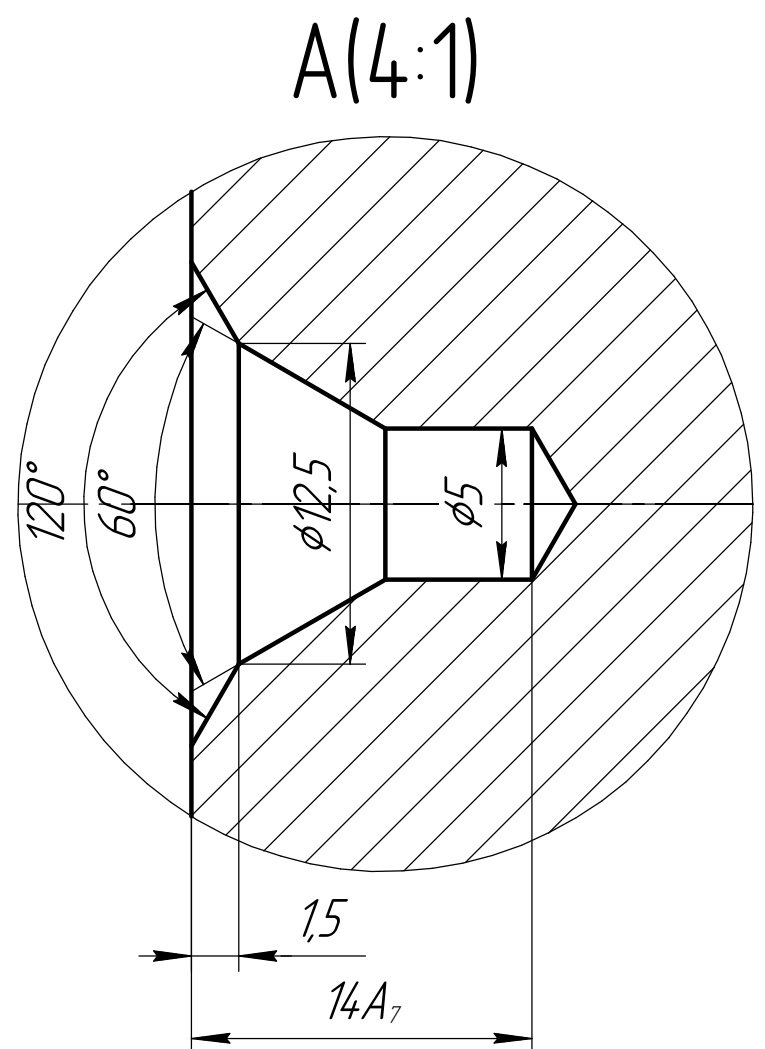
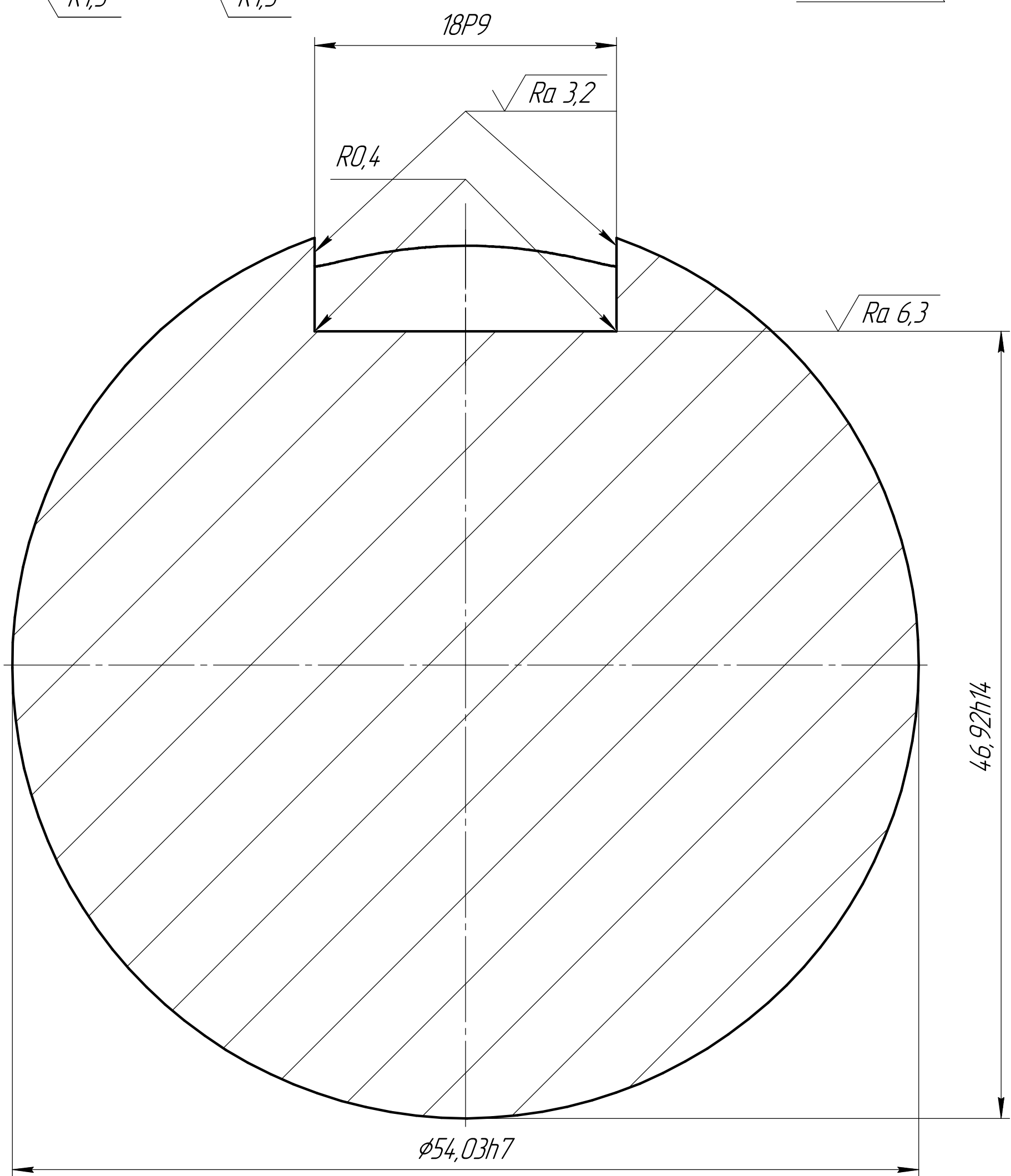
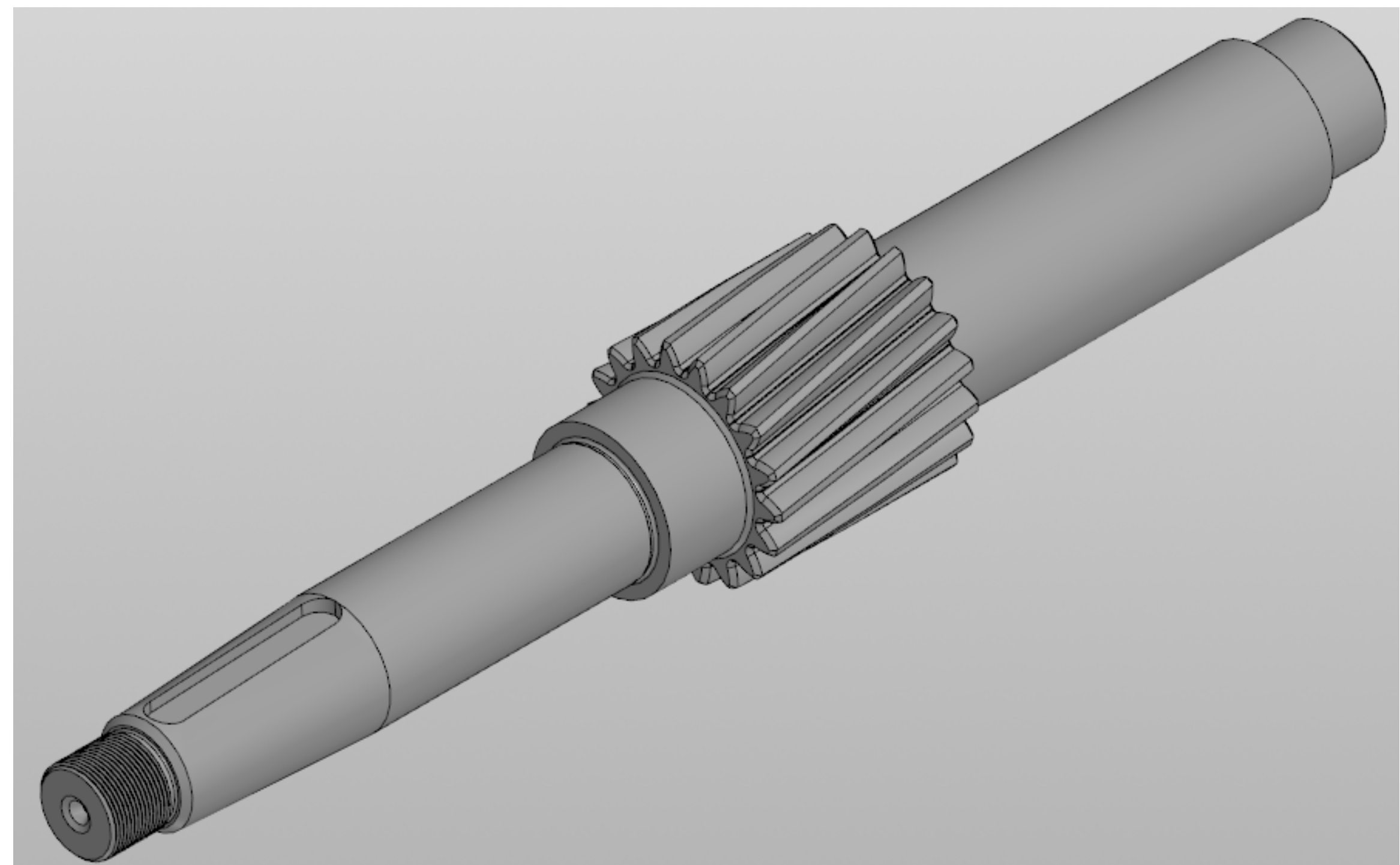
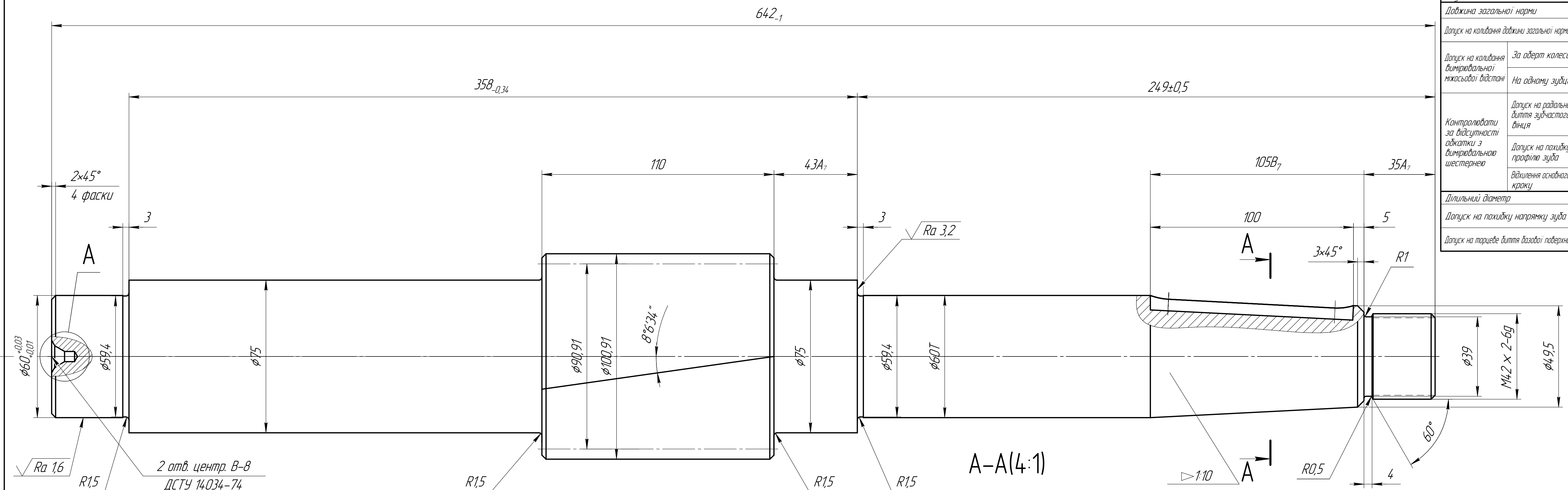
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					Документация		
					Кресления		
	A1		2	КНУ.КБР.131.25.1-17.ВШ	Вал-шестерня	1	
	A1		3	КНУ.КБР.131.25.1-17.ІН	Інструментальне налагодження	1	
	A2		4	КНУ.КБР.131.25.1-17.РФП	Різець фасонний призматичний	1	
	A3		5	КНУ.КБР.131.25.1-17.ІАСРІ	Інженерний аналіз спеціального	1	
					різального інструменту		
	A3		6	КНУ.КБР.131.25.1-17.МПМО	Моделювання процесу	1	
					механічної обробки		
Подп. и дата							
Взам. инв. №							
Инв. № дубл.							
Подп. и дата							
Изм. № подл.							
Изм. Лист							
№ докум.							
Подп.							
Дата							
Лит.							
Лист							
Листов							
Копировал							
Формат							

КНУ.КБР.131.25.1-17.ВЕД

Відомість електронних документів КБР

Лит.	Лист	Листов
		1
Кафедра ТМ гр. ПМ-21		

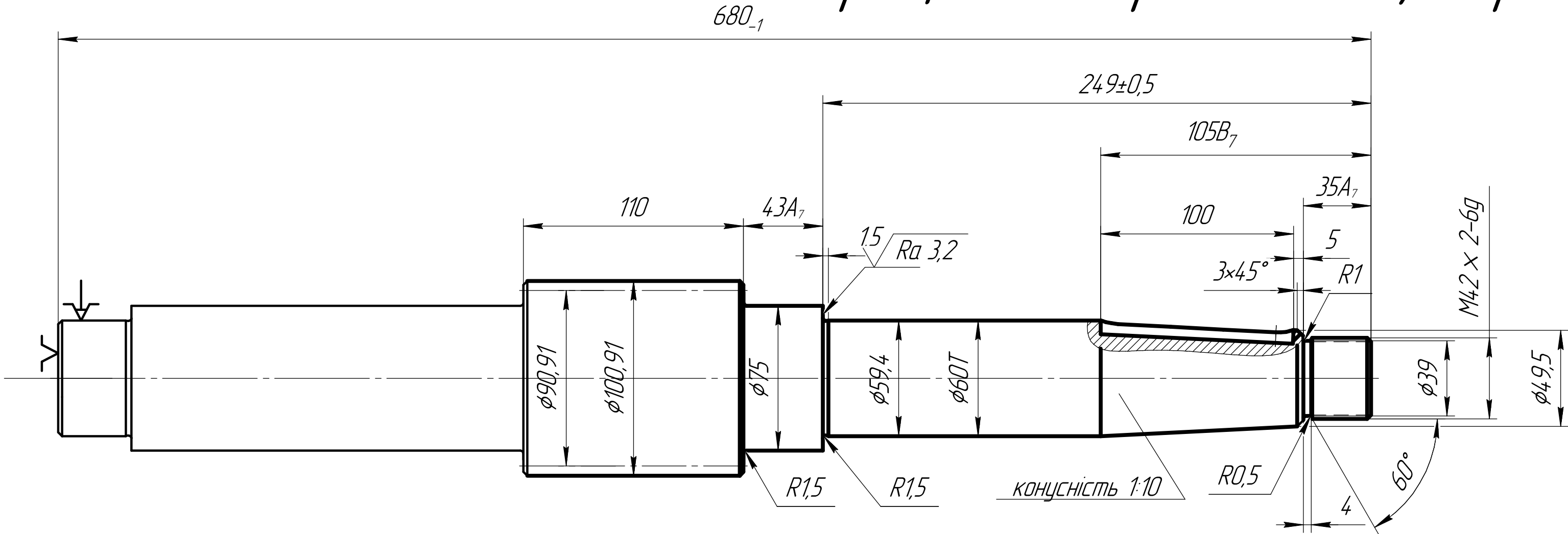
Модуль	m	5
Кількість зубців	z	18
Кут нахилу зубців	β	$8^{\circ}06'34''$
Напрямок лінії зубців	-	ліве
Нормальний вихідний	-	ДСТУ 13755-2015
Коефіцієнт зменшення	x	+0,741
Ступінь точності ДСТУ 1643-81	-	7-С
Довжина загальної норми	W	$55,494_{-0,14}^{+0,07}$
Допуск на колибання довжини загальної норми	F_{rw}	0,022
Допуск на колибання виміральної міжосевої відстані	За одерт колеса	F_r^+ 0,056
	На одному зубці	f_i^+ 0,025
Контролювати за відсутності одатки з виміральною шестернею	Допуск на радіальне виття зубчастого вінця	F_r 0,04
	Допуск на похибку профілю зуба	f_f 0,014
	Вхилення осного кроку	f_{pt} $\pm 0,018$
Дилльний діаметр	d	90,91
Допуск на похибку напрямку зуба	F_{β}	0,02
Допуск на торцеве виття базової поверхини	F_T	0,007



- 1 Невказані граничні відхилення Н7, h7, $\pm \frac{IT7}{2}$.
- 2 Гострі кути притупити фаскою 0,5 x 45°

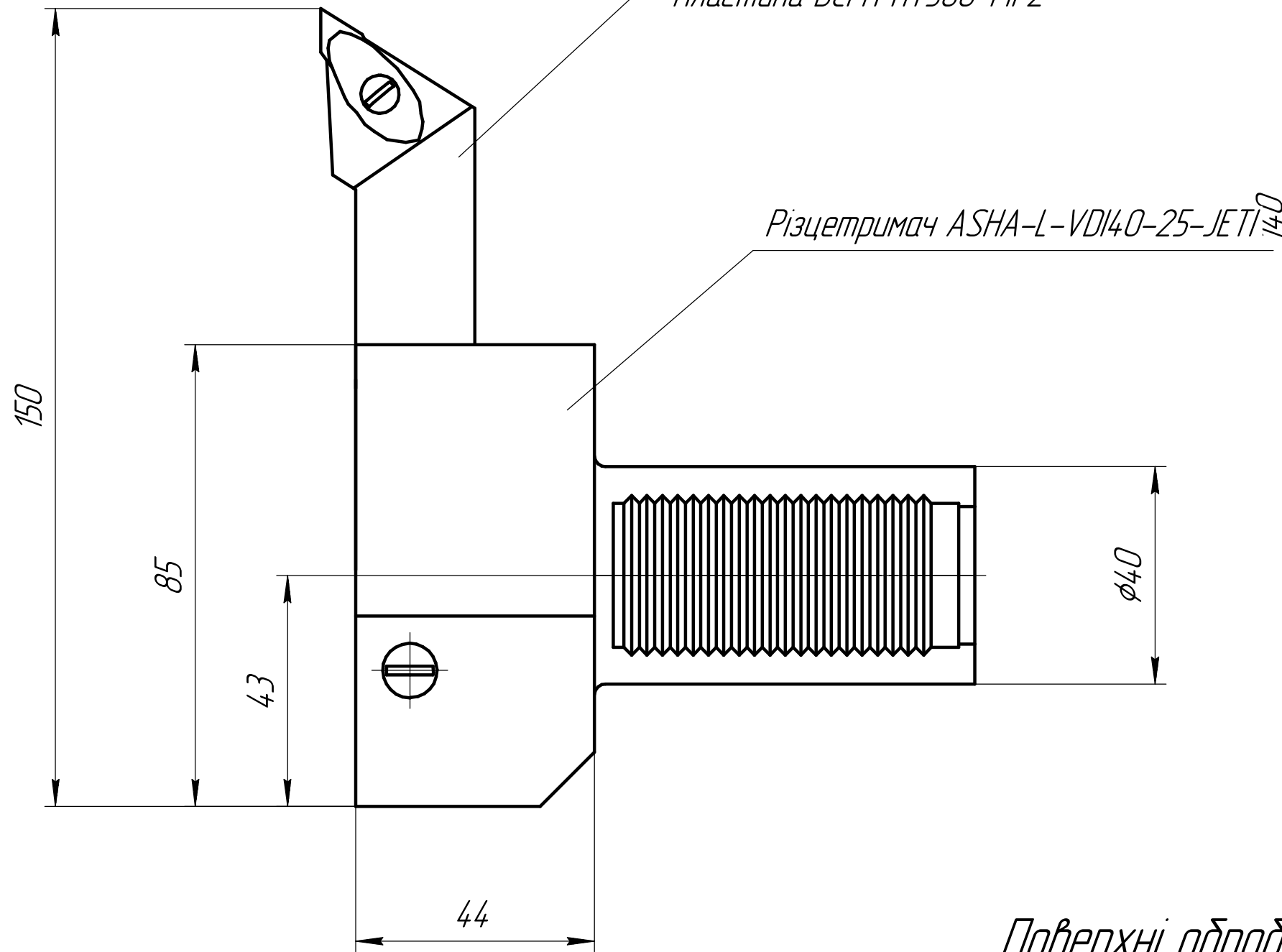
				КНУ.КБР.131.25.1-17.ВШ			
Эм. лист	№ докум.	Підпис	Дата	Вал-шестерня	Лит.	Маса	Масштаб
Разробив	Митереб				Н	19,4	1:1
Керівник	Нечасб				Лист	Листів	1
Н.контр.	Нечасб			Сталь 45 ДСТУ 7809:2015	Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Залп.	Рязанцев						

Операція токарна з ЧПК, верстат моделі Ні-TECH 550 серії А



Поверхні обробки: 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 16, 18, 19, 20, 21, 23, 24

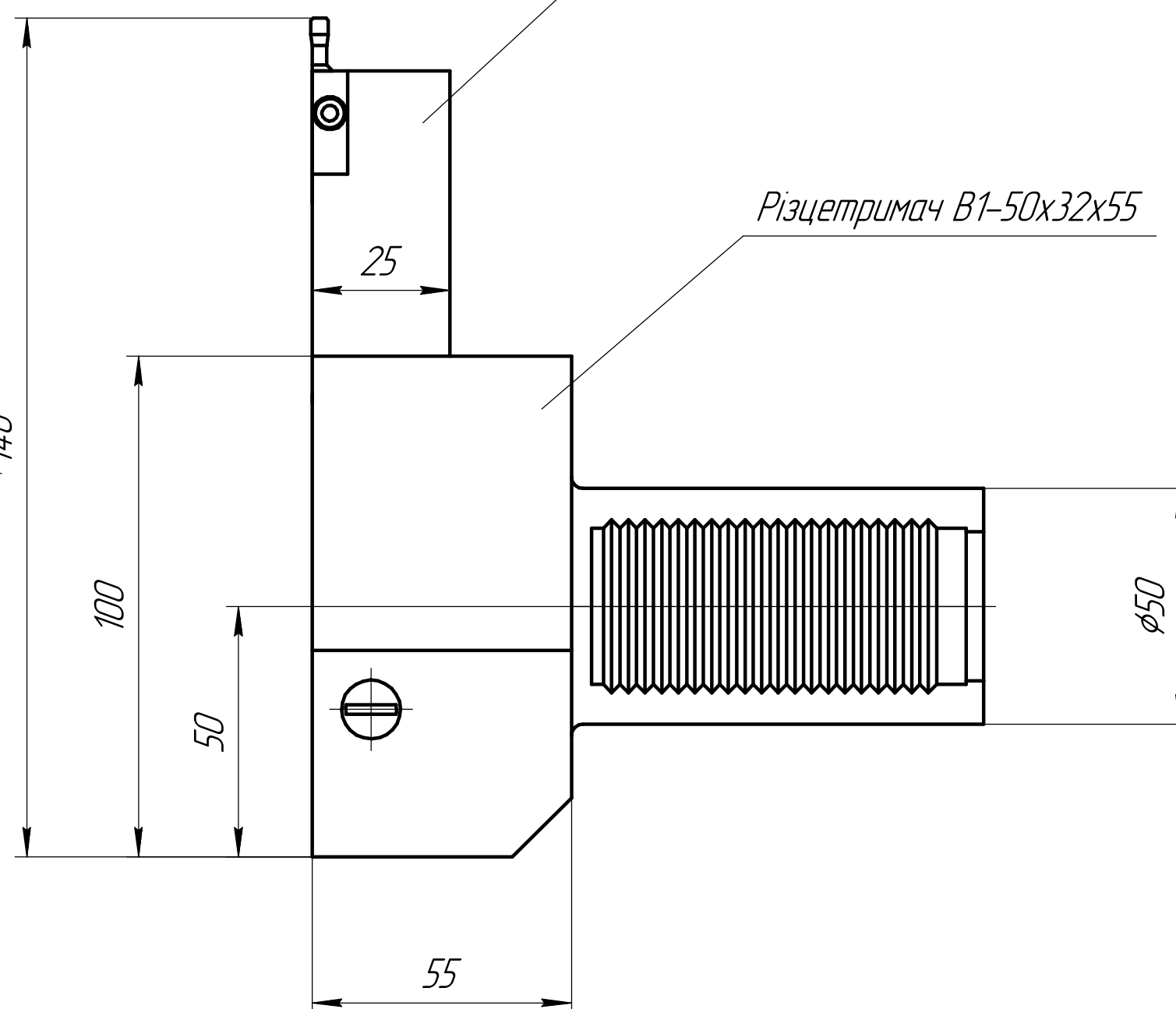
Державка DDJCL2525X11JETI
Пластина DCMT11T308-MF2



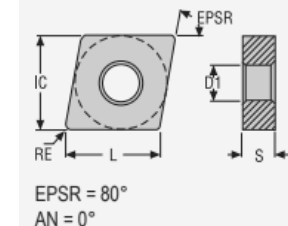
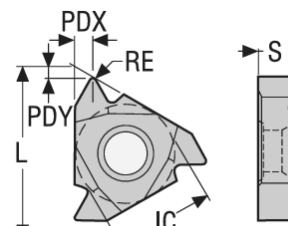
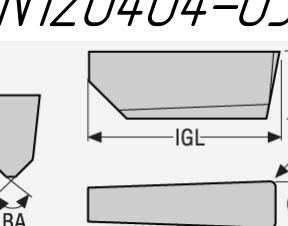
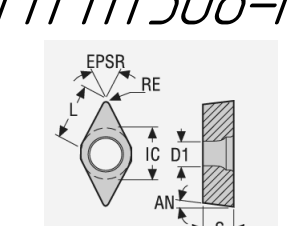
Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI40

Поверхні обробки: 4, 17, 22

Державка CFOL3244M-0317C
Пластина LPGN120404-03175E

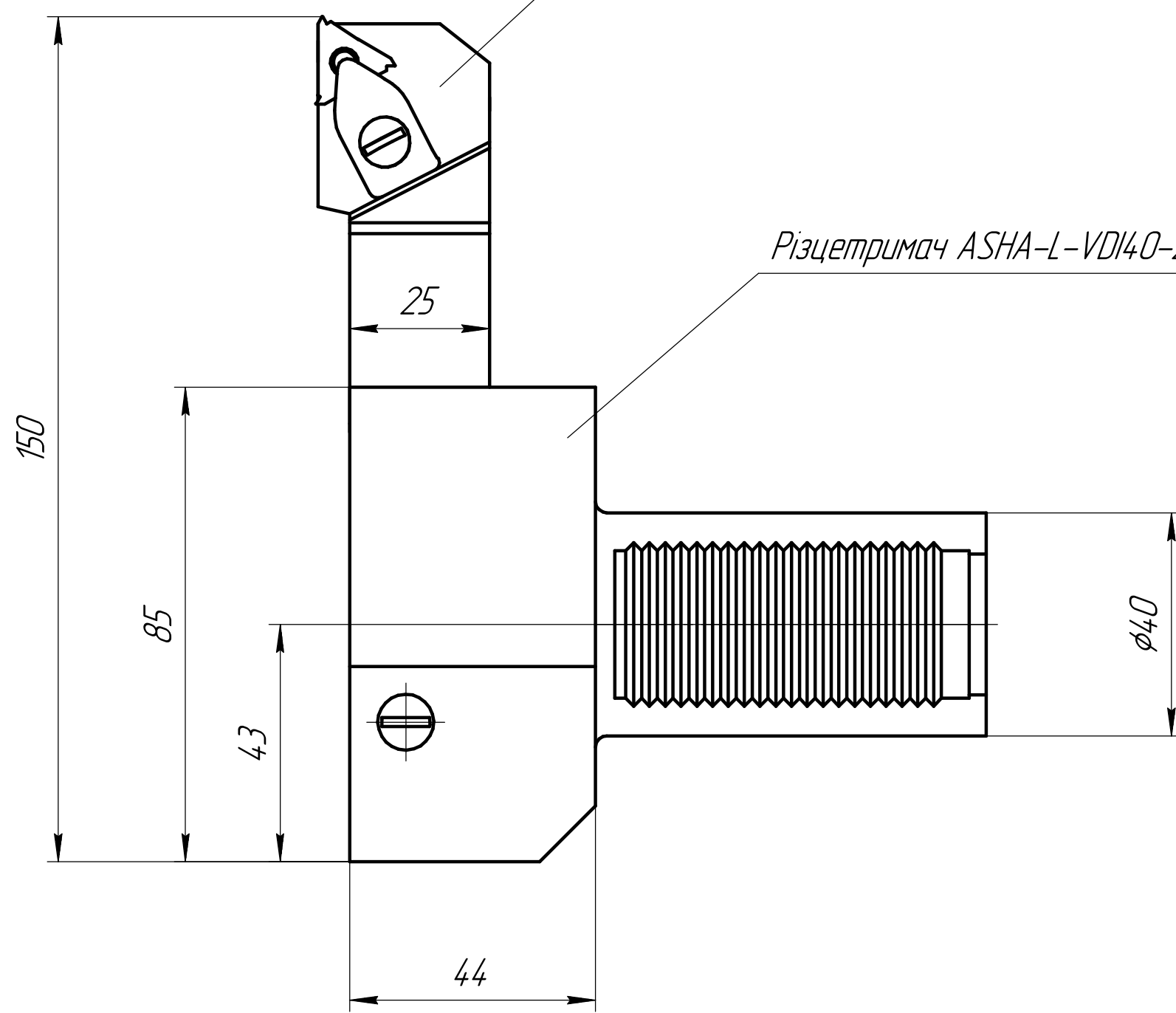


Різцетримач B1-50x32x55

Інструмент	Пластина (геометрія)	Матеріал пластини	Допоміжний інструмент
Різець DCLNL2525X12JETI	CNMG1204 12-M5 	TP3501	Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI
Різець CEL2525M16QHD	16ERAG60 	CP 200	Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI
Різець CFOL3244M-0317C	LPGN120404-03175E 	CW 100	Різцетримач B1-50x32x55
Різець DDJCL2525X11JETI	DCMT11T308-MF2 	TP3501	Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI

Поверхні обробки: 24

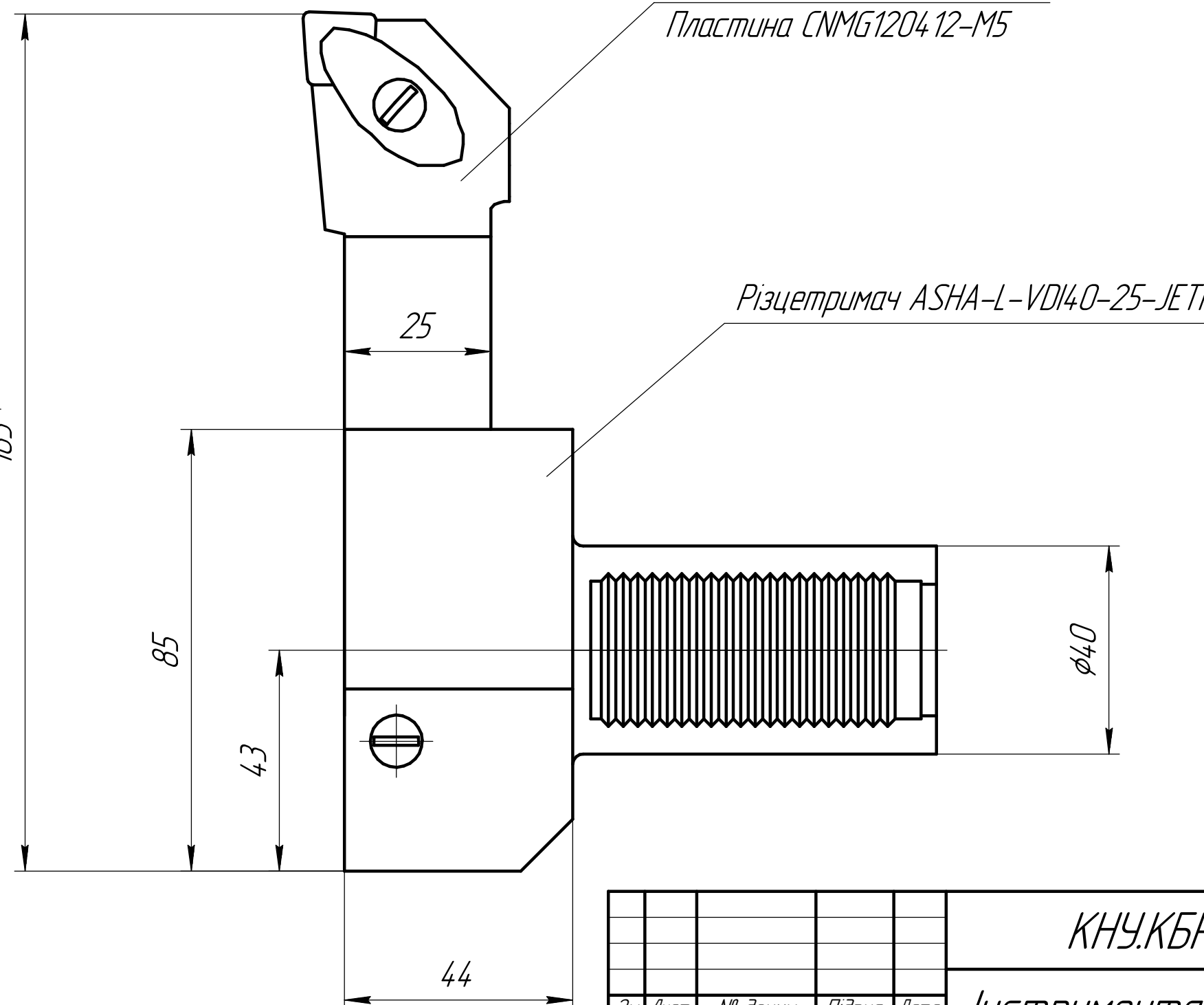
Державка CEL2525M16QHD
Пластина 16ERAG60



Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI

Поверхні обробки: 1, 9, 12, 15, 26

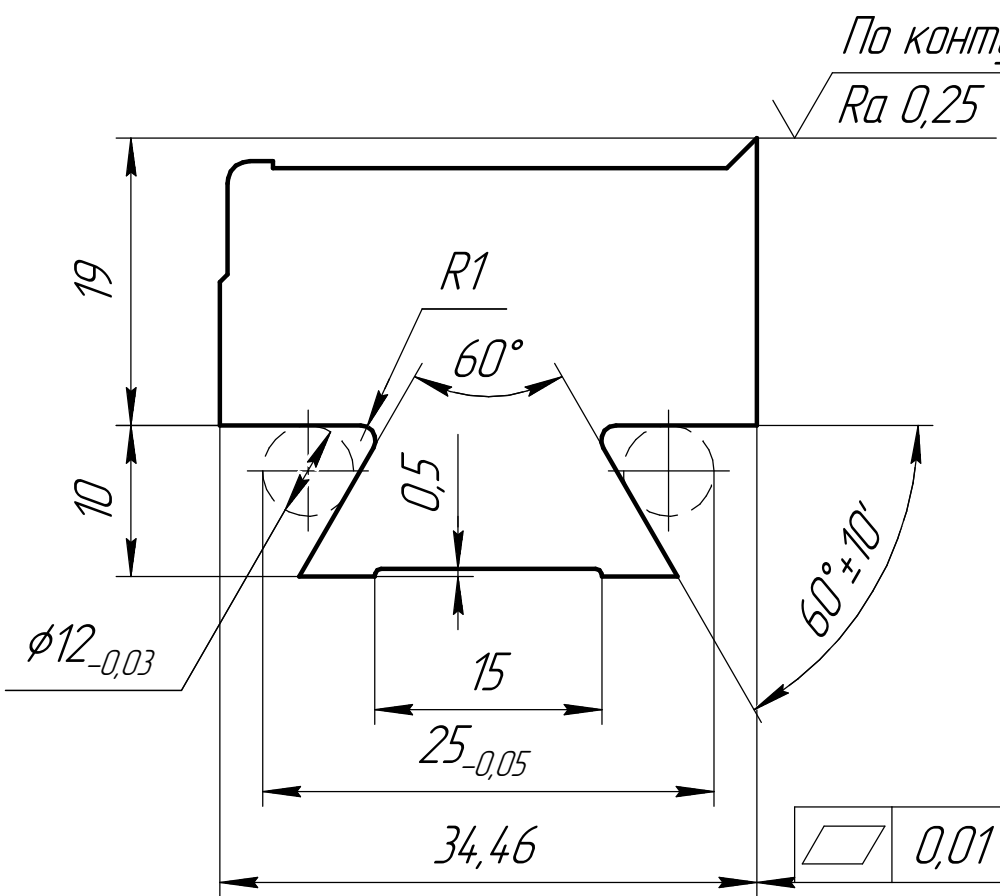
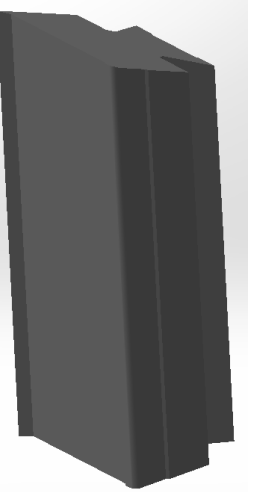
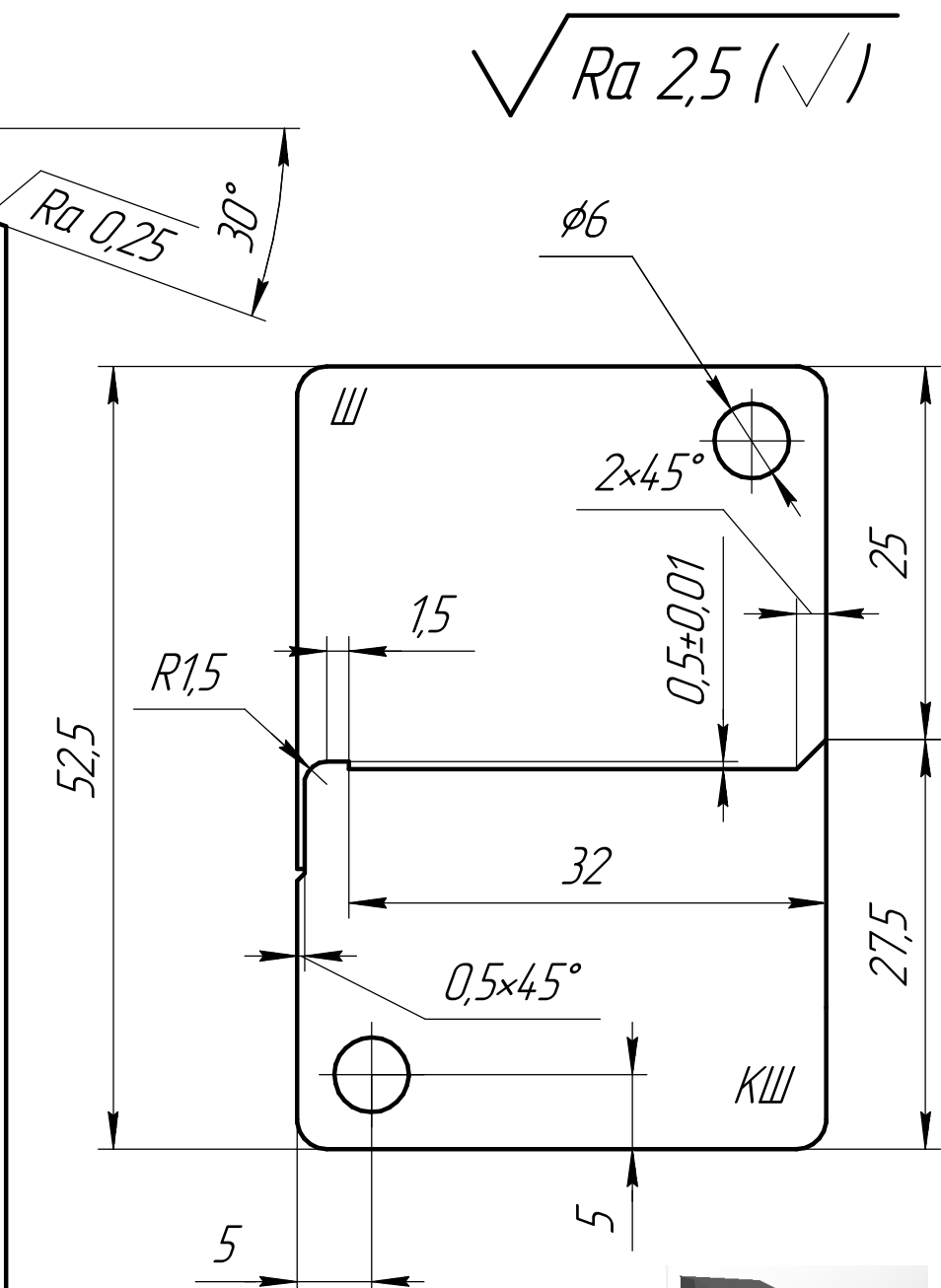
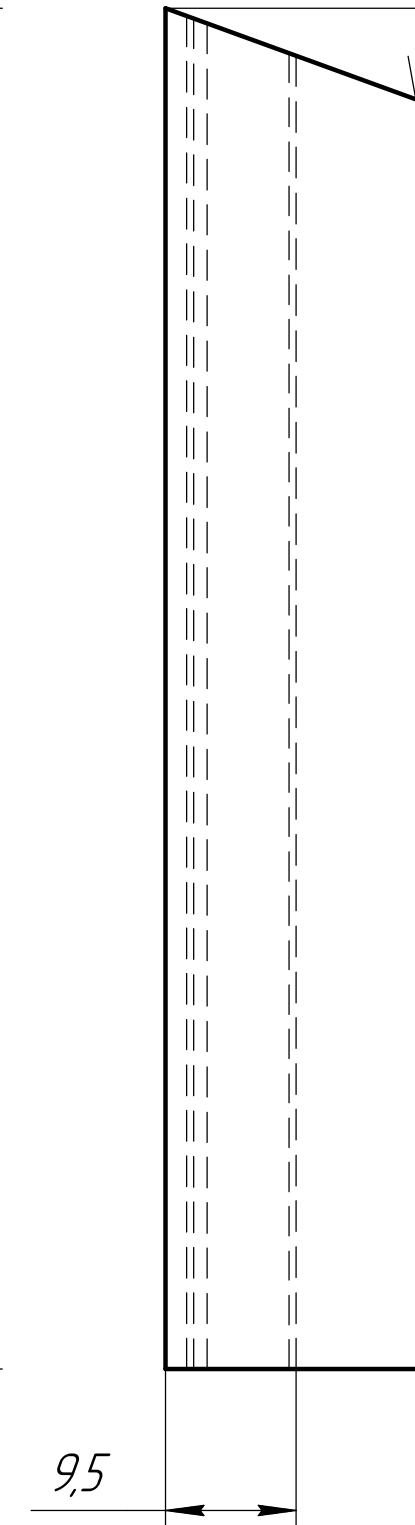
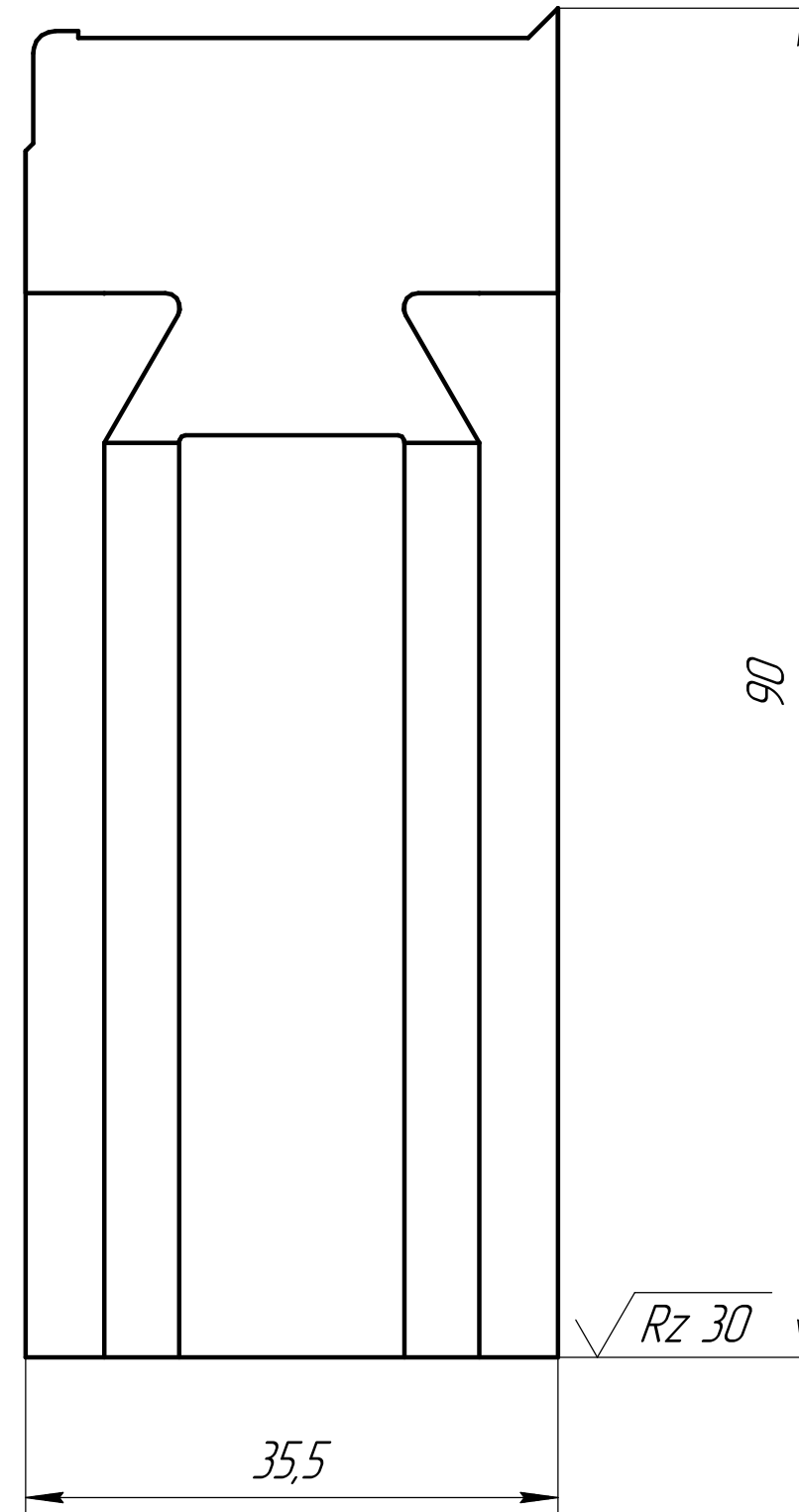
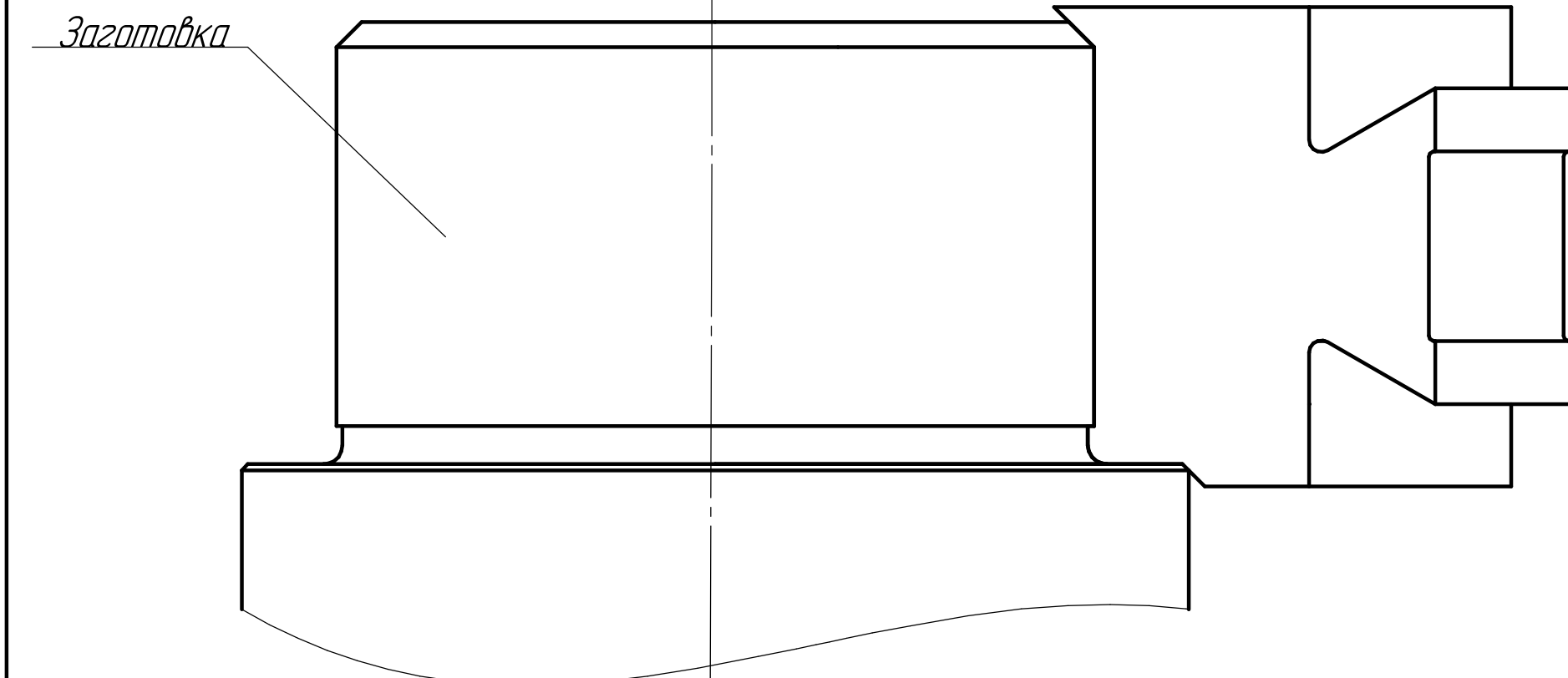
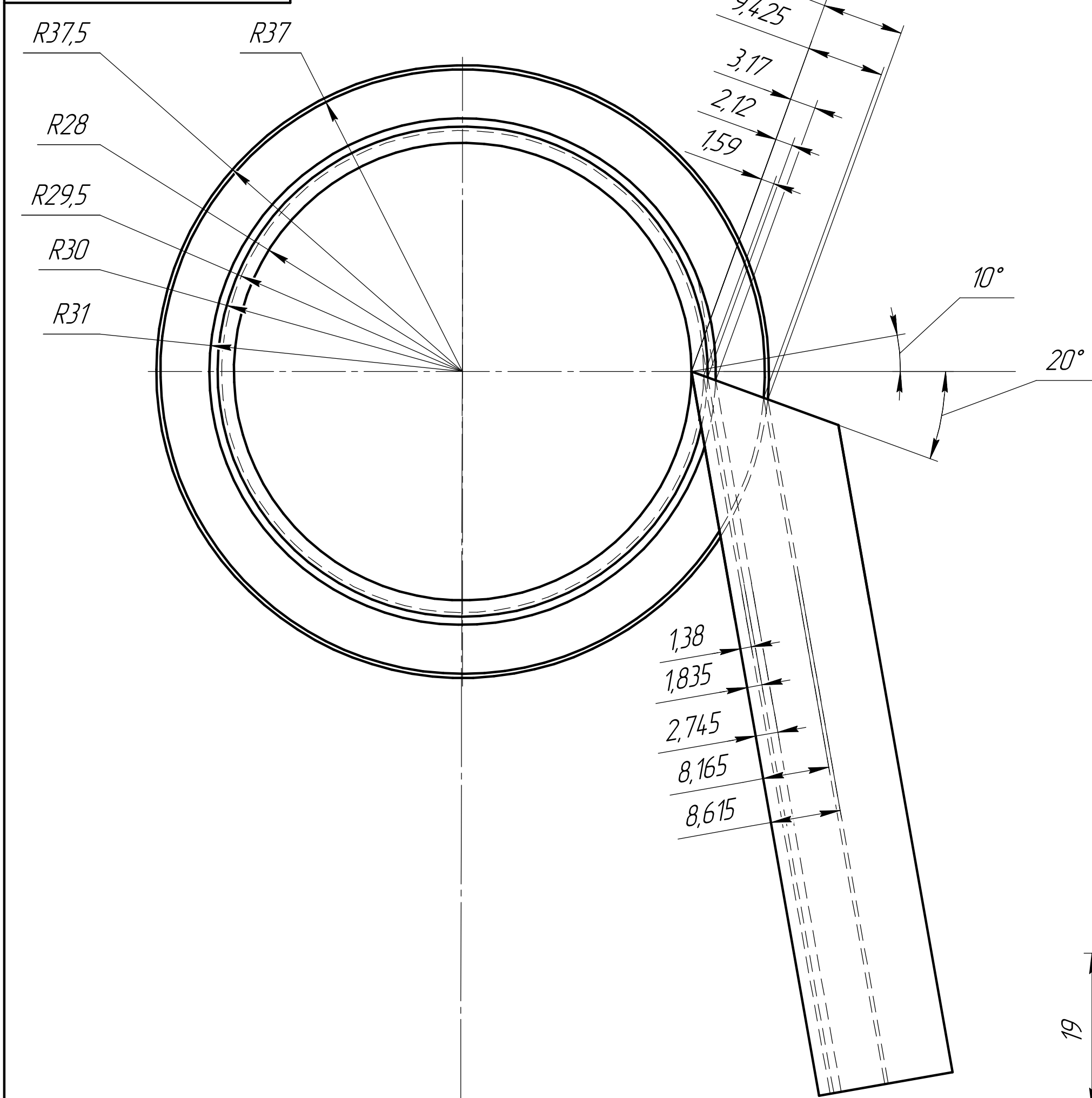
Державка DCLNL2525X12JETI
Пластина CNMG120412-M5



Різцетримач ASHA-L-VDI40-25-JETI

КНУ.КБР.131.25.1-17.ІН				Інструментальне налагодження			Лист	Маса	Масштаб
Зм. Лист	№ док.м.	Підпис	Дата	Н		1:1			
Розробив	Митурев			Лист	Листів	1			
Керівник	Нечасов			Кафедра ТМ					
Нормир.	Нечасов			гр. ПМ-21					
Затв.	Рязанцев								

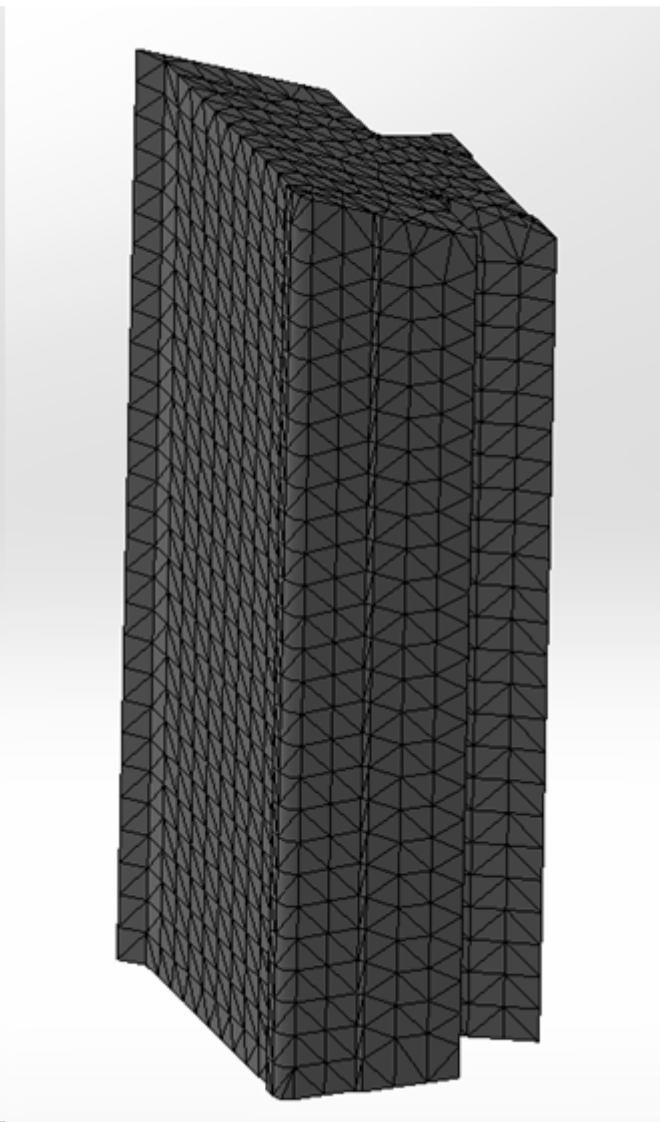
КНУКБР.131.25.1-17.РФП



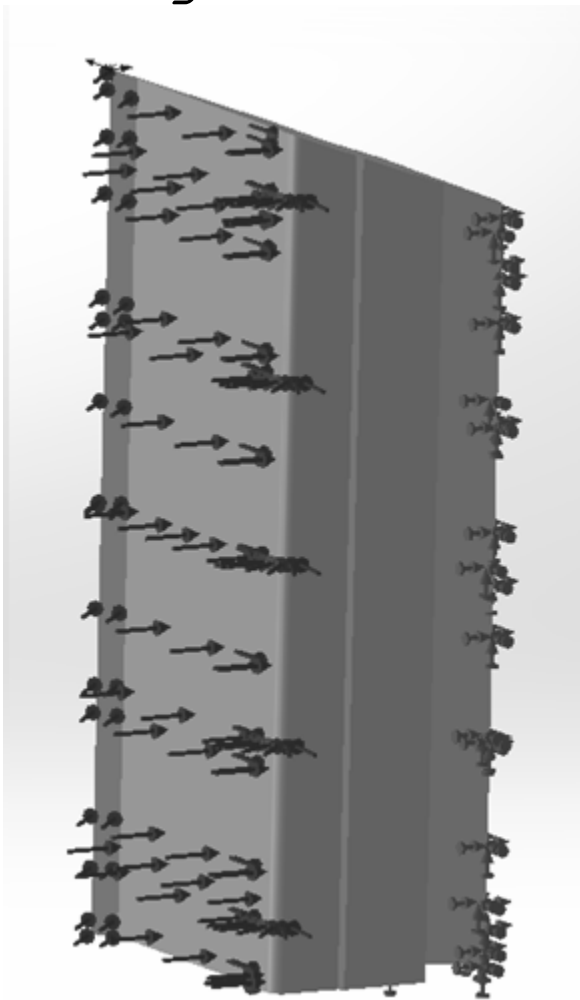
- 1 Матеріал ріжучої частини – Р6М5 за ДСТУ 7807:2015 з твердістю після термообробки HRC 63..66
2 Матеріал корпусу різця – сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015
3 Ріжучу частину різця приварюють методом контактного стикового зварювання.
4 Твердість у ріжучої частини 62..66 HRC, у корпусу 41..46 HRC
5 Розміри контурних точок профілю різця отримати корекційним розрахунком з відхиленням до 0,001 мм
6 Твердість шаблону та контршаблону 62..65 HRC
7 Невказані граничні відхилення Н14, h14, $\pm \frac{IT14}{2}$.
8 Маркувати: код (номер) оброблюваної заготовки, марку сталі різця, задній кут різця, передній кут різця, товарний знак заводу-виробника (00736-Р6М5- $\alpha=10^\circ$ - $\gamma=20^\circ$ - $\diamond$).

КНУКБР.131.25.1-17.РФП						Лит			Маса		
Різець фасонний призматичний						Н			1,3		
Див. тех. вимоги						Лист			Листів 1		
Зм. Лист						№ докум.			Підпис		
Розробив						Міжуряд			Дата		
Керівник						Рязанцев					
Н.контр.						Нечаєв					
Затв.						Рязанцев					

Кінцеві елементи (сітка)



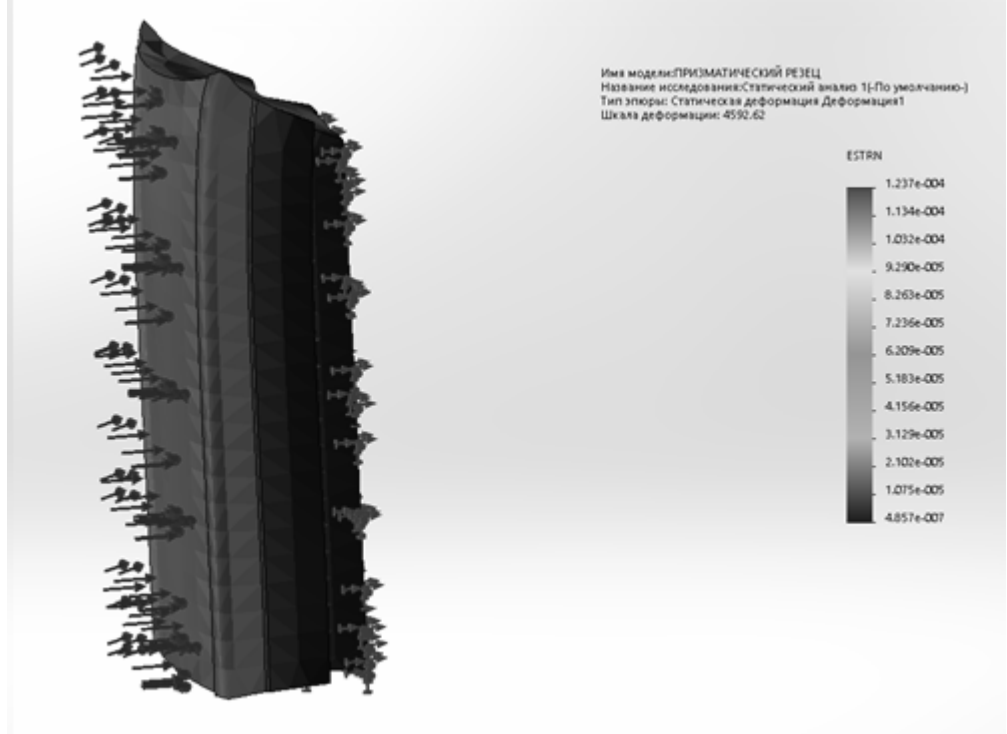
Прикладені сили та фіксація деталі у SW Simulation



Дослідження "Напруження" у SW Simulation



Дослідження "Деформації" у SW Simulation

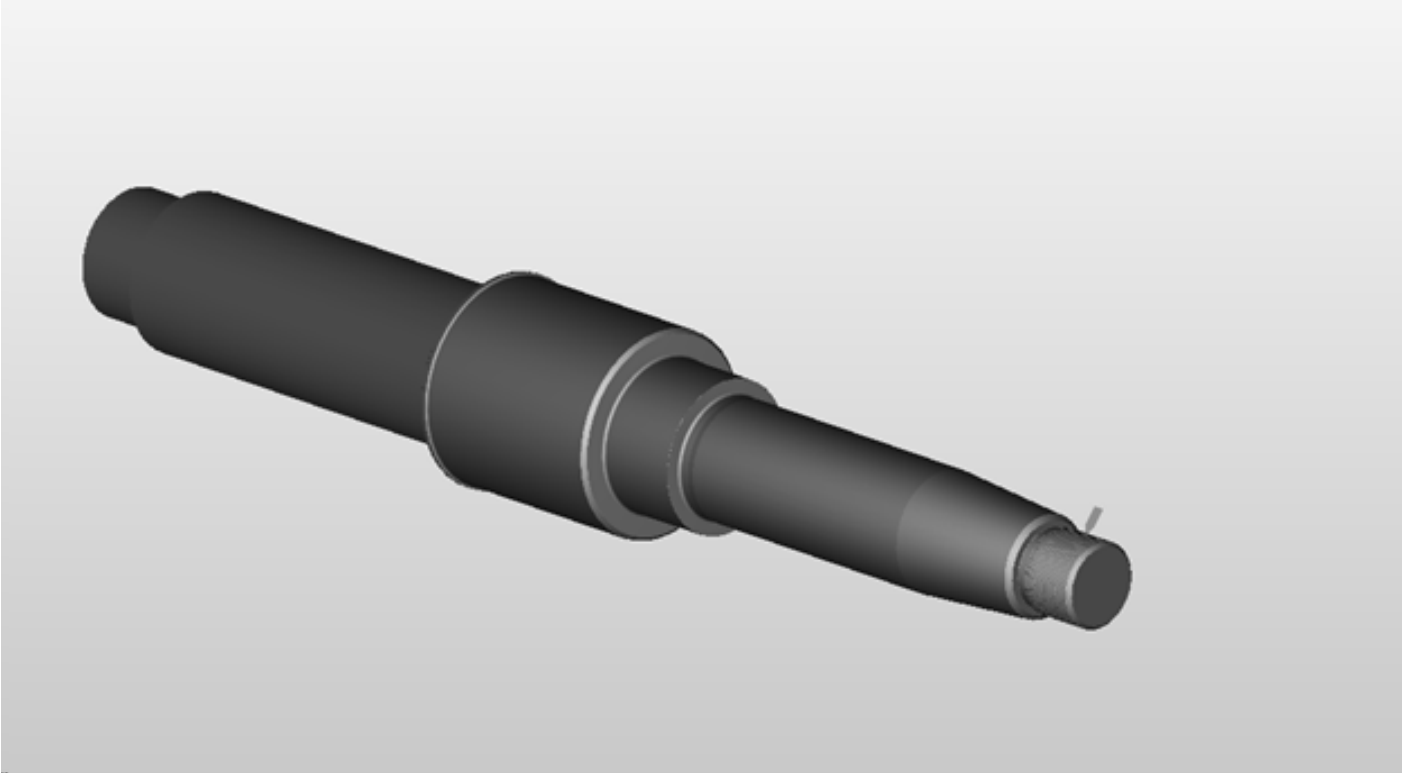


Дослідження "Переміщення" у SW Simulation

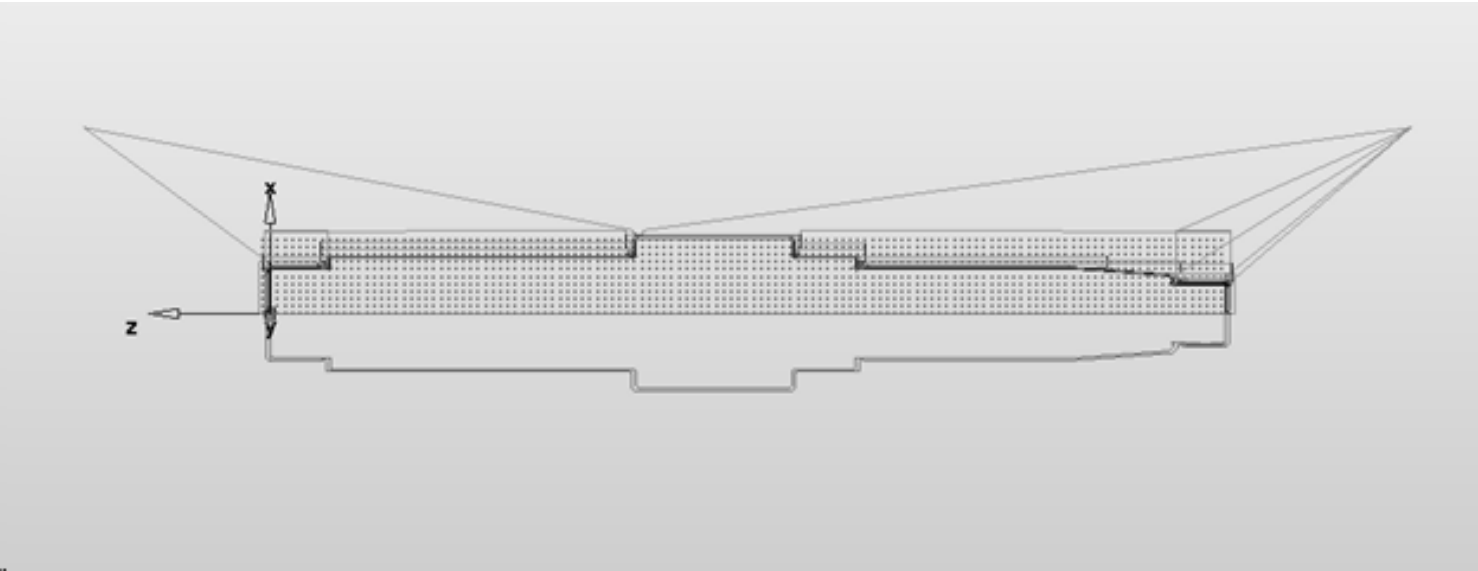


					КНУ.КБР.131.25.1-17.ІАСРІ			
					Інженерний аналіз спеціального різального інструмента	Літ.	Маса	Масштаб
						Н		1:1
						Лист		Листів 1
						Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Зм. Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розробив	Мітюров							
Керівник	Нечаєв							
Н.контр.	Нечаєв							
Затв.	Рязанцев							

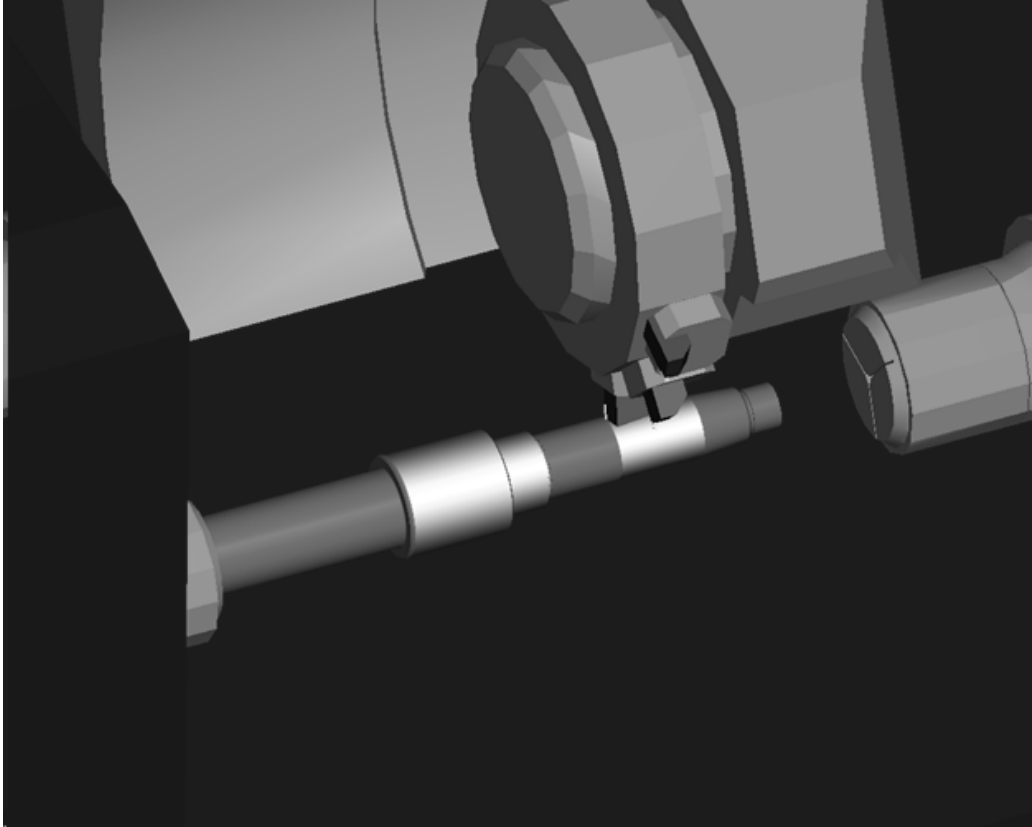
Точіння на першому установі у Feature CAM



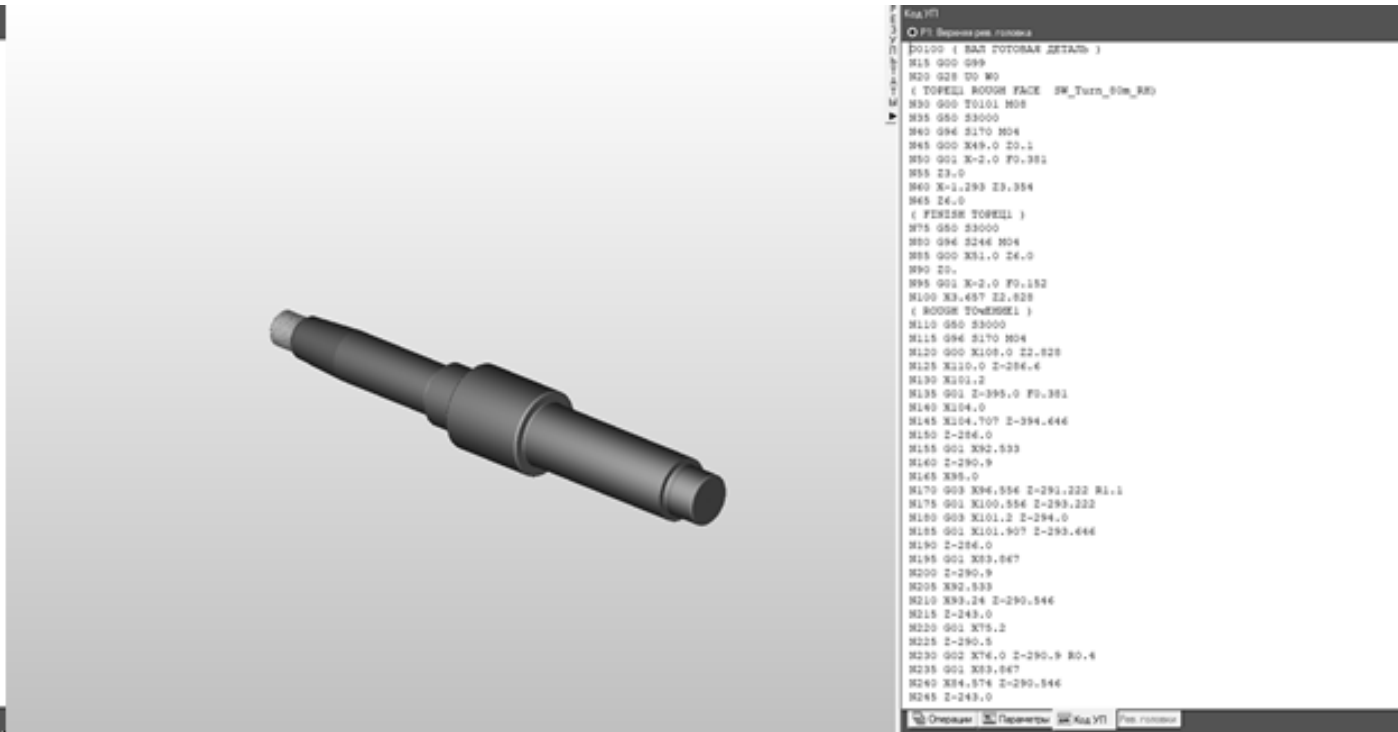
Траєкторія руху інструмента у Feature CAM



Симуляція на верстаті у Feature CAM



Результат обробки та керуюча програма у Feature CAM



КНУ.КБР.131.25.1-17.МПМО					Моделювання процесу механічної обробки		
					Літ.	Маса	Масштаб
					Н		1:1
					Лист	Листів	1
					Кафедра ТМ гр. ПМ-21		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Мітюров					
Керівник		Нечаєв					
Н.контр.		Нечаєв					
Затв.		Рязанцев					