

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет механічної інженерії та транспорту
Кафедра технологія машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі
«Вал зубчастий» та обґрунтування параметрів ріжучих інструментів за
допомогою CAD/CAM/CAE систем

Проектував ст.гр. ПМ-21

Чижиков О.А.

Керівник роботи

д.т.н., проф. Кіяновський
М.В.

Кривий Ріг
2025 р

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет механічної інженерії та транспорту
Кафедра технологія машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА
ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал зубчастий» та обґрунтування параметрів ріжучих інструментів за допомогою CAD/CAM/CAE систем

Проектував ст.гр. ПМ-21

Чижиков О.А.

Керівник роботи

д.т.н., проф. Кіяновський М.В.

Нормоконтроль

к.т.н., доц. Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

к.т.н., доц. Рязанцев А.О.

Кривий Ріг
2025 р

Криворізький національний університет
Факультет механічної інженерії та транспорту
Кафедра: технології машинобудування
Освітній рівень: бакалавр
Спеціальність: 131 Прикладна механіка
Освітньо-професійна програма «Прикладна механіка»

Затверджую
Зав. кафедри ТМ к.т.н. доц., Рязанцев А.О.

(підпис)

(дата)

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну бакалаврську роботу

Студент гр. ПМ-21 Чижикову Олександрю Андрійовичу

Тема: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі «Вал зубчастий» та обґрунтування параметрів ріжучих інструментів за допомогою CAD/CAM/CAE систем

1. Керівник проекту д.т.н., проф. Кіяновський М.В.

Тема затверджена наказом по КНУ № 45с від “ 16.01 ” 2025р.

2. Термін подання студентом закінченого проекту 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: 1. Креслення складального вузла.

2. Креслення деталі. 3. Типовий технологічний процес. 4. Річна програма випуску деталі.

4. Зміст пояснювальної записки:

1 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ВУЗЛА

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

3. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ МАРШРУТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

4. РОЗРОБКА ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КАРТИ ДЛЯ ОПЕРАЦІЇ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК У ПРОГРАМНОМУ ПРОДУКТІ FUTURE SAM

5. ПРОЕКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ТА КОНТРОЛЬНОГО ПРИСТОСУВАННЯ

5. Перелік графічного матеріалу: 1. Креслення складального вузла. 2. Креслення заготовки 3. Креслення деталі. 4. Ескізи операцій 5. Креслення верстатно - інструментального налагодження. Креслення верстатного оснащення

6. Календарний план:

Етап роботи	Термін виконання
Аналіз складального вузла розрахунком розмірних ланцюгів 1.1 Службове призначення вузла 1.2. Розробка технологічного процесу складального вузла 1.3 Розробка технологічного процесу складального вузла	До 28.01 2025р.
2 Службове призначення деталі 2.1 Службове призначення деталі Аналіз якості поверхонь деталей Технічний контроль робочого креслення Аналіз технологічності деталі Вибір типу виробництва. Задачі проектування. Пропозиції щодо удосконалення 3. Проектування технологічного процесу 3.1 Вибір, техніко-економічне обґрунтування та проектування заготовок 3.2 Вибір і обґрунтування баз 3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь 3.4 Розробка маршруту обробки деталі 3.5 Розробка технологічних операцій 3.6 Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків на обробку	02.02 2025р.- 20.03.2025р.
4 Техніко-економічне обґрунтування варіантів маршруту технологічного процесу	з 21.03.2025р
5 Розробка верстатно-інструментального налагодження	з 26.04.2025р
6 Проектування технологічного оснащення	до 03.05 2025р.
Попередній захист	10 .06 2025р.

Дата видачі завдання: “18” 01 2025р.

Студент _____ / Чижиков О.А./

Керівник роботи _____ / Кіяновський М.В./

РЕФЕРАТ

Об'єктом проектування є вал зубчастий.

Мета роботи: провести конструкторсько-технологічну підготовку виготовлення валу зубчастого, а також вибір та впровадження технологічного оснащення та його обґрунтування за допомогою САД/САМ/САЕ технологій.

Шляхи досягнення мети відповідають державному стандарту з технологічного підготовлення виробництва, а САПР технології підвищать продуктивність процесу проектування на всіх стадіях.

Послідовність проведена від дослідження надійності деталі в умовах статичних та динамічних навантажень, аналізу технологічності деталі та показників точності, далі проектування заготовки для умов малосерійного виробництва, розмірних аналізів технологічного процесу, побудови технологічного процесу на основі типового.

РЕДУКТОР, ВАЛ ЗУБЧАСТИЙ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ТОЧНІСТЬ,
ПРИПУСКИ, ЗАГОТОВКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ РІЗАЛЬНИЙ
ІНСТРУМЕНТ, ЯКІСТЬ

ABSTRACT

The object of the design is a gear shaft.

The purpose of the work: to conduct design and technological preparation for the manufacture of a gear shaft, as well as the selection and implementation of technological equipment and its justification using CAD/CAM/CAE technologies.

The ways to achieve the goal comply with the state standard for technological preparation of production, and CAD technologies will increase the productivity of the design process at all stages.

The sequence is carried out from the study of the reliability of the part under static and dynamic loads, analysis of the manufacturability of the part and accuracy indicators, then the design of the workpiece for small-scale production, dimensional analysis of the technological process, construction of the technological process based on the typical one.

REDUCER, GEAR SHAFT, TECHNOLOGY, ACCURACY, ASSUMPTIONS,
BLANK, TECHNOLOGY, CUTTING TOOL ADAPTATION, QUALITY

					КНУ.КБР.131.25.1-23.Р			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.	Чижиков				РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кіяновський							
Т.Контр.								
Н. Контр.	Нечаєв							
Затверд.	Рязанцев							
						Каф. ТМ, Гр ПМ-21		

ЗМІСТ

стор.

Вступ	
1. АНАЛІЗ СКЛАДАЛЬНОГО ВУЗЛА РОЗРАХУНКОМ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ	10
1.1.Розрахунок лінійного розмірного ланцюга.....	10
1.2.Розрахунок кутового розмірного ланцюга.....	11
1.3 Аналіз статичний та динамічний у системі SolidWorks SIMULATION	19
2ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ПРОЕКТУ... .	25
2.1.1.Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін.....	25
2.1.2 Аналіз якості поверхонь деталей.....	26
2.1.3 Технічний контроль робочого креслення.....	29
2.1.4 Якісний аналіз технологічності конструкції деталі..	29
2.1.5 Вибір типу виробництва.....	30
3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	33
3.1 Вибір, техніко-економічне обґрунтування заготовки	33
3.2 Вибір і обґрунтування баз.....	40
3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь	42
3.4 Розробка маршруту обробки деталі.....	46
3.5 Розробка технологічних операцій....	48
3.6Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків на обробку	49
3.7Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій	54
3.8 Обґрунтування вибору шліфувального кола для шліфування зубів m 8 на зубошліфувальній операції	62
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ МАРШРУТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ	66
5.РОЗРОБКА ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ.	69
4. ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ	75
Висновки.....	85
Список використаних джерел.....	

					КНУ.КБР.131.25.1-23.3			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Чижиков			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кіяновський						
Н. Контр.		Нечасв				Каф.ТМ гр.ПМ-21		
Зав. каф.		Рязанцев						

ВСТУП

Машинобудування є основою промисловості і відіграє провідну роль у народному господарстві нашої країни, тому що основні виробничі процеси в промисловості, на транспорті й у сільському господарстві виконують машини. Рівень розвитку машинобудування визначає рівень інших галузей народного господарства. Тому машинобудування на Україні розвивається більш високими темпами, ніж інші галузі господарства.

Машинобудування, що забезпечує всі галузі народного господарства технікою, визначає рівень технічного прогресу і впливає на створення матеріально-технічної бази. У зв'язку з цим розвитку машинобудування має першорядне значення.

До машин, проєктованих і виготовлених у даний час, пред'являється загальна вимога відповідності найвищому сучасному світовому технічному рівню. Це забезпечується:

- а) збільшенням продуктивності і потужності машин;
- б) підвищенням швидкостей, тисків і інших показників інтенсивності виробничих процесів;
- в) підвищенням коефіцієнтів корисної дії машин;
- г) зниженням ваги і габаритів;
- д) широкою автоматизацією керування;
- є) підвищенням надійності і довговічності;
- ж) зниженням вартості виготовлення і збільшенням економічної ефективності експлуатації;
- з) зручністю і безпекою обслуговування;
- і) задоволенням вимог технічної естетики.

До деталей машин пред'являють вимоги працездатності, протягом заданого терміну їхньої служби при мінімальній вартості виготовлення й експлуатації.

Надійність машини визначається її конструктивними особливостями, застосовуваною технологією виготовлення і режимів експлуатації.

На основі так названих гнучких виробничих систем, що дозволяють забезпечити випуск оптимальних партій однотипних деталей, можливість переходу на випуск будь-якої деталі з заданої номенклатури, мінімальні терміни підготовки виробництва, мінімальні витрати на випуск інших деталей, можливість функціонування устаткування велику частину доби в автоматичному режимі без втручання і контролю з боку оператора, що дозволяє реалізувати "безлюдну технологію".

					КНУ.КБР.131.25.1-23.В			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.	Чижиков				ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.	Кіяновський							
Реценз.								
Н. Контр.	Нечаєв							
Затверд.	Рязанцев							
						Каф.ТМ, гр.ПМ-21		

Важливим напрямом у розвитку машинобудування на сучасному етапі є упровадження верстатів з числовим програмним керуванням (ЧПК) у вигляді ділянок з цих верстатів з використанням ЕОМ. При цьому значно полегшуються умови праці робітників і обслуговуючого персоналу, різко підвищується культура виробництва.

Одним з найважливіших спрямований у цій області є також впровадження у виробництво промислових роботів і маніпуляторів. Досягнення високого рівня продуктивності можливо також завдяки застосуванню нових конструкцій ріжучого інструмента, а також раціональної його експлуатації.

Головне завдання суспільства полягає в забезпеченні прискорення науково - технічного прогресу і перекладу економіки на інтенсивний шлях розвитку, більш раціонального використання виробничого потенціалу країни, всілякої економії усіх видів ресурсів і поліпшення якості роботи.

Всі ці досягнення сьогодні можна застосувати і для малосерійного виробництва, тим самим скоротивши терміни конструкторсько-технологічної підготовки.

Виходячи з цього студент, що виконує дану роботу визнав за необхідне розробити вдосконалений процес конструкторсько-технологічної підготовки виробництва валу зубчастого редуктору на умовах використання CAD/CAM/CAE технологій.

На базовому підприємстві виготовляються деталі для складання редуктору. Всі технічні рішення виконувались керуючись техніко-економічними розрахунками. Всі розділи мають висновки про доцільність рішення.

Дана робота реальна, зроблений на матеріалі виробництва з врахуванням шляхів розвитку технологічної підготовки виробництва.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.В	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

1 АНАЛІЗ СКЛАДАЛЬНОГО ВУЗЛА РОЗРАХУНКОМ КОНСТРУКТОРСЬКИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ

Зубчастий вал є складовою частиною редуктора, що використовується в механізмах, таких як кранові установки. Основною метою проведення розмірного аналізу складального вузла є забезпечення:

а) необхідного зазору між буртом кришки та торцевою частиною підшипника;

б) належного бокового зазору між зубцями шестерень.

Для вирішення першого завдання формується лінійний розмірний ланцюг, а для другого — кутовий розмірний ланцюг. Обидва ланцюги наведені на рисунку 1.1.

1.1 Розрахунок лінійних розмірних ланцюгів

У процесі складання вузла (рис. 1.1) необхідно забезпечити наявність лінійного зазору між ніжкою кришки та підшипником, який становить певне значення. Відповідно, встановлений допуск на цей зазор є досить жорстким, зважаючи на великі номінальні розміри та значні допуски елементів ланцюга. З метою дотримання вимог до точності була передбачена використання компенсуючої ланки (A8), у якій необхідний зазор досягається завдяки регулюванню положення гвинтів у процесі підналагодження вузла.

Оскільки така ланка дозволяє компенсувати будь-яке відхилення, решті елементів розмірного ланцюга можуть бути задані технологічно досяжні допуски. Відповідні значення фіксуються у таблиці 1.1.

$$T_{A8} = \sum_{i=1}^n (T_{Ai} + \beta_i), \quad (1.1)$$

$$T_{A8} = 2,0 + 0,52 + 2 \cdot 0,15 + 1,15 + 1,15 + 0,15 + 0,43 + 0,62 + 2 \cdot 0,025 + 0,72 + 0,72 + 0,27 + 0,39 + 0,54 = 9,01 \text{ мм}$$

$$\Delta C_{A8} = \sum_{i=1}^n \Delta \vec{C}_i - \sum_{j=1}^m \Delta \vec{C}_j, \quad (1.2)$$

$$\Delta C_{A8} = (0 + 0,195 + 0,27 + 0,125) - (-0,075 + (-0,075) + 0,0125 + 0,36 + 0,36 + 0,135 + 0,0125) = -0,14 \text{ мм}$$

$$ei_{A8} = \Delta C_{A8} - \frac{T_{A8}}{2}; \quad (1.3)$$

$$es_{A8} = \Delta C_{A8} + \frac{T_{A8}}{2};$$

КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ				
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат
Розроб.	Чижиков			
Перевір.	Кіяновський			
Т.Контр.				
Н. Контр.	Нечаєв			
Затверд.	Рязанцев			
АНАЛІЗ СКЛАДАЛЬНОГО ВУЗЛА				
			Лім.	Арк.
			Аркушів	
Каф. ТМ, Гр ПМ-21				

$$ei_{A8} = -0,14 - \frac{9,01}{2} = -4,645\text{мм}; \quad es_{A8} = -0,14 + \frac{9,01}{2} = +4,365\text{мм}$$

$$A_8 = 0_{-4,645}^{+4,365}\text{мм}$$

Величину компенсації визначаємо за формулою:

$$T_k = T_{A8} - [T_\Sigma] \quad (1.4)$$

$$T_k = 9,01 - 0,5 = 8,51\text{мм}$$

Отже, ланка–компенсатор буде дорівнювати $8,51_{-4,645}^{+4,365}\text{мм}$. Таким чином, метод регулювання забезпечує будь-яку точність, а саме головне, технологічно досягну точність та підтримання точності замикаючої ланки впродовж довгого часу, навіть при наявності зношення.

1.2 Розрахунок кутових розмірних ланцюгів

У цьому вузлі (рис. 1.1) виділяються чотири перетини, через які проводяться вертикальні лінії з позначенням номерів. Перетини 1–2 проходять через опори вала і формують основний кутовий розмірний ланцюг γ , який визначає положення вала всередині корпусу. Усі осі та поверхні, що розташовані в цих перетинах, отримують відповідні порядкові номери.

Загалом сформовано три кутові розмірні ланцюги, з яких перетин 2 обраний головним:

- ланцюг γ відповідає за взаємне зміщення та перекіс осей вала в підшипниках;
- ланцюг k характеризує перекіс шестерні відносно опори 2;
- ланцюг β визначає перекіс зубців щодо тієї ж опори.

Кутову схему розмірного ланцюга наведено в таблиці 1.2.

Значення вихідної ланки e_Σ встановлюється відповідно до класу точності зачеплення блоку шестерень (усі допуски — 8-й ступінь, із видом бокового зазору 8-В). Для міжосьової відстані 432 мм визначено граничне відхилення, як і для відстані 575 мм — воно становить кілька мікрометрів. За основу береться половина допуску, яка і приймається як вихідне значення.

Допустиме зміщення осей отворів у корпусі не повинно перевищувати половину мінімального гарантованого бокового зазору: $f_a \text{ min} = 125 \text{ мкм}$.

									Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат					

КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ

Таблиця 1.1 – Розрахунок розмірного ланцюга А методом регулювання

Призначення розмірного ланцюга	Ланцюг А: Забезпечення зазору між підшипником та торцем кришки	Значення вихідної ланки	$A_{\Sigma} = 0_{+0,1}^{+0,6} \text{ мм} ; T_{\Sigma} = 0,5 \text{ мм} ; \Delta \tilde{N}_{\Sigma} = +0,35 \text{ мм}$			
	Вихідні дані	Розрахункові величини				
	Позначення ланки	Номинальні розміри	Квалітет точності, IT	Допуск, мм	Розміри з відхиленнями	ΔC_i
	$\overleftarrow{A_1}$	682	$\pm IT14/2$	2,0	$682 \pm 1,0$	0
	$\overleftarrow{A_2}$	30	$\pm IT14/2$	0,52	$30 \pm 0,26$	0
	$\overleftarrow{A_3} = \overleftarrow{A_7}$	86	ст.	0,15	$86_{-0,15}$	-0,075
	$\overleftarrow{A_4}$	184	$\pm IT14/2$	1,15	$184 \pm 0,575$	0
	$\overleftarrow{A_5}$	240	$\pm IT14/2$	1,15	$240 \pm 0,575$	0
	$\overleftarrow{A_6}$	18	$\pm IT14/2$	0,43	$18 \pm 0,215$	0
	$\overleftarrow{A_8}$	0	$\pm IT14/2$	0,15	$0_{+0,05}^{+0,2}$	+0,125
	$\overleftarrow{A_9}$	38	$\pm IT14/2$	0,62	$38 \pm 0,31$	0
$\overleftarrow{\beta_2}$	180	ст.	0,025	-	0,0125	
$\overleftarrow{\beta_4}$	184	13	0,72	-	0,36	
$\overleftarrow{\beta_6}$	240	13	0,72	-	0,36	
$\overleftarrow{\beta_8}$	18	13	0,27	-	0,135	
$\overleftarrow{\beta_{10}}$	180	ст.	0,025	-	0,0125	
$\overleftarrow{\beta_{12}}$	38	13	0,39	-	0,195	
$\overleftarrow{\beta_{14}}$	83	13	0,54	-	0,27	
<p>Розрахунок розмірного ланцюга</p> <p>$\overleftarrow{A_1}$ – відстань між торцями корпуса;</p> <p>$\overleftarrow{A_2}, \overleftarrow{A_9}$ - висота кришки;</p> <p>$\overleftarrow{A_3}, \overleftarrow{A_7}$ - ширина підшипника;</p> <p>$\overleftarrow{A_4}$ - ширина втулки;</p> <p>$\overleftarrow{A_5}$ - ширина зубчастого колеса;</p> <p>$\overleftarrow{A_6}$ - висота ніжки втулки;</p> <p>$\overleftarrow{A_8}$ - відстань між торцем кришки та підшипником;</p> <p>$\overleftarrow{A_{12}}$ – відстань від торця кришки до середини зубів</p> <p>$\overleftarrow{\beta_2}, \overleftarrow{\beta_{10}}$ - биття підшипників;</p> <p>$\overleftarrow{\beta_4}$ - торцеве биття втулки;</p> <p>$\overleftarrow{\beta_6}$ - торцеве биття зубчастого колеса;</p> <p>$\overleftarrow{\beta_8}$ - торцеве биття ніжки втулки;</p> <p>$\overleftarrow{\beta_{12}}$ - торцеве биття кришки;</p> <p>$\overleftarrow{\beta_{14}}$ - торцеве биття валу.</p>		$T_{A8} = 2,0 + 0,52 + 2 \cdot 0,15 + 1,15 + 1,15 + 0,15 + 0,43 + 0,62 + 2 \cdot 0,025 + 0,72 + 0,72 + 0,27 + 0,39 + 0,54 = 9,01 \text{ мм}$ $T_{A8} = 2,0 + 0,52 + 2 \cdot 0,15 + 1,15 + 1,15 + 0,15 + 0,43 + 0,62 + 2 \cdot 0,025 + 0,72 + 0,72 + 0,27 + 0,39 + 0,54 = 9,01 \text{ мм}$ $T_{\kappa} = 9,01 - 0,5 = 8,51 \text{ мм}$				

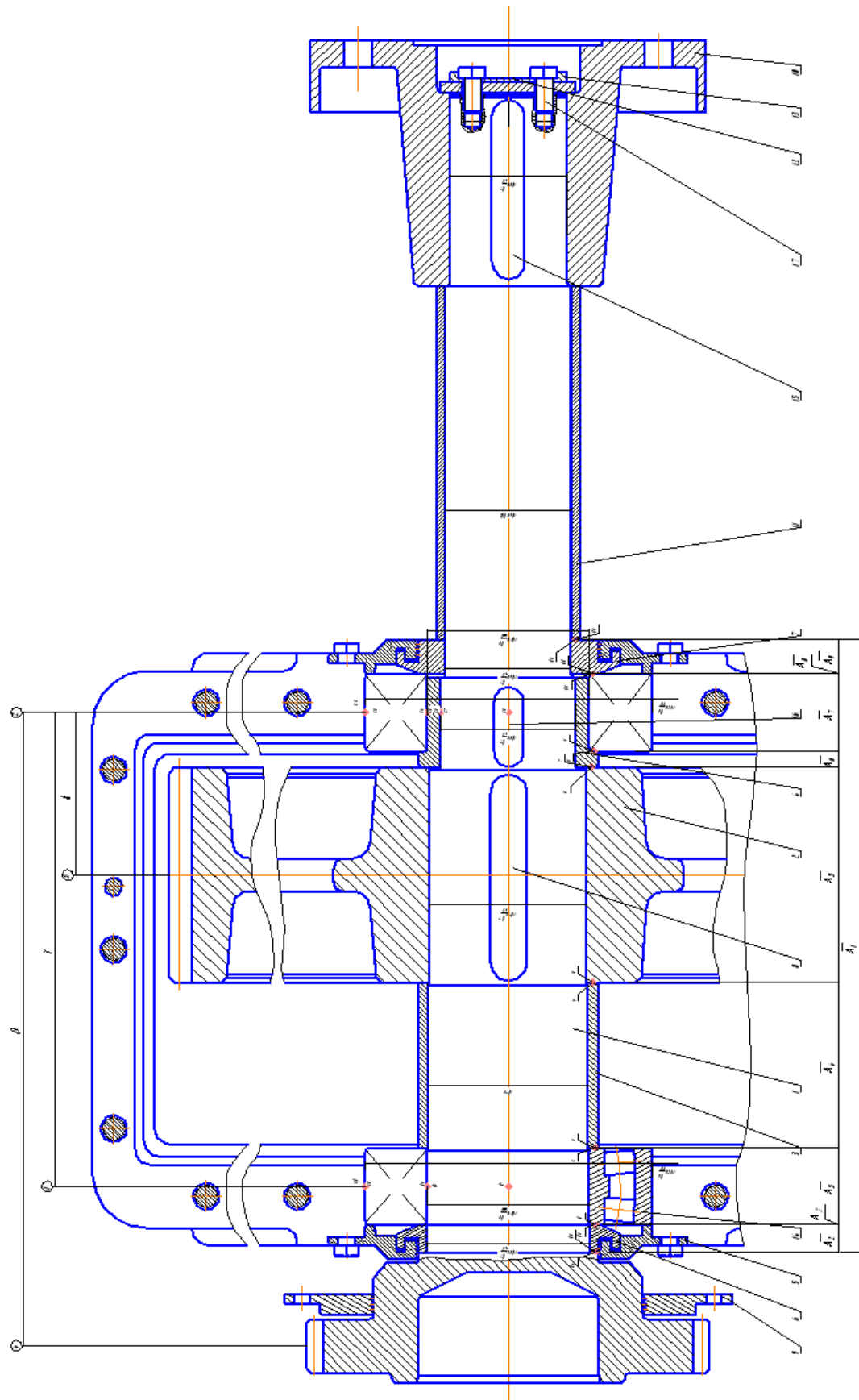


Рисунок 1.1 – Схеми лінійних та кутових розмірних ланцюгів у складальному вузлі

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Підшипник класу точності 0. Вибираємо граничні відхилення на посадочні розміри підшипників і їх радіальне биття При визначенні e_{19} , e_{24} радіальне биття внутрішнього і зовнішнього кілець підсумовується по виразу:

$$e_{19} = \frac{e_{19вн.} + e_{19зов.}}{2} \quad (1.5)$$

Зсув осей отворів в корпусі вибирається з таблиці і повинен знаходитися в межах половини гарантованого бокового зазору $f_{a \min}$, тобто $[e_{\Sigma}] < 125 \text{ мкм}$.

$$S_1 = S_4: \text{Ø}180 \frac{L6}{m6} \left(\begin{array}{c} -0,025 \\ +0,040 \\ +0,015 \end{array} \right) \text{ мм};$$

$$S_2; S_3: \text{Ø}320 \frac{N6}{l6} \left(\begin{array}{c} -0,026 \\ -0,082 \\ -0,040 \end{array} \right) \text{ мм};$$

$$S_5: \text{Ø}150 \frac{H7}{s6} \left(\begin{array}{c} +0,040 \\ +0,125 \\ +0,100 \end{array} \right) \text{ мм}; \quad e_{19} = e_{24} = \frac{30+70}{2} = 50 \text{ мкм};$$

Всі розрахунки заносимо до таблиці 1.2.

Допуски зазорів визначаємо за формулою:

$$Ts_i = S_{\max i} - S_{\min i}, \quad (1.6)$$

де S_{\max} – максимальний зазор;

S_{\min} – мінімальний зазор.

$$S_{\max} = ES - ei; \quad S_{\min} = EI - es, \quad (1.7)$$

де ES, EI – верхнє і нижнє відхилення отвору;

es, ei – верхнє і нижнє відхилення вала.

$$S_1 \max = S_4 \max = 0 - 0,015 = -0,015 \text{ мм};$$

$$S_1 \min = S_4 \min = -0,025 - 0,040 = -0,065 \text{ мм}.$$

Тобто в спряженні забезпечується натяг. В подальших розрахунках враховуємо тільки зазор, тому: $Ts_{1,4} = 0 \text{ мм}$.

$$S_2 \max = S_3 \max = -0,026 - (-0,040) = 0,014 \text{ мм};$$

$$S_2 \min = S_3 \min = -0,082 - 0 = -0,082 \text{ мм};$$

$$Ts_2 = 0,014 + 0,082 = 0,096 \text{ мм}.$$

Тобто в спряженні забезпечується зазор, який і враховуємо у подальших розрахунках.

$$S_5 \max = 0,040 - 0,100 = -0,060 \text{ мм};$$

$$S_5 \min = 0 - 0,125 = -0,125 \text{ мм}.$$

Тобто в спряженні забезпечується натяг. В подальших розрахунках враховуємо тільки зазор, тому: $Ts_5 = 0 \text{ мм}$.

Координату середини поля допуску зазору визначаємо за формулою:

$$em_{\Sigma} = \frac{em_D + em_d}{2} \quad (1.8)$$

									Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ				

$$em_D = \frac{ES + EI}{2}; \quad em_d = \frac{es + ei}{2}, \quad (1.9)$$

$$em_{s1} = em_{s4} = \frac{0,0125 + 0,0275}{2} = +0,02 \text{ мм};$$

$$em_{s2} = em_{s3} = \frac{-0,028 + 0,02}{2} = +0,004 \text{ мм};$$

$$em_{s5} = \frac{0,02 + 0,0125}{2} = +0,01625 \text{ мм}.$$

Допуск на вихідну ланку визначаємо по ймовірному методу для проектних розрахунків за формулою:

$$Te_{\Sigma} = \sqrt{0,36 \cdot \sum_{i=1}^n T_{si}^2 + 0,56 \cdot \sum_{j=1}^m T_{ej}^2}, \quad (1.10)$$

Te_{Σ}

$$= \sqrt{0,36 \cdot (2 \cdot 0^2 + 2 \cdot 0,096^2 + 0^2) + 0,56 \cdot (2 \cdot 0,02^2 + 2 \cdot 0,05^2 + 0,025^2 + 0,04^2)}$$

$$== 0,1055 \text{ мм}.$$

Координату середини поля допуску визначаємо за формулою:

$$em_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n [em_{si} + 0,5 \cdot \bar{T}_{ei} + 0,05 \cdot (\bar{T}_{si} + \bar{T}_{ei})] - \sum_{j=1}^m [em_{sj} + 0,5 \cdot \bar{T}_{ej} + 0,05 \cdot (\bar{T}_{sj} + \bar{T}_{ej})], \quad (1.11)$$

$$em_{e\Sigma} = [(0,02 + 0,004 + 0,01625) + 0,5 \cdot (0,02 + 0,05 + 0,025 + 0,04) + 0,05 \cdot (0 + 0,096 + 0 + 0,02 + 0,05 + 0,025 + 0,04)] - [(0,02 + 0,04) + 0,5 \cdot (0,02 + 0,05) + 0,05 \cdot (0 + 0,096 + 0,02 + 0,05)] = 0,0252 \text{ мм}.$$

Визначаємо граничні відхилення замикаючої ланки величини зміщення вісі вала зубчастого в опорах за формулою:

$$es_{e\Sigma} = em_{e\Sigma} + \frac{Te_{\Sigma}}{2}; \quad ei_{e\Sigma} = em_{e\Sigma} - \frac{Te_{\Sigma}}{2}, \quad (1.12)$$

$$es_{e\Sigma} = 0,02 + \frac{0,1055}{2} = +0,10475 \text{ мм};$$

$$ei_{e\Sigma} = 0,02 - \frac{0,1055}{2} = -0,00075 \text{ мм};$$

$$e_{\Sigma} = 0_{-0,00075}^{+0,10475} \text{ мм}.$$

Визначимо величину перекіс 1, 3 та 4. Перетин 2 обираємо основним, у перетині 1 перекіс буде в межах зміщення $Te_{\Sigma} = 0,1055 \text{ мм}$. Перекіс визначимо зі схеми наведеної на рисунку 1.2. за формулою (1.2).

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

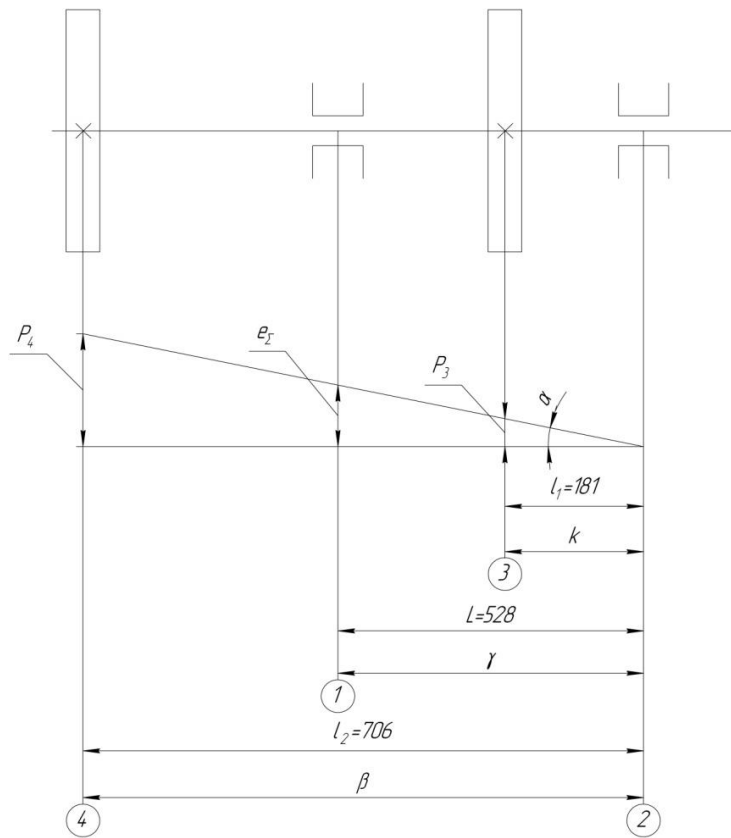


Рисунок 1.2 – Схема відносного перекосу в зубчастому зачепленні

$$P_{\Sigma} = \frac{e_{\Sigma} \cdot l}{L}, \quad (1.13)$$

$$P_{3\Sigma} = \frac{e_{\Sigma} \cdot l_1}{L} = \frac{0,1055 \cdot 181}{528} = 0,036 \text{ мм};$$

$$P_{4\Sigma} = \frac{e_{\Sigma} \cdot l_2}{L} = \frac{0,1055 \cdot 706}{528} = 0,14 \text{ мм}.$$

Отриманий перекіс не повинен перевищувати мінімальний гарантований боковий зазор $f_a < p_i$.

Боковий зазор призначений для компенсації похибок виготовлення і складання, температурних деформацій і вільного розміщення мастила. Для перетину 3 знаходимо гарантований боковий зазор $f_a = 450 \text{ мкм}$.

Загальна похибка в перетині 3

$$Te_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + e_{\Sigma}^2} = \sqrt{0,036^2 + 0,1055^2} = 0,11 \text{ мм};$$

$$Te_{\Sigma} < f_a: 0,11 < 0,450 \text{ мм}.$$

Для перетину 4 порівнюємо набуте значення перекосу із $f_a = 280 \text{ мкм}$.

Загальна похибка в перетині 4

$$Te_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + e_{\Sigma}^2} = \sqrt{0,14^2 + 0,1055^2} = 0,175 \text{ мм};$$

$$Te_{\Sigma} < f_a: 0,175 < 0,280 \text{ мм}.$$

Тобто перекоси осей валу зубчастого під зубчасті колеса значно менше допустимих значень.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 1.2 – Розрахунок кутового розмірного ланцюга

Позначення і призначення розмірного ланцюга	Ланцюг γ : визначення відносного зміщення втулки	Призначення вихідної ланки розмірного ланцюга	Ланцюг γ визначає відносний зсув і перекіс осей валу в підшипникових опорах				
Зображення розмірного ланцюга			Шукана величина	Значення шуканої величини			
			e_{Σ}	$\pm 62,5 \mu\text{м}$			
			$em_{e_{\Sigma}}$	0,0252 мм			
			Te_{Σ}	0,1055 мм			
			P_{Σ}	0,036-0,14			
Ланка	Найменування розміру і посадки	Величина	em_i , мм	em_{si} , мм	Ts_i , мм	α_i	K_i
\vec{S}_1	- посадка внутрішнього кільця підшипника на вал	$\varnothing 180 \frac{L6}{m6} \left(\begin{matrix} -0,025 \\ +0,040 \\ +0,015 \end{matrix} \right) \ddot{i}$	$\frac{+0,0125}{+0,0275}$	+0,02	0	0,1	1,2
$\vec{S}_2 = \vec{S}_3$	- посадка зовнішнього кільця підшипника в корпус	$\varnothing 320 \frac{N6}{l6} \left(\begin{matrix} -0,026 \\ -0,082 \\ -0,040 \end{matrix} \right) \ddot{i}$	$\frac{-0,028}{+0,02}$	+0,004	0,096	0,1	1,2
\overleftarrow{S}_4	- посадка внутрішнього кільця підшипника на втулку	$\varnothing 180 \frac{L6}{m6} \left(\begin{matrix} -0,025 \\ +0,040 \\ +0,015 \end{matrix} \right) \ddot{i}$	$\frac{+0,0125}{+0,0275}$	+0,02	0	0,1	1,2
\vec{S}_5	- посадка втулки на вал.	$\varnothing 150 \frac{H7}{s6} \left(\begin{matrix} +0,040 \\ +0,125 \\ +0,100 \end{matrix} \right) \ddot{i}$;	$\frac{+0,02}{+0,0125}$	+0,01625	0	0,1	1,2
$\overrightarrow{e_{17}} = \overleftarrow{e_{28}}$	- ексцентриситет посадкових шийок вала	$\frac{0,04}{2} = 0,02 \ddot{i}$	0,01	-	-	0,1	0,75
$\overrightarrow{e_{19}} = \overleftarrow{e_{24}}$	- половина радіального биття підшипників;	$\frac{0,03 + 0,07}{2} = 0,05 \ddot{i}$	0,025	-	-	0,1	0,75
$\overrightarrow{e_{25}}$	- неспіввісність внутрішньої та зовнішньої поверхні втулки;	$\frac{0,05}{2} = 0,025 \ddot{i}$	0,0125	-	-	0,1	0,75
$\overrightarrow{e_{22}}$	- зміщення осей отворів в корпусі	0,04	0,02	-	-	0,1	0,75

Складаємо схему зборки вузла (рисунок 1.3).

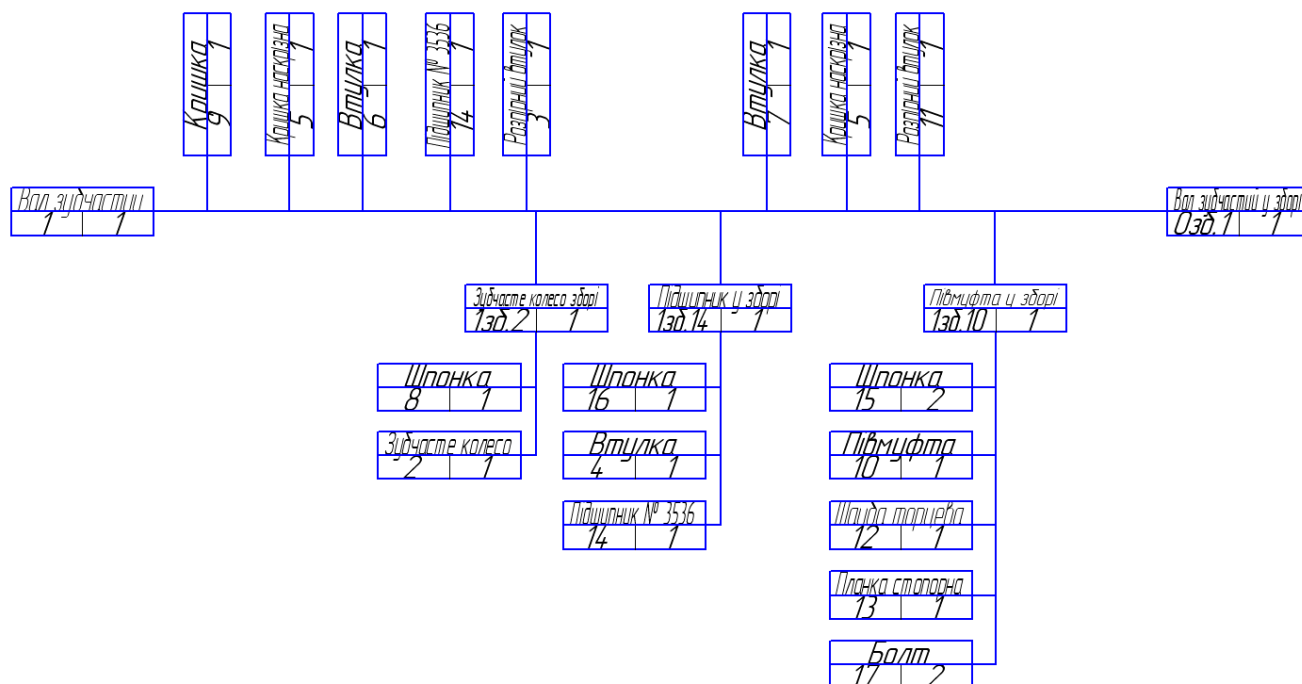


Рисунок 1.3 – Схема складання вала зубчастого у зборі

Таблиця 1.5- Технологічний процес складання вала в зборі

№ опер	1. Найменування операції 2. Найменування переходу	Пристосування	T_{on} , хв
1	2	3	4
005	1. Підготовка робочого місця Перед початком слюсарно-складальних робіт необхідно: розчистити від зайвих матеріалів, вантажів та сміття. Перевірити наявність індивідуальних засобів захисту охорони праці, оснащення для виконання робіт, а потім проводити слюсарно-складальні роботи на складальних плитах згідно технологічного процесу, слідувати вимогам безпеки праці.	-	2 0,48
010	1. Підготовка деталей 1.1. Очистити деталі від стружки, іржі, бруду і зняти напливи і виступи в необроблених місцях 1.2. Промити в керосині весь комплект деталей (підшипники в бензині) і продути повітрям, посадкові місця та різьбові з'єднання змазати змащенням	Складальні плити Ванна	2 2,64

Лис

КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ

Змн. Лис № докум. Підпис Дат

015	1. Складання валу		
	1.1. Зняти у деталей заусенці й притупити гострі кромки	Складальні плити	1,54
	1.2 Надіти кришку 9	- - -	1,25
	1.3 Надіти кришку 5	- - -	1,22
	1.4 Надіти втулку 6	- - -	1,22
	1.5 Розігріти в електричній масляній ванні роликотідшипник 22 до 90°	Ванна	20
	1.6 Насадити на шийку вала роликотідшипник 14 до упору в бурт	Складальні плити	1,12
	1.7 Надіти на вал втулку 3	- - -	1,22
	1.8 Запресувати у вал шпонку 8	- - -	1,12
	1.9 Надіти зубчасте колесо	- - -	4,6
	1.10 Запресувати у вал шпонку 16	- - -	1,12
	1.11 Надіти на вал втулку 4	- - -	1,22
	1.12 Розігріти в електричній масляній ванні роликотідшипник 22 до 90°	Ванна	20
1.13 Насадити на втулку роликотідшипник 14 до упору в торець втулки	Складальні плити	1,12	
1.14 Надіти втулку 7 на вал	- - -	1,22	
1.15 Надіти кришку 5 на втулку	- - -	1,21	
1.16 Надіти втулку 11 на вал	- - -	1,22	
1.17 Запресувати у вал 2 шпонки 15	- - -	1,24	
1.18 Надіти на вал пів муфту 10	- - -	3,45	
1.19 Надіти на вал торцеву шайбу 12, стопорну планку 13, загвинтити двома болтами 17.	- - -	1,83	
Загальний час на складальні операції			51,7

Висновок: в результаті розрахунку розмірних ланцюгів було виявлено, що вузол складається за методом регулювання. Зазор при складанні регулюється за допомогою болтів.

1.3 Аналіз статичний та динамічний у системі SolidWorks SIMULATION

Виконаємо інженерний аналіз у модулі CAE SolidWorks Simulation, обравши тип дослідження — статичний. Метою аналізу є вивчення поведінки зубчастого вала під впливом прикладених навантажень, а також визначення реакції зубців на зусилля, що діють у зонах встановлення зубчастого колеса та напівмуфти на циліндричних поверхнях вала.

											Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ						



Load name	Load Image	Load Details
Torque-1		Entities: 4 face(s) Reference: Face< 1 > Type: Apply torque Value: 20 N.m

Рисунок 1.3- Завдання обертового моменту на 4 зуба

Обираємо матеріал валу зубчастого – сталь 40Х та додаємо кріплення «зафіксована геометрія» на кріпильні пази, «ролик / повзун» – на шпонкові місця валу зубчастого. Створюємо навантаження у вигляді сили 20 Нм на циліндричні поверхні (посадкові місця колеса зубчастого та напівмуфти).

Material Properties

Model Reference	Properties	Components
	Name: Alloy Steel Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Max von Mises Stress Yield strength: 6,20422e+08 N/m ² Tensile strength: 7,23826e+08 N/m ² Elastic modulus: 2,1e+11 N/m ² Poisson's ratio: 0,28 Mass density: 7 700 kg/m ³ Shear modulus: 7,9e+10 N/m ² Thermal expansion coefficient: 1,3e-05 /Kelvin	SolidBody 1 (БАЛ.stp)(БАЛ)
Curve Data: N/A		

Рисунок 1.4- Аналіз матеріалу

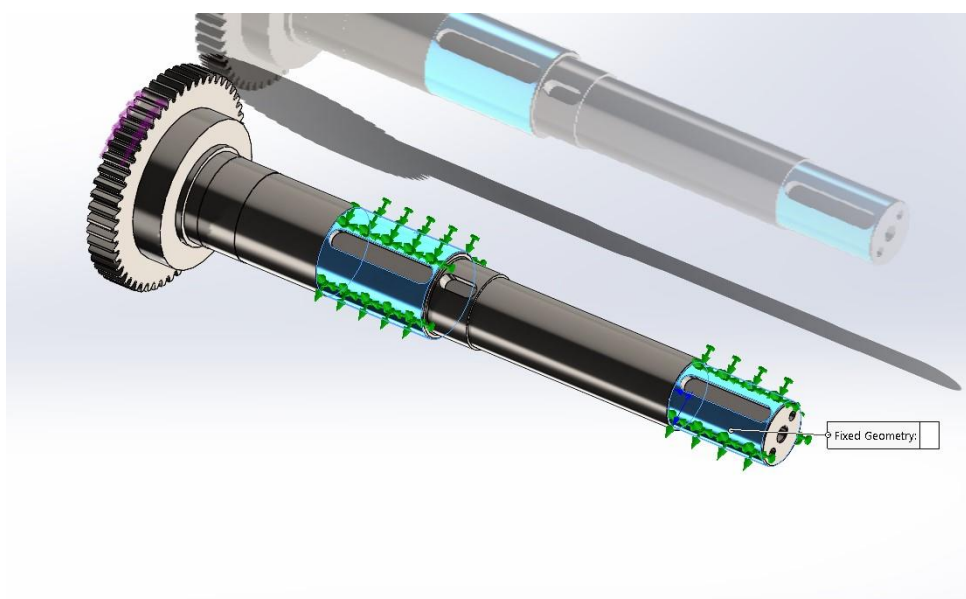


Рисунок 1.5- Кріплення та навантаження прикладені в місцях шпонкового з'єднання з колесом зубчастим та напівмуфтою

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

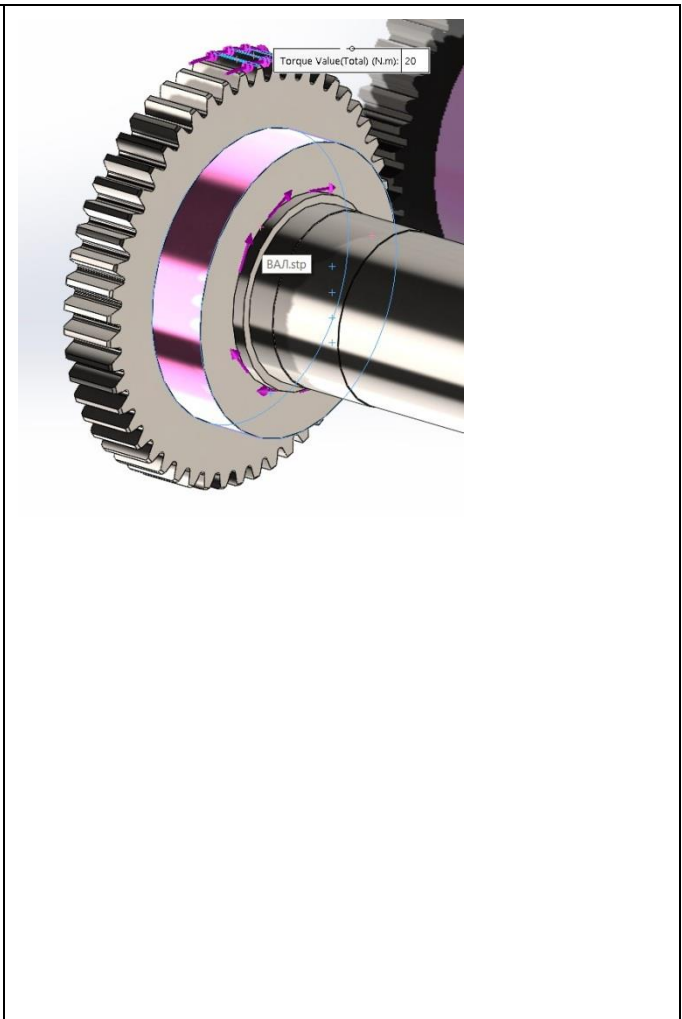
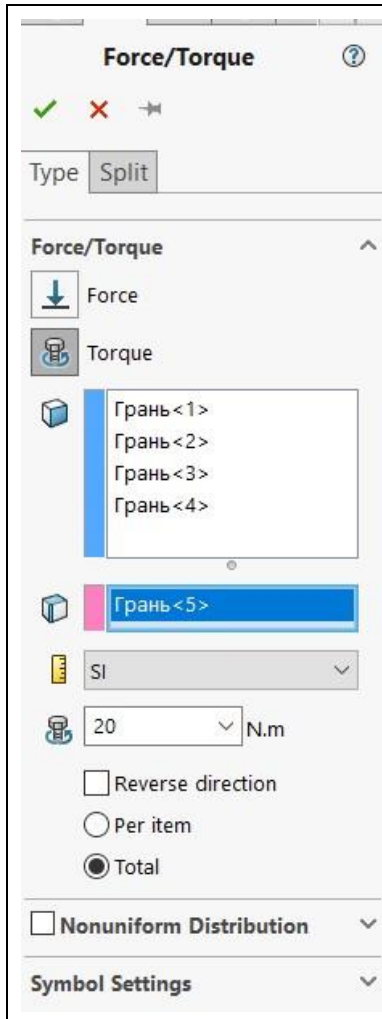


Рисунок 1.6- Задання обертового моменту

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

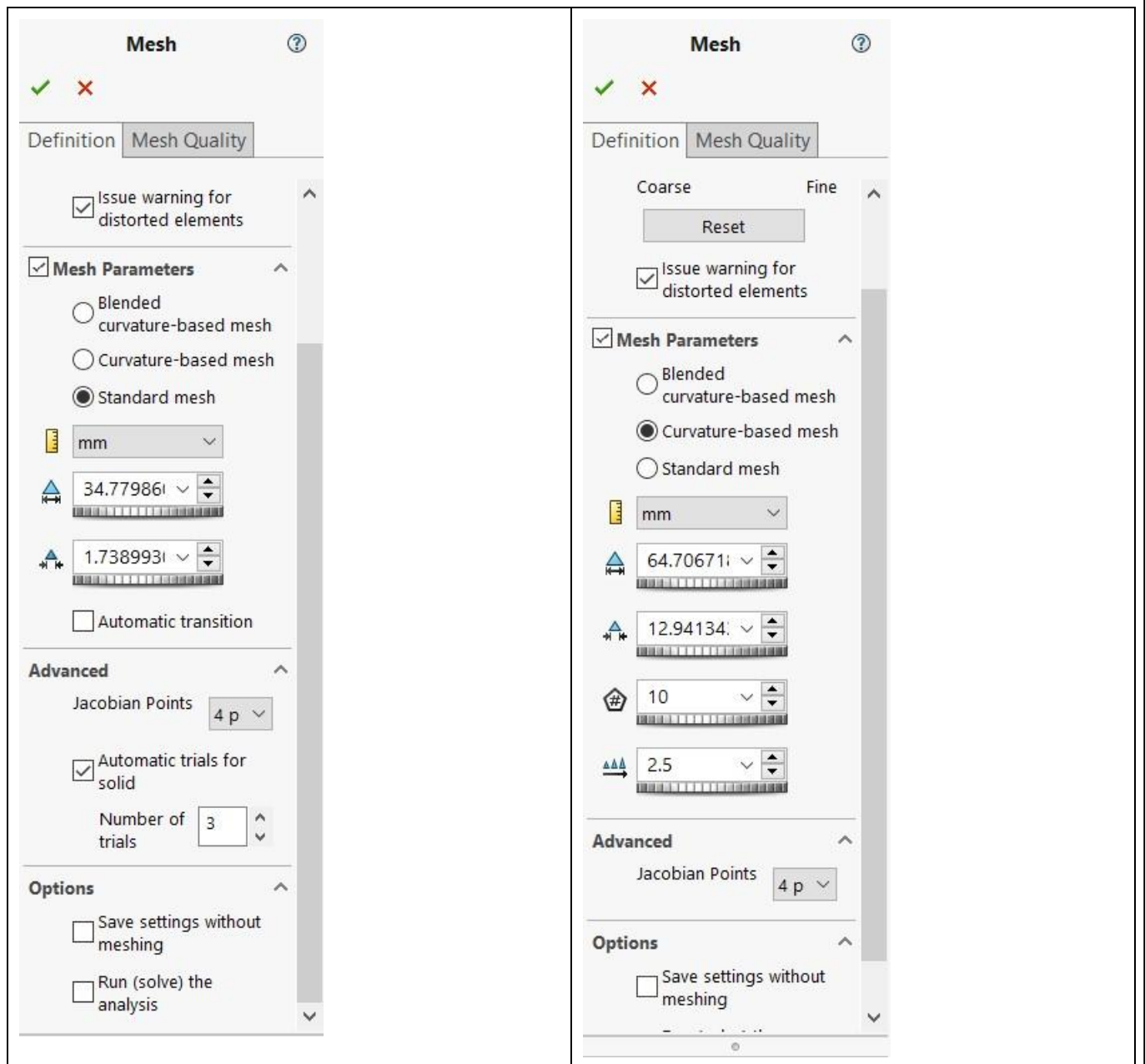


Рисунок 1.7- Характеристика сітки Якобіана

Створення сітки з розмір елемента 4. Коефіцієнт Якобіана складає 2,5, що менше 10 і є високою якістю сітки.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

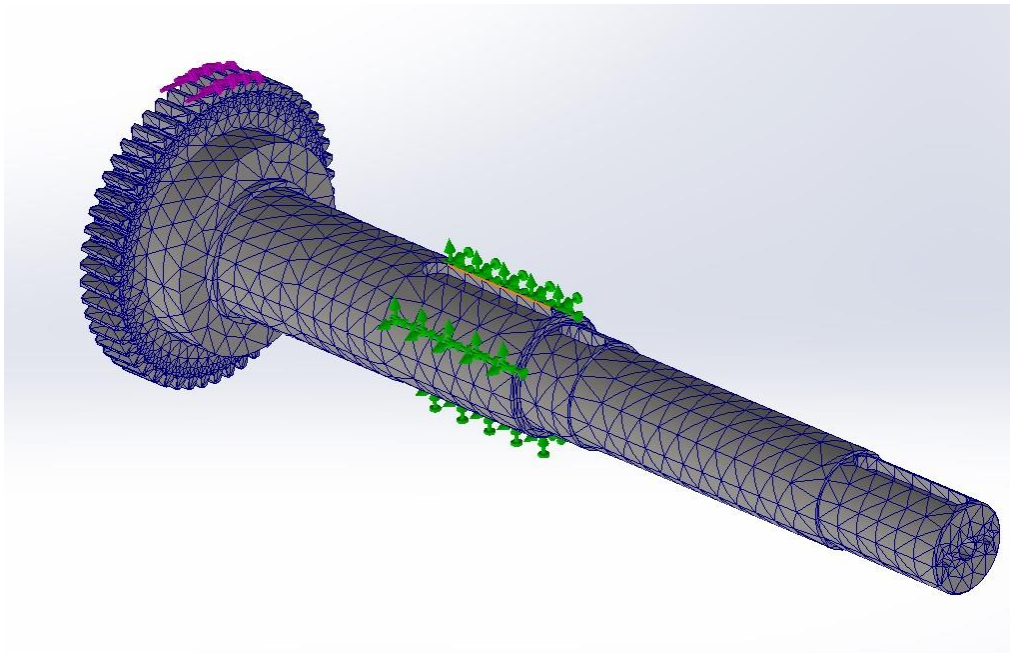


Рисунок 1.8- Створення сітки

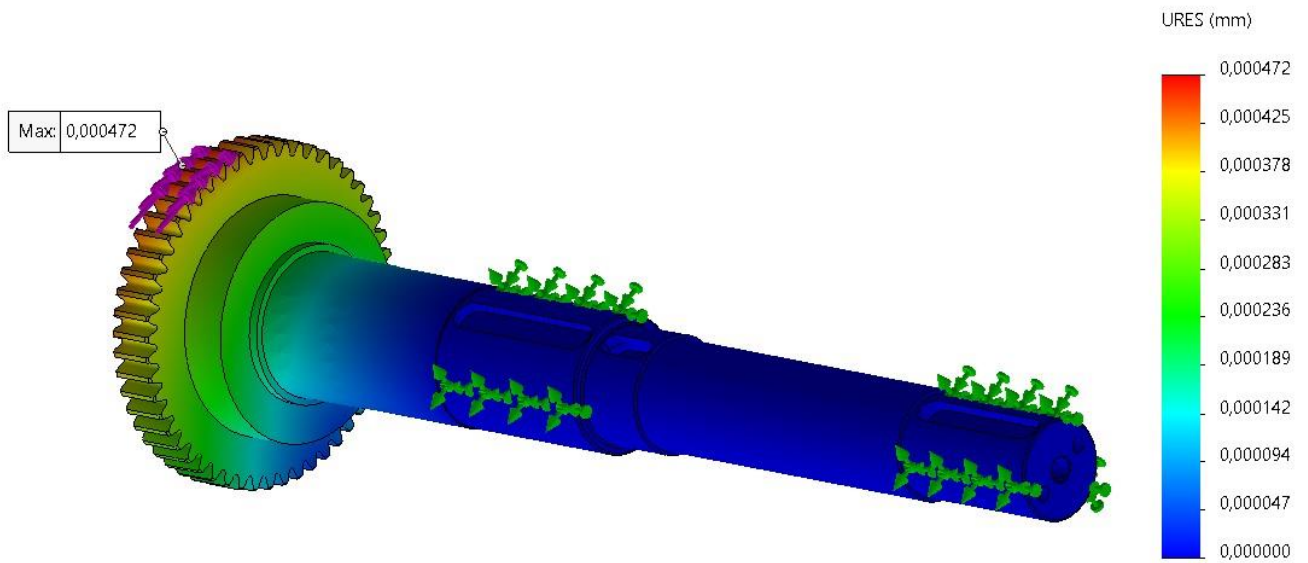


Рисунок 1.9 – Епюра еквівалентної деформації

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

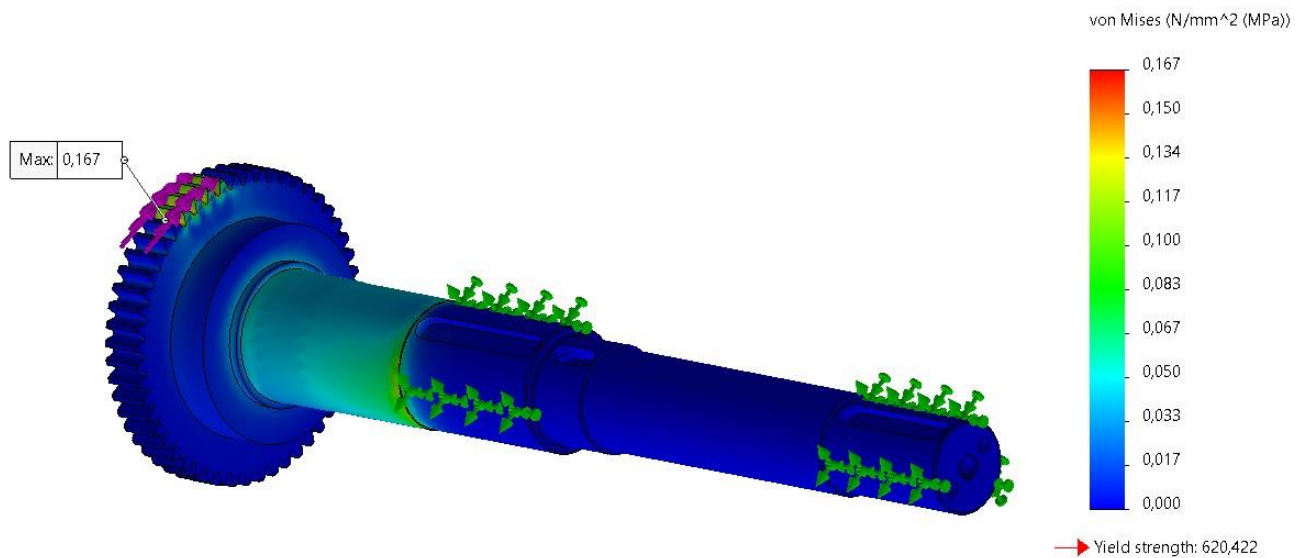


Рисунок 1.10 – Епюра запасу міцності

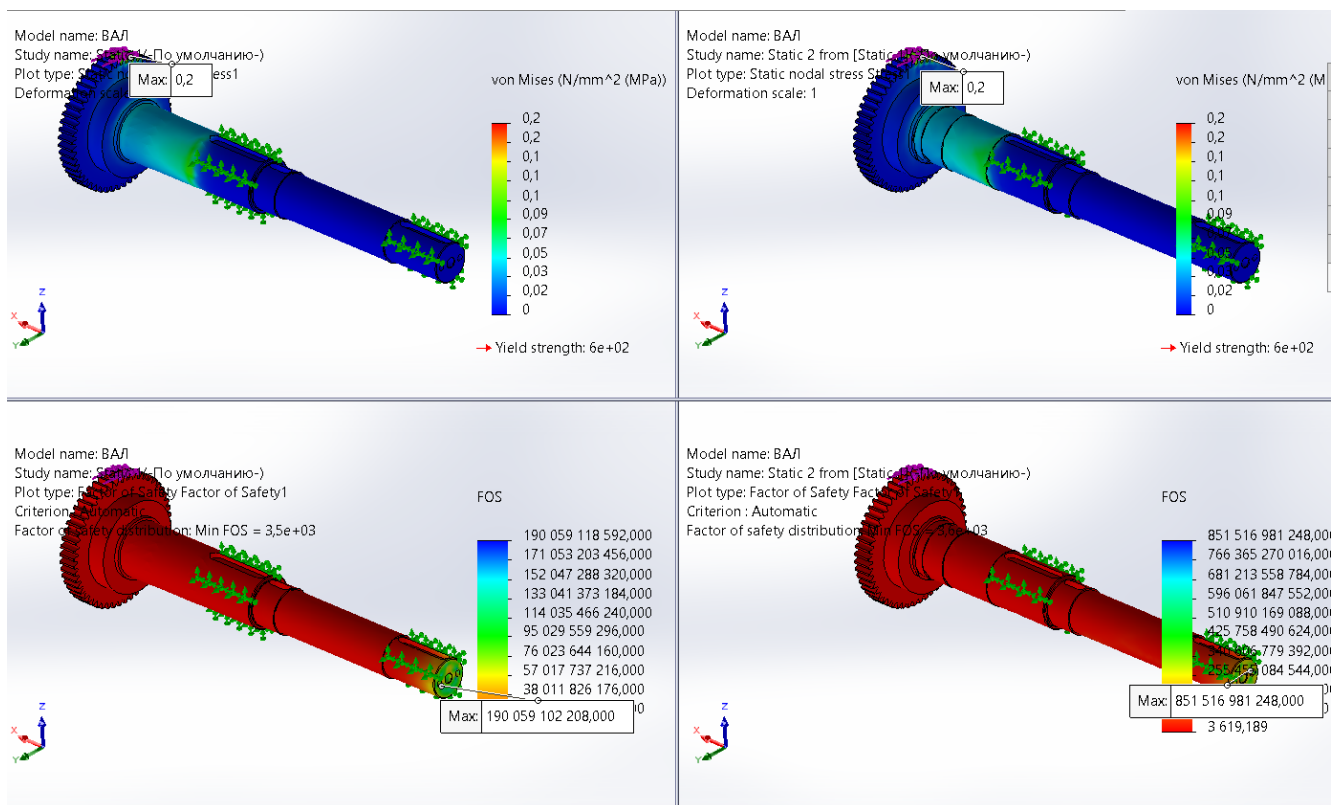


Рисунок 1.11- Режим порівняння результатів

Висновки: Напруження, деформації та переміщення які виникали при роботі вала не перевищує допустимі матеріалом. Максимальні напруження не перевищували границю міцності вала. Коефіцієнт запасу $3,5 \times 10^3$.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.01.АСВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

2 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНИХ ДАНИХ ПРОЕКТУ

2.1 Службове призначення деталі. Вибір матеріалу і варіантів замін

Зубчастий вал — це обертовий елемент, призначений для розміщення та підтримки деталей, таких як зубчасті колеса, шків, муфти тощо, а також для передавання крутного моменту. Матеріал вала повинен мати високу міцність, пластичність і стійкість до впливу концентраторів напружень.

Під час роботи зубчастий вал зазнає згинальних і крутних деформацій, при цьому найбільші напруження виникають у поверхневих шарах, де найчастіше і зосереджуються концентратори. Зазвичай при змінних навантаженнях втомні тріщини зароджуються саме на поверхні в результаті дії розтягувальних напружень. У випадку наявності залишкових напружень стиснення на поверхні, вони частково компенсують зовнішні розтягувальні сили, що в підсумку сприяє підвищенню межі витривалості вала.

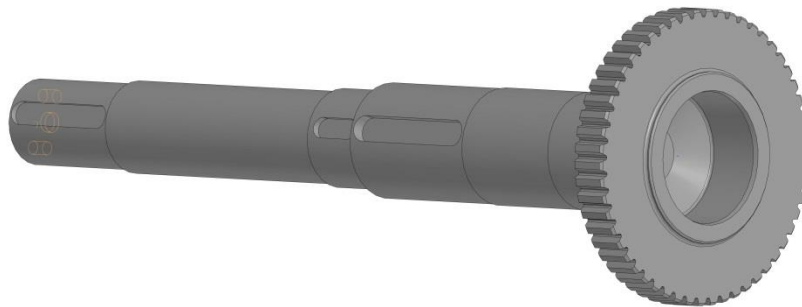


Рисунок 2.1-3D модель валу зубчастого

Для сталі 40Х застосовується поліпшена термічна обробка, що включає гартування при температурі 850 °С з подальшим високим відпуском і охолодженням на повітрі. Такий режим забезпечує оптимальне співвідношення міцності та в'язкості матеріалу. Після гартування (температура 640–500 °С) структура сталі набуває дрібногочастого мартенситу.

Зубчасті елементи проходять поверхневе гартування методом СВЧ для підвищення зносостійкості, міцності та довговічності. Режим обробки: нагрів до 880–920 °С із подальшим охолодженням у маслі. В результаті досягається твердість HRC 55–62. Наступним етапом є низький відпуск при температурі 160–200 °С з охолодженням у маслі, що дозволяє зменшити внутрішні напруження, отримані під час гартування, покращити міцність деталі і дещо підвищити її в'язкість.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА		
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.	Чижиков				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кіановський						
Т.Контр.					Каф. ТМ , Гн ПМ-21		
Н. Контр.	Нечаєв						
Затверд.	Рязанцев						
					ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ		

Використання індукційного нагріву дає змогу значно скоротити тривалість термічної обробки, збільшити продуктивність, уникнути утворення окалини (що зменшує припуски на остаточну обробку), а також знизити ризик деформацій і короблення деталі.

Вал виготовлено зі сталі марки 40Х згідно з ДСТУ 7806:2015. Ця сталь характеризується складністю зварювання та схильністю до відпускнуї крихкості. У разі потреби можливе використання альтернативного матеріалу — сталі 45Х. Дані про матеріали приводяться в таблицях 2.1 та 2.2.

Таблиця 2.1-Хімічний склад сталей 40Х і 45Х (ДСТУ 7806:2015)

Склад	С	Si	Mn	Cr	Ni	Cu	S	P
					не більше			
40Х	0,36-0,44	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	0,3	0,3	0,035	0,035
45Х	0,41-0,49	0,17-0,37	0,5-0,8	0,8-1,1	0,3	0,3	0,035	0,035

Таблиця 2.2- Механічні властивості сталей 40Х і 45Х(ДСТУ 7806:2015)

Властивості	σ_T , МПа	σ_{BP} , МПа	δ_5 , %	ψ , %	а _н , Дж/см ²	Твердість НВ
	не менше					не більше
40Х	780	980	10	45	59	179
45Х	650	850	10	45	59	241

2.2 Аналіз якості поверхні деталі

Присвоюємо номери поверхням деталі, яка представлена на рисунку 2.1.

Основною поверхнею, яка відповідають за положення вала зубчастого у вузлі, є поверхня під підшипник 7 та упорний торець 22, 23, до яких пред'являються високі вимоги по точності й шорсткості, а також вимоги до точності форми.

Допоміжна поверхня 5. До виконавчих поверхонь відноситься зубчатий вінець 15. Спряжені поверхні –: 1, 2, 3, 4, 6, 8, 9, 10, 27, 29, 30, 31, 32.

Таблиця 2.3 – Аналіз якості поверхонь

№ поверхні	Номінальний розмір	Квалітет точності, IT	Допуск Т чи відхилення розміру	Шорсткість, Ra	Відхилення форми і розташування поверхонь		
1	2	3	4	5	6		
1	Ø130	s6	+0,117 +0,092	1,6		0,03	Д
						0,008	
2	Ø140	h12	-0,400	12,5			

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА			Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат				

1	2	3	4	5	6		
3	Ø140	js6	+0,125 -0,125	3,2		0,0	Д
						0,008	
4	Ø150	s6	+0,125 +0,100	1,6		0,03	Д
						0,008	
5	Ø175	s6	+0,133 +0,108	1,6		0,03	Д
						0,008	
6	Ø178	h14	-1,0	12,5			
7	Ø180	m6	+0,052 +0,027	1,6		0,03	Д
						0,008	
8	Ø182	js6	+0,145 -0,145	3,2			
9	Ø200	h11	-0,290	12,5			
10	Ø300	h12	-0,520	3,2			
11	Ø90	H14	+0,870	12,5			
12	Ø200	H7	+0,046	1,6			
13	Ø204	H14	+1,150	12,5			
14	Ø260	h14	-1,300	12,5			
15	Ø432	8B	71	1,6			
16	Ø448	h8	-0,097	3,2			
17. 28	L=1435	±IT14/2	±1,55	12,5			
18	Ø140; L=395	±IT14/2	±0,7	12,5			
19	Ø140; L=41	±IT14/2	±0,31	12,5			
20	Ø150; L=104	±IT14/2	±0,435	3,2			
21	Ø175; L=240	±IT14/2	±0,575	12,5			
22	Ø178; L=184	±IT14/2	±0,575	12,5			
23	Ø180; L=83	±IT14/2	±0,435	3,2			
24	Ø182; L=30	±IT14/2	±0,26	12,5			
25	Ø200; L=12	±IT14/2	±0,215	12,5			
26	Ø300; L=46	±IT14/2	±0,31	12,5			
27	Ø260; L=10	±IT14/2	±0,18	12,5			
28	Ø90; L=28	±IT14/2	±0,26	12,5			
29	M20	7H	+0,200	3,2			
30	b=40; h= 156h14	P9	-0,026 -0,088	3,2		0,03	Д
						0,12	Д
31	b=32; h= 139h14	P9	-0,026 -0,088	3,2		0,03	Д
						0,12	Д
33, 33	b=36; h= 120h14	P9	-0,026 -0,088	3,2		0,03	Д
						0,12	Д
34	HM-30	H14	0,52	12,5			

					Лис		
КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА							
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат			

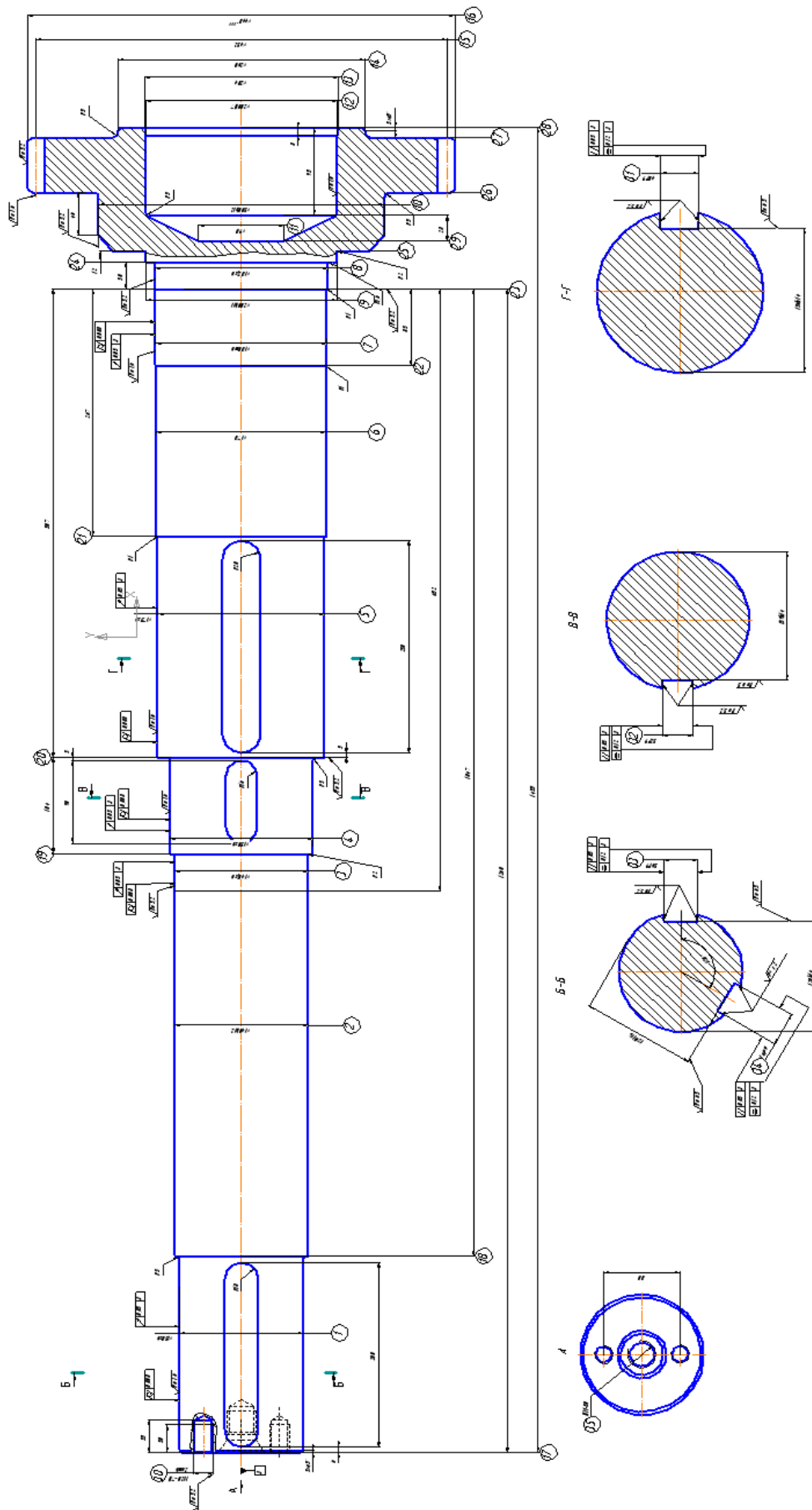


Рисунок 2.1 - Ескіз валу зубчастого з пронумерованими поверхнями

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Загальне правило відповідності показників точності деталей: $T_1 > T_2 > T_3$, виконується.

2.3 Технічний контроль робочого креслення

Вал зображено на кресленні за допомогою головного виду, трьох перерізів і одного додаткового виду, чого достатньо для повного розуміння його геометрії.

Вісь деталі слугує базовою поверхнею, що позначено затемненим трикутником. Відносно цієї бази задані допуски на циліндричність, симетричність, паралельність, а також на радіальне биття основних, допоміжних і спряжених поверхонь.

Отже, креслення містить усю необхідну інформацію і повністю передає форму, розміри та вимоги до якості деталі.

2.4 Аналіз технологічності деталі

2.4.1 Якісний аналіз технологічності конструкції

Деталь "вал" класифікується як виріб 71 класу, 5 підкласу, 4 групи, 3 виду та 3 підвиду з конструкторським кодом 715433.

Вал має добре виражені базові поверхні. Відношення довжини до діаметра ($l/d = 11,04$) вказує на його низьку жорсткість. Через це недоцільно виконувати одночасну обробку кількома інструментами. Обробку потрібно здійснювати на знижених режимах різання із застосуванням додаткової опори, зокрема нерухомого люнета. Також необхідно регулярно здійснювати правку вала, особливо після чорнової обробки та термічної обробки.

Матеріалом деталі є сталь 40Х за ДСТУ 7806:2015, яка належить до низьколегованих сталей і має середню оброблюваність. У серійному виробництві заготовку отримують методом кування на горизонтально-кувальних машинах.

Для надійного закріплення деталі на верстатах використовують стандартне оснащення: призми, трьохкулачкові та поводкові патрони, люнети, центри, затискачі, кондуктори тощо.

У загальному, деталь вважається технологічною, за винятком ділянки з двома шпонковими пазами, що ускладнює обробку.

2.4.2 Кількісний аналіз технологічності

Розраховуємо коефіцієнт використання матеріалу:

$$K_{в.м} = \frac{Q_0}{Q_3}, \quad (2.2)$$

$$Q_3 = 1,5 \cdot Q_0, \quad (2.3)$$

$$Q_3 = 1,5 \cdot 281 = 421,5 \text{ кг}$$

$$K_{в.м} = \frac{281}{421,5} = 0,67$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Даний коефіцієнт знаходиться в межах норми.
Розраховуємо коефіцієнт точності обробки.

$$IT_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^n IT_i \cdot n_i}{N}, \quad (2.4)$$

$$IT_{сер} = \frac{14 \cdot 16 + 12 \cdot 2 + 11 \cdot 1 + 9 \cdot 4 + 8 \cdot 2 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 6}{33} = 10,8$$

Це свідчить, що деталь має середню точність.

Розраховуємо коефіцієнт шорсткості.

$$Ra_{сер} = \frac{\sum Ra \cdot n}{N}, \quad (2.5)$$

$$Ra_{н\grave{a}\delta} = \frac{12,5 \cdot 16 + 3,2 \cdot 11 + 1,6 \cdot 6}{33} = 7,4$$

Це свідчить, що деталь має низьку шорсткість.

Розраховуємо коефіцієнт уніфікації деталі:

$$K_y = \frac{Q_{y.n.}}{Q_3}, \quad (2.6)$$

$$K_y = \frac{22}{33} = 0,67.$$

Так як вирахований коефіцієнт уніфікації $K_y \leq 0,95$, то всі показники, крім коефіцієнта уніфікації, знаходяться в нормі, тому деталь загалом є технологічною.

2.5 Вибір типу виробництва

Вихідні дані	
Річна програма N_p , шт	1000
Штучно-калькуляційний час, хв	
$T_{шт.-к.1}$	264,04
$T_{шт.-к.2}$	152,7
$T_{шт.-к.3}$	27,6
$T_{шт.-к.4}$	16,46
$T_{шт.-к.5}$	
Йомвірний тип виробництва (ДС=1, СС=2, ВС=3)	2
Кількість змін	1

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Коефіцієнт закріплення операцій

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{\sum \Pi_{\text{oi}}}{\sum P_i}$$

де $\sum \Pi_{\text{oi}}$ – сумарне число різних операцій за місяць з розрахунку на одного змінного
 $\sum P_i$ – явочне число робітників ділянки, що виконують різні операції при роботі в одну

$$\Pi_{\text{oi}} = \frac{13182 \cdot \eta_{\text{H}}}{T_{\text{шт.к.}} \cdot N_{\text{M}}}$$

де η_{H} – плановий нормативний коефіцієнт завантаження верстата, прийнятий для велико-, середньо- та дрібносерійного виробництва відповідно рівним 0,75; 0,8; 0,9;
 N_{M} – місячна програма випуску заданої деталі, $\text{шт}N_{\text{M}} = \frac{N_{\text{P}}}{s \cdot 12}$

$$\Pi_{\text{o1}} = \frac{13182 \cdot 0,8}{264 \cdot 83,33} = 0,479$$

$$\Pi_{\text{o2}} = \frac{13182 \cdot 0,8}{152,7 \cdot 83,33} = 0,829$$

$$\Pi_{\text{o3}} = \frac{13182 \cdot 0,8}{27,6 \cdot 83,33} = 4,585$$

$$\Pi_{\text{o4}} = \frac{13182 \cdot 0,8}{16,46 \cdot 83,33} = 7,688$$

$$\Sigma P_i = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

$$P_1 = 0,96 \cdot \eta_{\text{H}} = 0,96 \cdot 0,8 = 0,77$$

$$\Sigma P_i = 5 \cdot 0,768 = 3,84 = 4$$

$$K_{\text{з.о.}} = \frac{13,58}{4} = 3,4$$

Виробництво середньосерійне

2.6 Вибір типового технологічного процесу. Задачі проектування

Таблиця 3.5 – Типовий маршрут обробки деталі

№ опер.	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	№ базуючої поверхні	Тип моделі верстата
1	2	3	4	5
005	Токарна чорнова з ЧПК Установ А Установ Б	11-14, 16,27-29 1-10, 17-26, 35	1 12	Токарний 16К40РФ3
010	Термічна	-	-	-
015	Токарна напівчистова та чистова з ЧПК Установ А Установ Б	12; 16 1, 3-5, 7, 8, 10, 20, 23	11, 35 11, 35	Токарний 16К40РФ3
020	Тонке точіння з ЧПК Установ А Установ Б	12 1, 4, 5, 7	11, 35 11, 35	Токарний 16К40РФ3
025	Фрезерно-свердлильна Установ А Установ Б	30-33 34	1, 7, 23 1, 7, 23	Багатоцільовий ІР1600МФ4
030	Зубофрезерна	15	12, 28, 35	Зубофрезерний 5371
035	Термічна	15	-	-
040	Зубошліфувальна	15	12, 28, 35	Зубошліфувальний 5844
045	Контрольна			

КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА					Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	

Висновок:

Отже використавши, за базовий ТП типовий і змінивши його ми отримали:

1. Спосіб отримання заготовки – поковка штампована на ГKM.
2. Заміна на чорновій операції верстату без ЧПК на токарний верстат з ЧПК TRAK® 16" Toolroom Lathe (США), підвищить продуктивність праці.
3. Об'єднання фрезерної та свердлильної операції, використовуючи багатоцільовий верстат моделі ELMAG UFM 1600 Servodrive Це дозволяє уникнути переустановлення деталі, зменшити похибку виготовлення.
4. Застосування замість шліфування тонкого точіння дозволить зменшити собівартість деталі, оскільки таким впровадженням зменшується кількість необхідних верстатів.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.02.ТЕА	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

3 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

3.1 Вибір, техніко-економічне обґрунтування та проектування заготовок

3.1.1 Вибір заготовки

Для обґрунтування варіантів одержання заготовки використовуємо матрицю впливу факторів, що представлена таблицею 3.1.

Таблиця 3.1- Матриця впливу факторів

Спосіб виготовлення заготовки	Серійний вид виробництва	Коефіцієнт використання матеріалу	Технолог. властивості матеріалу	Точність та якість поверхневого шару	Σ
Кування	-	-	+	-	1
Штампкування на ГKM	+	+	+	+	4
Збірно-зварна	-	+	-	+	2

Згідно матриці, найбільш оптимальним способом отримання заготовки є штамповка.

3.1.2 Проектування заготовок

3.1.2.1 Проектування поковки штампованої

Проводимо розрахунок заготовки згідно

Вихідні дані по деталі:

- матеріал – сталь 40X ГОСТ 4543-71: 0,36-0,44% C, 0,17-0,37% Si, 0,5-0,8% Mn, 0 – 0,3% Cu, 0 – 0,035% P, 0 – 0,3% Ni, 0,8-0,10% Cr, 0 – 0,035% S;
- маса деталі - 281кг.

Вихідні дані для розрахунку:

- маса поковки (розрахункова):

$$G_{\text{пок.}} = K_p \cdot G_{\text{дет.}} \quad (3.1)$$

де $G_{\text{пок.}} = 1,5 \cdot 281 = 421,5 \text{ кг.}$

По таблиці обираємо горизонтально-кувальні машини, клас точності – Т4.

Група сталі М2, так як дана сталь містить до 0,65% вуглецю або сумарну масову долю легованих елементів до 5%.

Ступінь складності поковки в залежить від відношення:

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП		
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.	Чижигов				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кіяновський						
Т.Контр.					Каф. ТМ, Гр ПМ-21		
Н. Контр.	Нечаєв						
Затверд.	Рязанцев						
					ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ		

$$\frac{G_{\text{пок}}}{G_{\Phi}}, \quad (3.2)$$

Розміри геометричної фігури, яка описує поковку, збільшуємо у 1,05 рази. Такою геометричною фігурою є циліндр.

Визначаємо масу циліндра:

$$G_{\Phi} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot L \cdot \rho, \quad (3.3)$$

де $\rho = 7,85 \text{ кг/дм}^3$ – густина сталі.

$$G_{\Phi} = \frac{3,14 \cdot (4,48 \cdot 1,05)^2}{4} \cdot (14,35 \cdot 1,05) \cdot 7,85 = 2054,5 \text{ кг};$$

$$\frac{G_{\text{нп}}}{G_{\Phi}} = \frac{281}{2054,5} = 0,14.$$

Ступінь складності С4.

Конфігурація площини роз'єму штампу - П (плоска) .

Вихідний індекс – 20 .

По таблиці призначаємо основні припуски на механічні обробку на сторону та заносимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Припуски на механічну обробку

№	Номинальний розмір, мм	Шорсткість, Ra	Основний припуск, мм	Додатковий припуск, мм	Номинальні розміри поковки, мм	Округлені розміри поковки, мм	Граничні відхилення, мм	
							es	ei
1	Ø200	12,5	3,4x2	0,7+1,2	210,6	210,5	+4,7	-2,4
2	Ø300	3,2	4,7x2	0,7+0,8	312,4	312,5	+5,3	-2,7
3	Ø448	3,2	5,1x2	0,7+0,8	461,2	461	+6,0	-3,0
4	Ø200	1,6	4,3x2	0,7+0,8	188,4	188	+2,4	-4,7
5	70	12,5	3,4x2	0,7+0,8	79,8	80	+4,2	-2,1
6	133	12,5	3,7x2	0,7+0,8	143,4	143,5	+5,3	-2,7
7	1302	12,5	4,5	0,7+1,2	1308,4	1308,5	+6,0	-3,0
8	95	12,5	2,8x2	0,7+0,8	96,6	96,5	+2,1	-4,2

Призначаємо зміщення поверхні роз'єму штампу , яке дорівнює 0,7мм, і відхилення від площинності та прямолінійності, яке дорівнює для стрижня 1,2мм та для фланцю 0,8мм. Вони складають додаткові припуски. Обрані значення заносимо в таблицю 3.2.

Номинальні розміри:

діаметр $200 + (3,4 + 0,7 + 1,2) \cdot 2 = 210,6$ мм; приймаємо 210,5мм;
діаметр $300 + (4,7 + 0,7 + 0,8) \cdot 2 = 312,4$ мм; приймаємо 312,5мм;
діаметр $448 + (5,1 + 0,7 + 0,8) \cdot 2 = 461,2$ мм; приймаємо 461мм;
діаметр $200 - (4,3 + 0,7 + 0,8) \cdot 2 = 188,4$ мм; приймаємо 188мм;
товщина $70 + (3,4 + 0,7 + 0,8) \cdot 2 = 79,8$ мм; приймаємо 80мм;

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

товщина $133+(3,7+0,7+0,8) \cdot 2=143,4$ мм; приймаємо 143,5мм;
товщина $1302+(4,5+0,7+1,2)=1308,4$ мм; приймаємо 1308,5мм;
глибина $95+(2,8-2,8+0,8) \cdot 2=96,6$ мм; приймаємо 96,5мм.

Величина мінімальних радіусів закруглення заготовки становить $R=8$ мм . Радіуси внутрішніх кутів приймаємо у 2,5 рази більше, тобто $R=20$ мм . Зовнішні ухили становлять 5° , а внутрішні – 7° .

Допуск довжини стрижня складає 5мм згі. Допуск розмірів, не вказаних на кресленні поковки, приймаються рівними 1,5 допуску відповідного розміру з рівними допустимими відхиленнями.

Допуски радіусів закруглення назначаємо в залежності від класу точності Т4. Отже, розміри зовнішніх та внутрішніх радіусів та їх граничні відхилення становлять відповідно $8 \pm 1,5$ та $20 \pm 4,0$ мм.

У поковок, виготовлених на горизонтально-кувальних машинах, допустима висота задирки в площині роз'єму матриць не повинна перевищувати 3,6мм . Допустима висота торцевої задирки 12мм .

Допустиме відхилення від зігнутості, становить 2,5мм, а допустиме відхилення від площинності та прямолінійності становить 1,6мм.

Допустима величина зміщення по поверхні роз'ємну штампа, становить 1,8мм. Відхиленні від співвісності діаметру 188мм, становить 0,97мм. Допустиме відхилення штампувальних уклонів, становить: зовнішніх $5 \pm 1,25^\circ$, внутрішніх $7 \pm 1,7^\circ$. Допустиме відхилення торця стрижня , яке становить для вісі x – 14,74мм, для вісі y – 168,4мм. Нахил зрізу - 7° .

3.1.3 Техніко-економічне обґрунтування заготовок

Вартість заготовки:

$$A = M \cdot C \cdot K_m \cdot K_c \cdot K_{zc} - (Q - q) \cdot Ц, \text{ грн} \quad (3.4)$$

Для поковки штампованої: $A_1 = 421,5 \cdot 12,7 \cdot 0,730 \cdot 1,13 \cdot 1,3 - (421,5 - 281) \cdot 1,016 = 5598$ грн.

Для зварної заготовки: $A_2 = 628,9 \cdot 12,7 - (628,9 - 281) \cdot 1,016 = 7634$ грн.

Обираємо спосіб отримання заготовки – штампуванням на ГKM.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

1. * Розміри для довідок.
2. Зварювати зварним дротом Св-18ХМА Гост 2246-70.
3. Після зварювання провести високій відпуск.
4. Наявність дефектів у зварному шві після зняття зусилля не допускається.

Поз.1 – Поковка – 1шт.

Поз.2 – Сортовий прокат $\phi 210$ ГОСТ 2590-88.

Матеріал – сталь 40Х ГОСТ 4345-71.

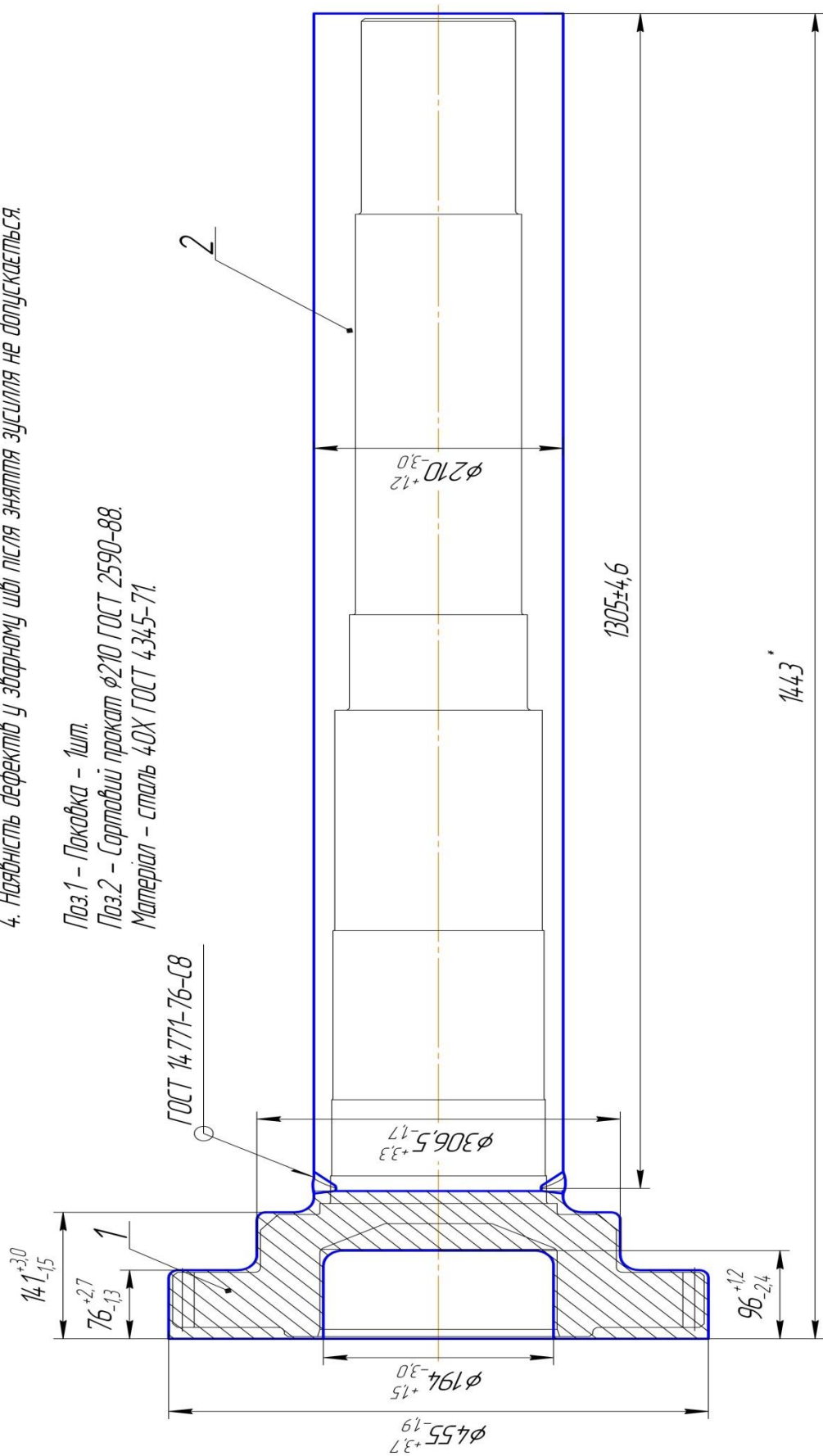


Рисунок 3.1 – Креслення зварної заготовки деталі вал

Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат

КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП

Лист

3.2 Вибір і обґрунтування баз

Представляємо схеми базування, які забезпечують принципи єдності баз.

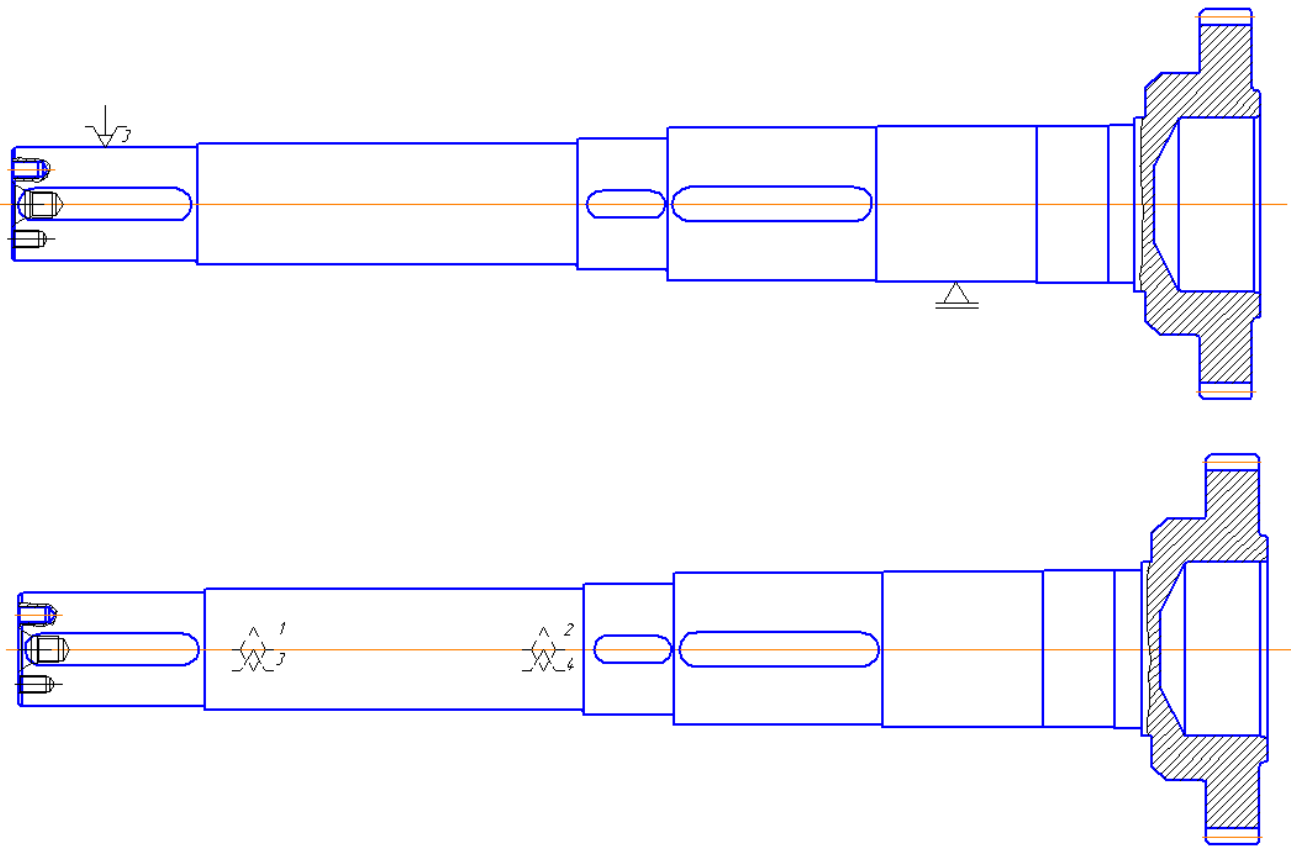


Рисунок 3.2 – Умовна та теоретична схема базування при токарній чорновій операції

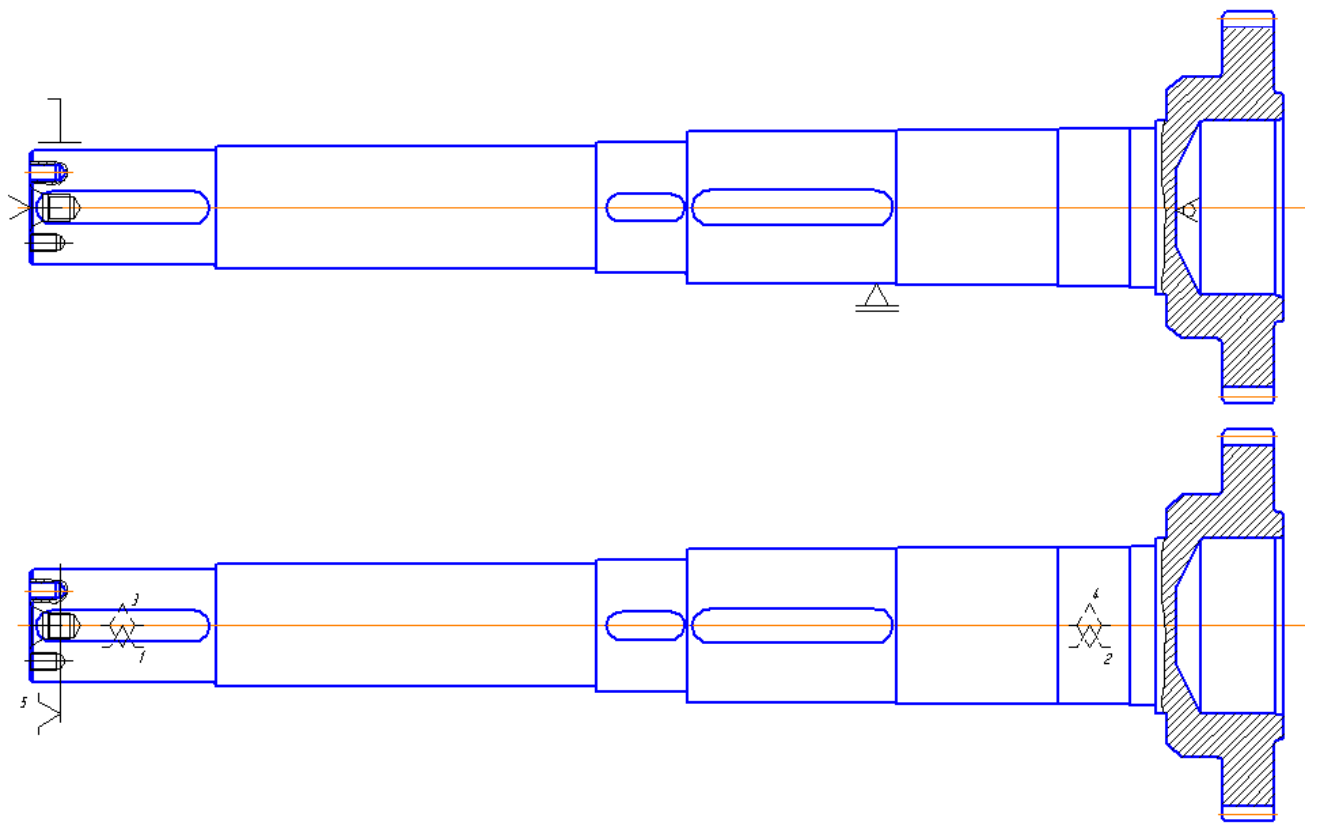


Рисунок 3.3 – Умовна та теоретична схема базування при токарній чистовій та зубошліфувальній операціях

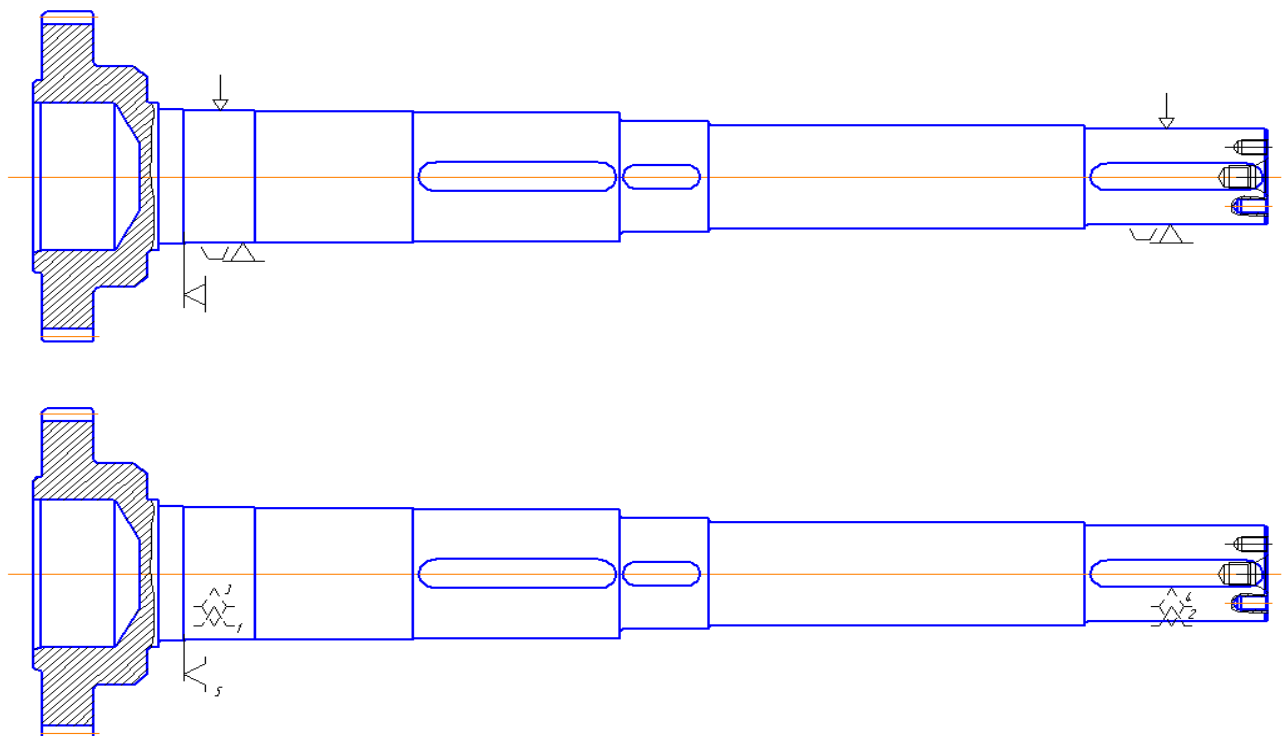


Рисунок 3.4 – Умовна та теоретична схема базування при фрезерній та свердильній операціях

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

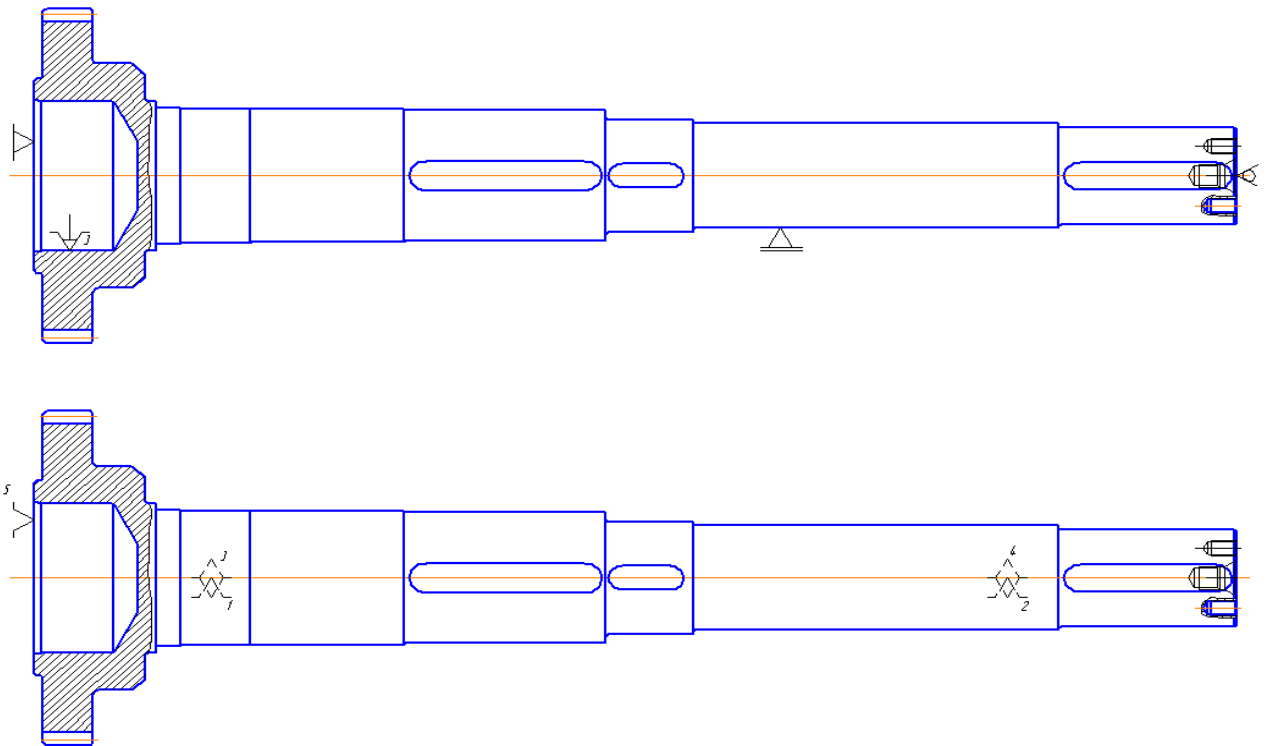


Рисунок 3.5 – Умовна та теоретична схема базування при зубофрезерній операції

3.3 Вибір і обґрунтування послідовності обробки поверхонь

Таблиця 3.4 – Послідовність обробки поверхонь

№ поверхні, розмір	Найменування переходів	Шорсткість Ra, мкм	Точність IT	Допуск T, мкм
1	2	3	4	5
1 Ø130s6	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160
	4.Чистове точіння	3,2	8	63
	5.Тонке точіння	1,6	6	25
2 Ø140h12	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400
3 Ø140js6	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	11	250
	3.Полу чистове точіння	6,3	8	63
	4.Чистове точіння	3,2	6	25
4 Ø150s6	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160
	4.Чистове точіння	3,2	8	63
	5.Тонке точіння	1,6	6	25

5 Ø175s6	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160
	4.Чистове точіння	3,2	8	63
	5.Тонке точіння	1,6	6	25
6 Ø178	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1000
7 Ø180m6	1.Заготовка	25	14	1000
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160
	4.Чистове точіння	3,2	8	63
	5.Тонке точіння	1,6	6	25
8 Ø182js6	1.Заготовка	25	14	1150
	2.Чорнове точіння	12,5	11	290
	3.Полу чистове точіння	6,3	8	72
	4.Чистове точіння	3,2	6	29
9 Ø200h11	1.Заготовка	25	14	1150
	2.Чорнове точіння	12,5	11	290
10 Ø300h12	1.Заготовка	25	14	1300
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1300
	3.Полу чистове точіння	6,3	13	810
	4.Чистове точіння	3,2	12	520
11 Ø90H14	1.Заготовка	25	14	870
	2.Чорнове точіння	12,5	14	870
12 Ø200H7	1.Заготовка	25	14	1150
	2.Чорнове розточування	12,5	12	290
	3.Полу чистове розточування	6,3	10	185
	4.Чистове розточування	3,2	8	72
	5.Тонке розточування	1,6	7	46
13 Ø204H14	1.Заготовка	25	14	1150
	2.Чорнове розточування	12,5	14	1150
14 Ø260h14	1.Заготовка	25	14	1300
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1300
15 Ø432 8B	1.Заготовка	25	14	1550
	2.Чорнове точіння	12,5	12	630
	3.Полу чистове точіння	6,3	11	400
	4.Зубофрезерування	3,2	10	250
	5.Зубошліфування	1,6	8	71
16 Ø448h8	1.Заготовка	25	14	1550
	2.Чорнове точіння	12,5	12	630
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	250
	4.Чистове точіння	3,2	8	97

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

17. 28 L=1435	1.Заготовка 2.Чорнове фрезерування	25 12,5	14 14	3100 3100
18 Ø140;L=395	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	1400 1400
19 Ø140; L=41	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	620 620
20 Ø150;L=104	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Чистове точіння	25 12,5 6,3 3,2	14 14 14 14	870 870 870 870
21 Ø175;L=240	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	1150 1150
22 Ø178;L=184	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	1150 1150
23 Ø180;L=83	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Чистове точіння	25 12,5 6,3 3,2	14 14 14 14	870 870 870 870
24 Ø182; L=30	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	520 520
25 Ø200; L=12	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	430 430
26 Ø300; L=46	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	360 360
27 Ø260; L=10	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	620 620
29 Ø90; L=28	1.Заготовка 2.Чорнове розточування	25 12,5	14 14	520 520
30 М 20-7Н	1. Свердління отвору 2. Зенкерування отвору 3.Зенкування отвору 4.Нарізання різьби	12,5 6,3 3,2 3,2	14 13 10 7	430 330 210 200
31 b=40; P9 h= 156h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62
32 b=32; P9 h= 139h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62
33, 34 b=36; P9 h= 120h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62
35 НМ-30 Н14	1. Центрування отвору	14	12,5	52

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

3.4 Розробка маршруту обробки деталі

Таблиця 3.5 – Маршрут обробки деталі

№ опер.	Найменування операції	№ оброблюваної поверхні	№ базуючої поверхні	Тип моделі верстата
1	2	3	4	5
005	Токарна чорнова з ЧПК Установ А Установ Б	11-14, 16,27-29 1-10, 17-26, 35	1 12	TRAK® 16" Toolroom Lathe(США)
010	Термічна	-	-	-
015	Токарна напівчистова та чистова з ЧПК Установ А Установ Б	12; 16 1, 3-5, 7, 8, 10, 20, 23	11, 35 11, 35	TRAK® 16" Toolroom Lathe (США)
020	Тонке точіння з ЧПК Установ А Установ Б	12 1, 4, 5, 7	11, 35 11, 35	TRAK® 16" Toolroom Lathe (США)
025	Фрезерно-свердлильна Установ А Установ Б	30-33 34	1, 7, 23 1, 7, 23	Багатоцільовий ELMAG UFM 1600 Servodrive
030	Зубофрезерна	15	12, 28, 35	Зубофрезерний Liebherr L-650
035	Термічна	15	-	-
040	Зубошліфувальна	15	12, 28, 35	Зубошліфувальний Gleason-Pfauter P1200G
045	Контрольна			

3.5 Розробка технологічних операцій

Таблиця 3.6 – Послідовність виконання технологічних операцій

№	1.Назва операції 2. Тип верстату 3. Зміст переходів технологічних операцій	Верстатний пристрій	Інструмент
1	2	3	4
00	Токарна чорнова та напівчистова з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США) 1. Встановити, закріпити,	Грьох-кулачковий патрон, рухомий люнет, задній	Токарний різець прохідний з механічним кріпленням багатограних твердосплавних пластин h×b=25×25, 2100-1641 ДСТУГОСТ 26611-85.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

5	зняти. Установ А 2. Підрізати торці в розмір 1-4. 3. Точити поверхні в розмір 5-8. 4. Свердлити центровий отвір в розмір 9. Установ Б 5. Переустановити 6. Свердлити центровий отвір в розмір 29. Установ В 7. Переустановити 8. Точити поверхні в розмір 11-19. 9. Підрізати торець в розмір 10, 20-28.	центр, що обертається	Токарний різець підрізний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин $h \times b = 25 \times 25$, 2100-2067 ДСТУГОСТ 26611-85. Розточний різець з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин Т5К10 2141-0615 ДСТУГОСТ 20874-75. Свердло центрове В $\text{Ø}10$ Р6М5, 2317-0011 ДСТУГОСТ 14952-75. Свердло центрове НМ-30 Р6М5. Штангенциркуль ШЦ-III-500-1600 ДСТУГОСТ 166-80. Глибиномір мікрометричний (0-150) ДСТУГОСТ 7470-78
010	Термічна		
015	Токарна чистова з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США) 1. Встановити, закріпити, зняти. Установ А 2. Точити поверхні в розмір 1-2. Установ Б 3. Переустановити 4. Точити поверхні в розмір 3-9. 6. Підрізати торці в розмір 10,11.	Нерухомий передній центр, задній центр, що обертається, рухомий люнет, повідковий патрон	Токарний різець прохідний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин $h \times b = 25 \times 25$, 2100-1641 ДСТУГОСТ 26611-85. Токарний різець підрізний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин $h \times b = 25 \times 25$, 2100-2067 ДСТУГОСТ 26611-85. Розточний різець з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин Т5К10 2141-0615 ДСТУГОСТ 20874-75. Штангенциркуль ШЦ-III-500-1600 ДСТУГОСТ 166-80. Глибиномір мікрометричний (0-150) ДСТУГОСТ 7470-78
02	Тонке точіння з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США) 1. Встановити, закріпити, зняти. Установ А 2. Розточити поверхню в розмір 1.	Нерухомий передній центр, задній центр, що обертається, рухомий люнет, повідковий	Токарний різець прохідний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин $h \times b = 25 \times 25$, 2100-1641 ДСТУГОСТ 26611-85. Розточний різець з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин Т5К10

					Лис
КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП					
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	

0	Установ Б 3. Переустановити 4. Точити поверхні в розмір 2-5	патрон	2141-0615ДСТУ ГОСТ 20874-75. Штангенциркуль ШЦ-III-500 ДСТУГОСТ 166-80. Глибиномір мікрометричний (0-150) ДСТУГОСТ 7470-78	
025	Фрезерно-свердлильна з ЧПК Багатоцільовий ELMAG UFM 1600 Servodrive Установ А 1. Встановити, закріпити, зняти. 2. Свердлити отвори в розмір 1. 3.Зенкування в розмір 2. 4.Нарізати різьбу М20-7Н в розмір 3.	Спеціальне пристосування	Фреза 2235-0075 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Фреза 2235-0081 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Фреза 2235-0083 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Свердло 2301-0060 Р18 ДСТУГОСТ 10903-77; Свердло 2317-0104 Р18 ДСТУГОСТ 14952-80	
	5. Фрезерувати шпонкові пази в розмірі 4-6. Установ Б 6. Переустановити 7.Фрезерувати шпонковий паз в розмір 7.		Зенківка 2353-0143 Р18 ДСТУГОСТ 14953-80; Мітчик 2620-1735 Р18 ДСТУГОСТ 3266-81; Мітчик 2620-1733 Р18 ДСТУГОСТ 3266-81. Патрон цанговий ДСТУГОСТ 26539-85. Втулка 50-2 ОСТ2 П12-7-84. Втулка 50-3 ОСТ2 П12-7-84. Втулка 6143-0112 ДСТУГОСТ 15963-70. Патрон 6251-0182 ДСТУГОСТ 14077-83. Калібр пробка М20-7Н ДСТУГОСТ 17156-80. Кутомір УНДСТУ ГОСТ 5378-75. Глибиноміри шпонкові для валів МН 2986-61.	
030	Зубофрезерна Зубофрезерний Liebherr L-650 1. Встановити, закріпити, зняти. 2. Фрезерувати зуб'я в розмір 1.	Трьох-кулачковий патрон, задній центр, що обертається, рухомий люнет	Черв'ячна фреза 2510-4214 А ДСТУГОСТ 9324-80. Оправка для фрези. Штангензубомір з ноніусом ШЗ-18 ТУ2-034-773-84. Нормалемір ДСТУГОСТ 7760-84.	
035	Термічна	-	-	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат
КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП				Лист

040	Зубошліфувальна Зубошліфувальний Gleason-Pfauter P1200G 1. Встановити, закріпити, зняти. 2. Шліфувати зуби в розмір 1	Нерухомий передній центр, задній центр, що обертається, рухомий люнет, повідковий патрон	Шліфувальний круг 25А 60 К7V Комплекс для контролю кінематичної похибки великогабаритних зубчатих кілець БВ-5102.
045	Контрольна	-	-

3.6 Розрахунок міжопераційних розмірів і припусків на обробку

3.6.1 Аналітичний розрахунок припусків на зовнішню циліндричну поверхню

Для розрахунку припусків вибираємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 180\text{m6} \begin{matrix} (+0,052 \\ +0,027) \end{matrix}$.

$$\Delta = \sqrt{\Delta_{ni}^2 + \Delta_{eid}^2 + \Delta_{\sigma}^2}, \quad (3.5)$$

$$\Delta_{\sigma} = 0,25\sqrt{T^2 + 1}; \quad (3.6)$$

де $T = 7,1\text{мм}$.

$$\Delta_{\sigma} = 0,25\sqrt{7,1^2 + 1} = 1,79 \text{ мм}.$$

Зігнутість Δ_k при найбільшому розмірі поковки 1308,5 мм, класу точності – Т4 дорівнює 1,2мм. Величину зміщення по поверхні роз'єму штампу – $\Delta_{cm} = 0,7\text{мм}$.

$$\Delta = \sqrt{1,79^2 + 1,2^2 + 0,7^2} = 2,266\text{мм}.$$

Після чорнового точіння згідно маршруту механічної обробки, виконується термообробка. Величину просторових відхилень, які вносяться термообробкою, $n_k = 1$, $d = 180\text{мм}$ (розмір, що оброблюється):

$$\Delta_{\sigma\ddot{a}\ddot{a}\ddot{i}} = 0,001n_k L / (0,1d + 0,3), \quad (3.7)$$

$$\Delta_{терм} = 0,001 \cdot 1 \cdot 1435 / (0,1 \cdot 180 + 0,3) = 0,078\text{мм}.$$

Просторові відхилення, які залишилися після чорнового точіння та просторових відхилень, які вносяться термообробкою:

$$\Delta_{\sigma} = (\Delta_{\sigma\ddot{a}\ddot{a}\ddot{i}}^2 + \Delta_{терм}^2)^{0,5}. \quad (3.8)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Просторове відхилення, яке залишилося після чорнового точіння, визначаються згідно формули:

$$\Delta_{\text{чорн}} = K_y \cdot \Delta_{\text{заг}}, \quad (3.9)$$

де для чорнового точіння $K_y = 0,06$. Тоді:

$$\Delta_{\text{чорн}} = 0,06 \cdot 2,266 = 0,136 \text{ мм.}$$

З урахуванням цього

$$\Delta = (0,136^2 + 0,078^2)^{0,5} = 0,157 \text{ мм.}$$

Коефіцієнт уточнення $K_y = 0,05$:

$$\Delta_{\text{получист}} = 0,05 \cdot 0,157 = 0,008 \text{ мм.}$$

Для тонкого точіння $K_y = 0,03$:

$$\Delta_{\text{чист}} = 0,04 \cdot 0,008 = 0,0003 \text{ мм}$$

Похибку встановлення ε_i знаходимо згідно формули:

$$\varepsilon_i = (\varepsilon_a^2 + \varepsilon_\zeta^2)^{0,5}, \quad (3.10)$$

Похибка закріплення складається з двох складових: радіальної ($\varepsilon_{\text{рад}}$) та осьової ($\varepsilon_{\text{ос}}$) и та може бути визначена згідно формули:

$$\varepsilon_i = (\varepsilon_{\text{рад}}^2 + \varepsilon_{\text{ос}}^2)^{0,5}. \quad (3.11)$$

Знаходимо, що $\varepsilon_{\text{рад}} = 500 \text{ мкм} = 0,5 \text{ мм}$, а $\varepsilon_{\text{ос}} = 150 \text{ мкм} = 0,15 \text{ мм}$. Тоді:

$$\varepsilon_1 = (0,5^2 + 0,15^2)^{0,5} = 0,522 \text{ мм.}$$

Отриману похибку зменшуємо на 25%. Тоді $\varepsilon_1 = 0,392 \text{ мм} = 392 \text{ мкм}$.

При подальшій обробці коли заготовка встановлюється по центровим гніздам, похибка встановлення може скласти $\varepsilon = 0,25 \text{ ТД}$, $\frac{1}{4}$ частина від допуску на діаметр валу.

У результаті маємо:

при напівчистовому точінні $\varepsilon_2 = 0,25 \cdot 0,1 = 0,025 \text{ мм}$;

при чистовому точінні $\varepsilon_3 = 0,25 \cdot 0,063 = 0,016 \text{ мм}$.

при тонкому точінні $\varepsilon_4 = 0$, тому що чистове та тонке точіння виконуються з одного встановлення.

Зміщення вісі заготовки враховано просторовим відхиленням.

Розрахунок мінімальних припусків на діаметральні розміри для кожного переходу:

- чорнове точіння $2Z_{i \text{ min}} = 2(400 + 400 + 2266) = 6132 \text{ мкм}$;

- получистове точіння $2Z_{i \text{ min}} = 2(50 + 50 + 157 + 392) = 1298 \text{ мкм}$;

- чистове точіння $2Z_{i \text{ min}} = 2(25 + 25 + 8 + 25) = 166 \text{ мкм}$;

										Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат						

КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП

- тонке точіння $2Z_{i\min} = 2(10 + 20 + 16) = 92 \text{ мкм}$.

Розрахунок найменших розрахункових розмірів по технологічних переходах:

$$179,975 + 0,092 = 180,067 \text{ мм};$$

$$180,067 + 0,166 = 180,233 \text{ мм};$$

$$180,233 + 1,298 = 181,531 \text{ мм};$$

$$181,531 + 6,132 = 187,663 \text{ мм}.$$

Потім визначаємо найбільші граничні розміри по переходах:

$$179,975 + 0,025 = 180 \text{ мм};$$

$$180,067 + 0,063 = 180,13 \text{ мм};$$

$$180,233 + 0,1 = 180,333 \text{ мм};$$

$$181,531 + 0,25 = 181,781 \text{ мм};$$

$$187,663 + 1 = 188,663 \text{ мм}.$$

Максимальні припуски:

$$180,13 - 180 = 0,13 \text{ мм};$$

$$180,333 - 180,13 = 0,203 \text{ мм};$$

$$181,781 - 180,333 = 1,448 \text{ мм};$$

$$188,663 - 181,781 = 6,882 \text{ мм}.$$

Мінімальні припуски:

$$180,067 - 179,975 = 0,092 \text{ мм};$$

$$180,233 - 180,067 = 0,166 \text{ мм};$$

$$181,531 - 180,233 = 1,298 \text{ мм};$$

$$187,663 - 181,531 = 6,132 \text{ мм}.$$

Розрахунок загальних припусків виконуємо за рівняннями:

- найбільшого припуску:

$$Z_{0\max} = \Sigma Z_{\max} = 0,13 + 0,203 + 1,448 + 6,882 = 8,663 \text{ мкм};$$

- найменшого припуску:

$$Z_{0\min} = \Sigma Z_{\min} = 0,092 + 0,166 + 1,298 + 6,132 = 7,688 \text{ мкм}.$$

Перевірку правильності розрахунків:

$$Z_{0\max} - Z_{0\min} = 1000 - 25 = T_3 - T_d = 8663 - 7688 = 975 \text{ мкм}.$$

Отже розрахунки вірні.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

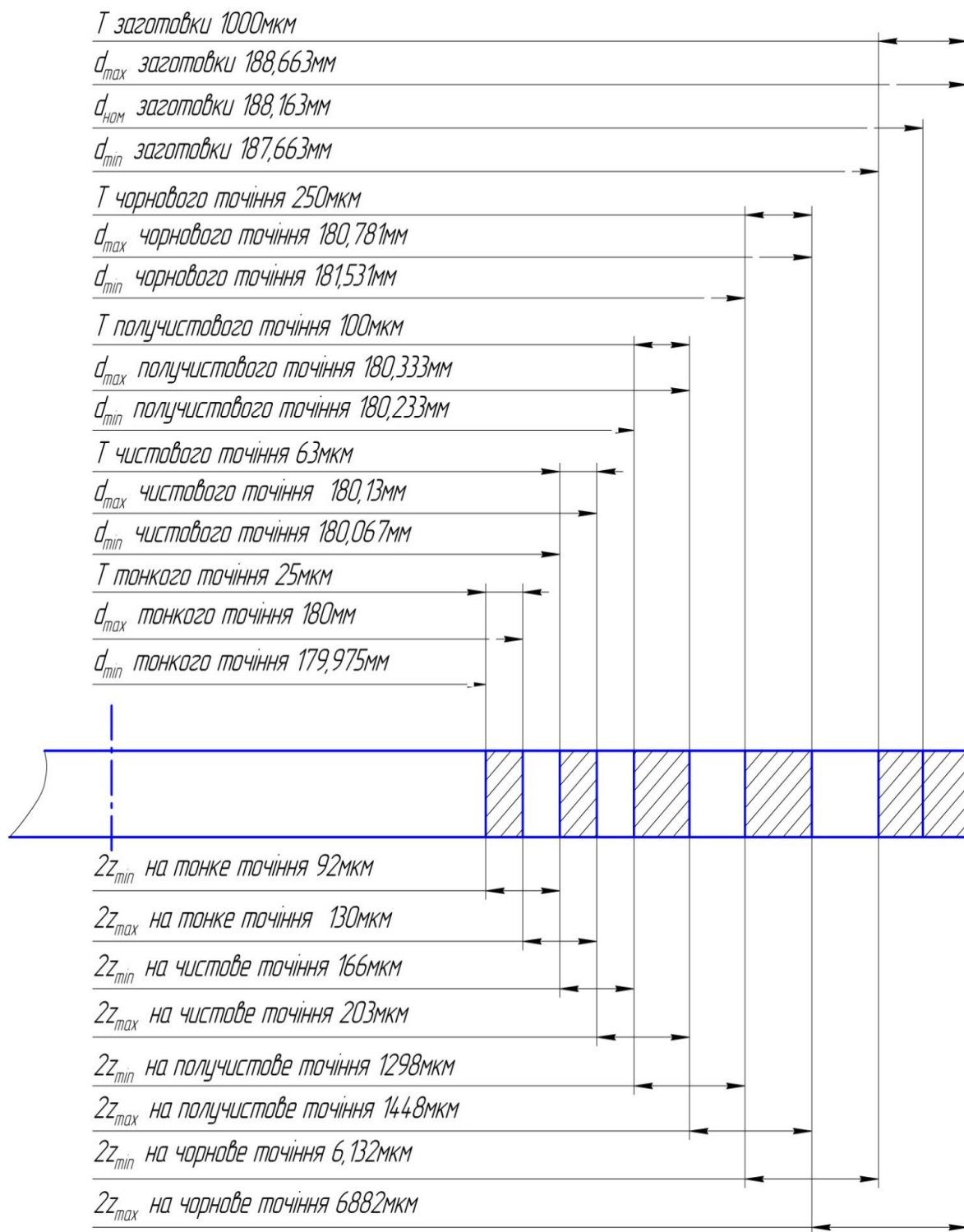


Рисунок 3.5 - Графічне зображення припусків та допусків на обробку $\varnothing 180\text{мб}$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Таблиця 3.7 - Результати розрахунку припусків на обробку та граничних розмірів по технологічним переходам

Маршрут обробки поверхні діаметром $\varnothing 180\text{m6}$ ($+0,052$ $+0,027$)	Квалітет	Елементи припуску, мкм				Розрахункові величини		Допуск на виконуваний розмір, мкм	Прийняті (округлені) розміри заготовівлі по переходах, мкм		Граничний припуск, мкм	
		R _Z	h	Δ_T	ε	Припуску Z _i , мкм	Мін. діаметру, мм		най-більші	най-менші	Z _{max}	Z _{min}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Штампування	14	400	400	2266	-	-	187,663	1000	188,663	187,663	-	-
Точіння												
Чорнове	11	50	50	157	392	6132	181,531	250	181,781	181,531	6882	6132
Получистове	9	25	25	8	25	1298	180,233	100	180,333	180,233	1448	1298
Чистове	8	10	20	0	16	166	180,067	63	180,13	180,067	203	166
Тонке	6	-	-	-	-	92	179,975	25	180	179,975	130	92

3.6.2 Розрахунок між операційних лінійних розмірів

Таблиця 3.8 - Розрахунок технологічних розмірних ланцюгів обробки торців валу зубчастого

№ р.ц	Рівняння розмірного ланцюга	Вихідне значення	Номинальний технологічний розмір	Допуск технологічного розміру	Технологічний розмір настроювання	Граничні значення припусків(уточнені)
1	2	3	4	5	6	7
1	$Z_1=S_1+z_1$	$S_1=10\pm 0,18$ $z_1=5,2\pm 0,15$	$Z_1=10+5,2=15,2$	Заготовка T=0,43	$Z_1=15,2\pm 0,215$	$z_1=15,2\pm 0,215-10\pm 0,18=$ $=5,2\pm 0,395$
2	$Z_2=S_2+z_3$	$S_2=213\pm 0,575$ $z_3=11,76\pm 0,215$	$Z_2=213+11,76=$ $=224,76$	Заготовка T=1,15	$Z_2=224,76\pm 0,575$	$z_3=224,76\pm 0,575-213\pm 0,575=$ $=11,76\pm 1,15$
3	$Z_3=S_3+z_4$	$S_3=436\pm 0,775$ $z_4=213\pm 0,575$	$Z_3=436+213=$ $=649$	Заготовка T=2,0	$Z_3=649\pm 1,0$	$z_4=649\pm 1,0-436\pm 0,775=$ $=213\pm 1,775$
4	$Z_4=S_4+z_5$	$S_4=100\pm 0,435$ $z_5=436\pm 0,775$	$Z_4=100+436=$ $=536$	Заготовка T=1,75	$Z_4=536\pm 0,875$	$z_5=536\pm 0,875-100\pm 0,435=$ $=436\pm 1,31$
5	$S_5=S_4+z_7$	$S_4=100\pm 0,435$ $z_7=4\pm 0,15$	$S_5=100+4=$ $=104$	T=0,87	$S_5=104\pm 0,435$	$z_7=104\pm 0,435-100\pm 0,435=$ $=4\pm 0,87$
6	$Z_5=S_6+z_7+z_6$	$S_6=240\pm 0,575$ $z_7=4\pm 0,87$ $z_6=100\pm 0,435$	$Z_5=240+4+100=$ $=424$	Заготовка T=1,4	$Z_5=424\pm 0,7$	$z_6=424\pm 0,7-240\pm 0,575-$ $-4\pm 0,87=100\pm 2,145$
7	$Z_6=S_7+z_8$	$S_7=184\pm 0,575$ $z_8=240\pm 0,575$	$Z_6=184+240=$ $=424$	Заготовка T=1,55	$Z_6=424\pm 0,775$	$z_8=424\pm 0,775-184\pm 0,575=$ $=240\pm 1,35$
8	$Z_7=S_8+z_9$	$S_8=80\pm 0,435$ $z_9=184\pm 0,575$	$Z_7=80+184=$ $=264$	Заготовка T=1,3	$Z_7=264\pm 0,65$	$z_9=264\pm 0,65-80\pm 0,435=$ $=184\pm 1,085$
9	$S_9=S_8+z_{11}$	$S_8=80\pm 0,435$ $z_{11}=3\pm 0,125$	$S_9=80+3=83$	T=0,87	$S_9=83\pm 0,435$	$z_{11}=83\pm 0,435-80\pm 0,435=$ $=3\pm 0,87$

																				Лис	
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат																	

КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП

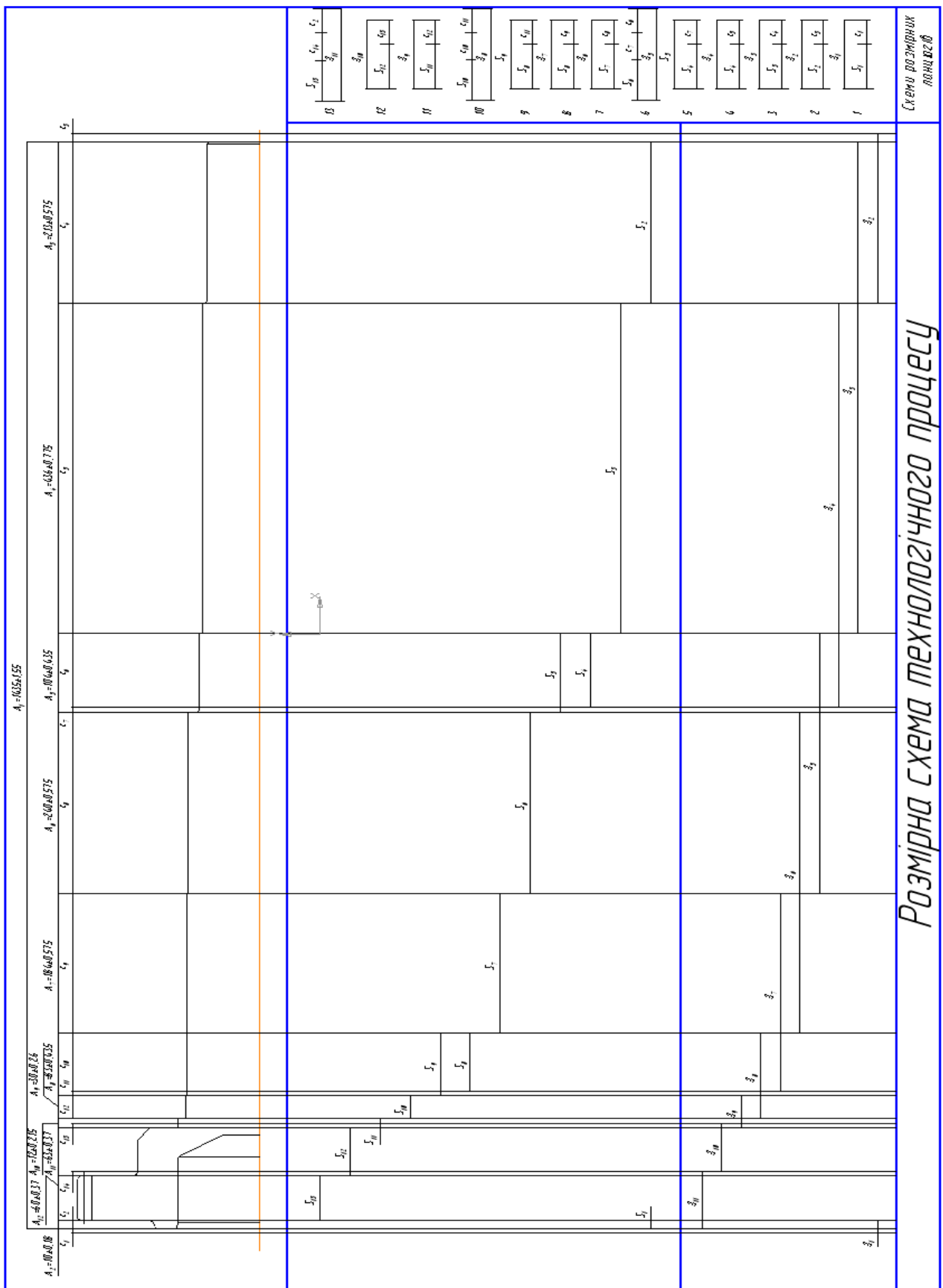


Рисунок 3.6 – Схема технологічного процесу обробки торців валу зубчастого

Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат
------	-----	----------	--------	-----

Продовження таблиці 3.8

1	2	3	4	5	6	7
10	$Z_8=S_{10}+Z_{10}+Z_{11}$	$S_{10}=30\pm 0,26$ $Z_{10}=80\pm 0,435$ $Z_{11}=3\pm 0,87$	$Z_8=30+80+3=113$	Заготовка $T=0,87$	$Z_8=113\pm 0,435$	$Z_{10}=113\pm 0,435-30\pm 0,435-3\pm 0,87=80\pm 1,74$
11	$Z_9=S_{11}+Z_{12}$	$S_{11}=12\pm 0,215$ $Z_{12}=30\pm 0,26$	$Z_9=30+12=42$	Заготовка $T=0,62$	$Z_9=42\pm 0,31$	$Z_{12}=42\pm 0,31-12\pm 0,215=30\pm 0,525$
12	$Z_{10}=S_{12}+Z_{13}$	$S_{12}=63\pm 0,37$ $Z_{13}=5,2\pm 0,215$	$Z_{10}=63+5,2=68,2$	Заготовка $T=0,74$	$Z_{10}=68,2\pm 0,37$	$Z_{13}=68,2\pm 0,37-63\pm 0,37=5,2\pm 0,74$
13	$Z_{11}=S_{13}+Z_{14}+Z_2$	$S_{13}=60\pm 0,37$ $Z_{14}=4,3\pm 0,215$ $Z_2=10\pm 0,18$	$Z_{11}=60+4,3+10=74,3$	Заготовка $T=0,74$	$Z_{11}=74,3\pm 0,37$	$Z_{14}=74,3\pm 0,37-60\pm 0,37-10\pm 0,18=4,3\pm 0,92$

3.6.3 Вибір міжопераційних розмірів і припусків на обробку

Таблиця 3.9 - Вибір міжопераційних розмірів і припусків на обробку

№ поверхні, розмір	Найменування переходів	Шорсткість Ra, мкм	Точність IT	Допуск T, мкм	Припуск, t	Між операційний розмір з допуском
1	2	3	4	5	6	7
1 Ø130s6	1.Заготовка	25	14	7100	80	$210^{+4,7}_{-2,4}$
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400	4×10	170±0,2
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160	5×7	135±0,08
	4.Чистове точіння	3,2	8	63	2×2,5	131±0,0315
	5.Тонке точіння	1,6	6	25	2×0,5	$130^{+0,117}_{+0,092}$
2 Ø140h12	1.Заготовка	25	14	7100	70	$210^{+4,7}_{-2,4}$
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400	7×10	140 _{-0,400}
3 Ø140js6	1.Заготовка	25	14	7100	70	$210^{+4,7}_{-2,4}$
	2.Чорнове точіння	12,5	11	250	4×10	180±0,125
	3.Полу чистове точіння	6,3	8	63	5×7	145±0,0315
	4.Чистове точіння	3,2	6	25	2×2,5	$140^{+0,0125}_{-0,0125}$
4 Ø150s6	1.Заготовка	25	14	7100	60	$210^{+4,7}_{-2,4}$
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400	5×7	190±0,2
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160	5×4	155±0,08
	4.Чистове точіння	3,2	8	63	2×2,5	151±0,0315
	5.Тонке точіння	1,6	6	25	2×0,5	$150^{+0,125}_{+0,100}$
5 Ø175s6	1.Заготовка	25	14	7100	45	$210^{+4,7}_{-2,4}$
	2.Чорнове точіння	12,5	12	400	2×8,5	195±0,2
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	160	6×2,5	180±0,08

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7
	4.Чистове точіння 5.Тонке точіння	3,2 1,6	8 6	63 25	2×2 2×0,5	176±0,0315 175 ^{+0,133} _{+0,108}
6 Ø178 h14	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	7100 1000	32 4×8	210 ^{+4,7} _{-2,4} 178 _{-1,0}
7 Ø180m6	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Чистове точіння 5.Тонке точіння	25 12,5 6,3 3,2 1,6	14 12 10 8 6	7100 400 160 63 25	30 2×10 2×2,5 2×2 2×0,5	210 ^{+4,7} _{-2,4} 190±0,2 185±0,08 181±0,0315 180 ^{+0,040} _{+0,015}
8 Ø182js6	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Чистове точіння	25 12,5 6,3 3,2	14 11 8 6	7100 290 72 29	28 2×7 4×2,5 2×2	210 ^{+4,7} _{-2,4} 196±0,145 186±0,036 182 ^{+0,046} _{-0,017}
9 Ø200h11	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 11	7100 290	10 10	210 ^{+4,7} _{-2,4} 200 _{-0,290}
10 Ø300h12	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Чистове точіння	25 12,5 6,3 3,2	14 14 13 12	8000 1300 810 520	12 5 2×2 2×1,5	312 ^{+5,3} _{-2,7} 307±0,65 303±0,405 300 _{-0,52}
11 Ø90H14	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	7100 870	98 10×9,8	188 ^{+2,4} _{-4,7} 90 ^{+0,22}
12 Ø200H7	1.Заготовка 2.Чорнове розточування 3.Полу чистове розточування 4.Чистове розточування 5.Тонке розточування	25 12,5 6,3 3,2 1,6	14 12 10 8 7	7100 290 185 72 46	12 5 2×2 2 2×0,5	188 ^{+2,4} _{-4,7} 193±0,145 197±0,0925 199±0,036 200 ^{+0,046}
13 Ø204H14	1.Заготовка 2.Чорнове розточування	25 12,5	14 14	7100 1150	16 2×8	188 ^{+2,4} _{-4,7} 204 ^{+1,15}
14 Ø260h14	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 14	1300 1300	97,5 10×9,75	461 ⁺⁶ ₋₃ 260 _{-1,3}
15 Ø432 8B	1.Заготовка 2.Чорнове точіння 3.Полу чистове точіння 4.Зубофрезерування 5.Шліфування	25 12,5 6,3 3,2 1,6	14 12 11 10 8	1550 630 400 250 71	29 2×2,5 2×2,5 2×9 2×0,5	461 ⁺⁶ ₋₃ 456±0,31 451±0,2 433±0,125 432 8B
16 Ø448h8	1.Заготовка 2.Чорнове точіння	25 12,5	14 12	1550 630	13 6	461 ⁺⁶ ₋₃ 455±0,315

Лис

КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП

Змн. Лис № докум. Підпис Дат

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7
	3.Полу чистове точіння	6,3	10	250	2×2,5	450±0,125
	4.Чистове точіння	3,2	8	97	2	448 ^{-0,097}
17. 28 L=1435	1.Заготовка	25	14	9000	5,2+11,76	1435±1,55
	2.Чорнове точіння	12,5	14	3100		
18 Ø140;L=395	1.Заготовка	25	14	9000	213	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1400		395±0,6
19 Ø140; L=41	1.Заготовка	25	14	9000	436	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	620		41±0,31
20 Ø150;L=104	1.Заготовка	25	14	870	104	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	870	100	104±0,435
	3.Полу чистове точіння	6,3	14	870	2	102±0,435
	4.Чистове точіння	3,2	14	870	2	104±0,435
21 Ø175;L=240	1.Заготовка	25	14	1150	240	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1150		240±0,575
22 Ø178;L=184	1.Заготовка	25	14	1150	184	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	1150		184±0,575
23 Ø180;L=83	1.Заготовка	25	14	870	83	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	870	80	83±0,435
	3.Полу чистове точіння	6,3	14	870	1,5	84,5±0,435
	4.Чистове точіння	3,2	14	870	1,5	83±0,435
24 Ø182; L=30	1.Заготовка	25	14	520	30	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	520		30±0,260
25 Ø200; L=12	1.Заготовка	25	14	430	12	1308,5 ⁺⁶ ₋₃
	2.Чорнове точіння	12,5	14	430		12±0,215
26 Ø300; L=46	1.Заготовка	25	14	360	5,2+4,3	143,5 ^{+5,3} _{-2,7}
	2.Чорнове точіння	12,5	14	360		46±0,180
27 Ø260; L=10	1.Заготовка	25	14	620	5,2	143,5 ^{+5,3} _{-2,7}
	2.Чорнове точіння	12,5	14	620		10±0,310
29 Ø90; L=28	1.Заготовка	25	14	520	96,5	96,5 ^{+2,1} _{-4,2}
	2.Чорнове розточування	12,5	14	520		28±0,260
30 M 20-7H	1. Свердління отвору	12,5	14	430	-	17,5 ^{+0,43}
	3.Зенкування отвору	6,3	13	330	-	20 ^{+0,33}
	4.Нарізання різьби	3,2	7	200	-	M20-7H
31 b=40; P9 h= 156h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62	-	40 ^{-0,026} _{-0,088}

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Продовження таблиці 3.9

1	2	3	4	5	6	7
32 b=32; P9 h= 139h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62	-	$32^{-0,026}_{-0,088}$
33, 34 b=36; P9 h= 120h14	1. Фрезерування шпонкового пазу	9	3,2	62	-	$36^{-0,026}_{-0,088}$
35 HM-30 H14	1. Центрування отвору	14	12,5	520	-	HM-30 $^{+0,52}$

3.7 Розрахунок і вибір режимів різання, нормування технологічних операцій

Режими різання розрахунково-аналітичним методом визначаються на операцію тонкого точіння.

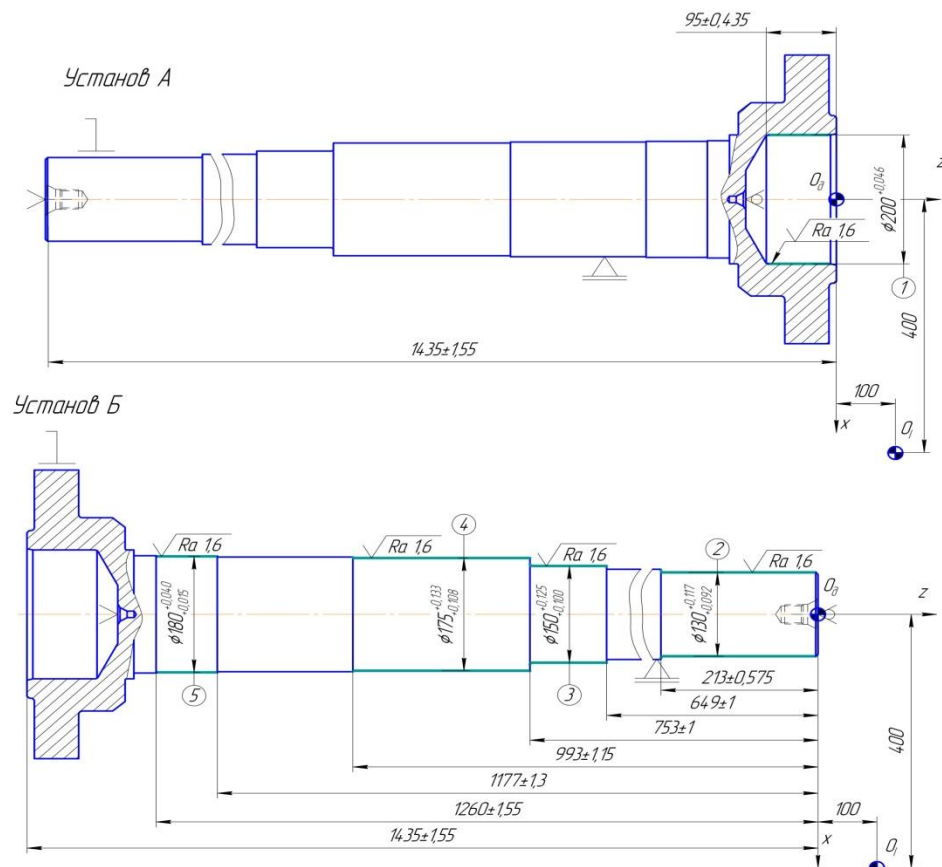


Рисунок 3.7 – Ескіз обробки

Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат

Установ А:

- розточування отвору, різець розточний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин Т5К10

Установ Б:

- точіння циліндричної поверхні, різець токарний прохідний з механічним кріпленням багатогранних твердосплавних пластин $h \times b = 25 \times 25$,

Глибина різання $t = 0,5$ мм, $i = 2$.

Подачу при чистовому точіння обирають в залежності від необхідних параметрів шорсткості обробленої поверхні та від радіусу при вершині різця:

установ А - $s = 0,1$ мм/об;

установ Б - $s = 0,13$ мм/об.

Величина швидкості різання залежить від властивостей оброблюваного матеріалу, стійкості інструмента та матеріалу його різальної частини, а також глибини різання і величини подачі та визначається за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot s^y} \cdot K_v, \text{ м/хв} \quad (3.12)$$

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv}, \quad (3.13)$$

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_s} \right)^{n_v}, \quad (3.14)$$

$$K_{mv} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{635} \right)^{1,0} = 1,18$$

Звідси маємо:

$$K_v = 1,18 \cdot 0,8 \cdot 0,65 = 0,6$$

$$v = \frac{420}{45^{0,2} \cdot 0,5^{0,15} \cdot 0,13^{0,2}} \cdot 0,6 = 196 \text{ м/хв}$$

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}, \text{ хв}^{-1} \quad (3.15)$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 196}{3,14 \cdot 200} = 312,10 \text{ хв}^{-1};$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 196}{3,14 \cdot 180} = 346,77 \text{ хв}^{-1}.$$

Розраховану частоту обертання корегуємо за паспортними даними верстата, тобто $n_{01} = 315 \text{ хв}^{-1}$ $n_{02} = 350 \text{ хв}^{-1}$.

Тоді дійсна швидкість обертання шпинделя верстата становить:

$$v_{01} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 200 \cdot 315}{1000} = 198 \text{ м/хв};$$

$$v_{02} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 350}{1000} = 198 \text{ м/хв}.$$

Хвилинну подачу при обробці деталі визначаємо за формулою:

$$s_{0a} = s \cdot n_a, \text{ мм/хв} \quad (3.16)$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

$$s_{x61} = 0,1 \cdot 315 = 31,5 \text{ мм / хв};$$

$$s_{x62} = 0,13 \cdot 350 = 45,5 \text{ мм / хв}.$$

Силу різання при точінні визначаємо за формулою:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot v^n \cdot K_\delta, \text{ Н} \quad (3.17)$$

$$K_p = K_{mv} \cdot K_{\varphi} \cdot K_{\eta} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{\eta}, \quad (3.18)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^n, \quad (3.19)$$

$$K_{m\delta} = \left(\frac{635}{750} \right)^{0,75} = 0,88.$$

$$K_p = 0,88 \cdot 0,89 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,93 = 0,73.$$

$$P_z = 10 \cdot 300 \cdot 0,5^{1,0} \cdot 0,13^{0,75} \cdot 198^{-0,15} \cdot 0,73 = 107,24 \text{ Н}.$$

Ефективну потужність різання визначаємо за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт} \quad (3.20)$$

$$N_e = \frac{107,24 \cdot 198}{1020 \cdot 60} = 0,34 \text{ кВт}$$

Потужність верстата за паспортом становить $N=22$ кВт, тобто обробка можлива, оскільки $N_{\text{штп}} > N_e$.

Основний машинний час обробки:

$$T_o = \frac{L_{\text{п.х.}}}{s_{\delta a}} \cdot i, \quad (3.21)$$

Розраховуємо основний машинний час обробки:

Установ А:

$$T_{i1} = \frac{95}{31,5} \cdot 2 = 6,03 \text{ хв.}$$

Установ Б:

$$T_{i2} = \frac{640}{45,5} \cdot 2 = 28,13 \text{ хв.}$$

Сумарний основний машинний час:

$$T_o = 6,03 + 28,13 = 34,16 \text{ хв.}$$

Машино-допоміжний час:

$$T_d = 11,9 \text{ хв.}$$

Таким чином, оперативний час:

$$T_{\text{оп}} = T_o + T_d = 34,16 + 11,9 = 46,06 \text{ хв.}$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Час на відпочинок та обслуговування визначається у відсотках від оперативного часу. Для токарної операції він становить 7%

$$T_{\text{ВІДП}} + T_{\text{ОБСЛ}} = 0,07 \cdot 46,06 = 3,22 \text{ хв.}$$

Норму штучного часу:

$$T_{\text{ШТ}} = T_{\text{О}} + T_{\text{Д}} + T_{\text{ВІДП}} + T_{\text{ОБСЛ}} \quad (3.22)$$

$$T_{\text{ШТ}} = 34,16 + 11,9 + 3,22 = 49,28 \text{ хв.}$$

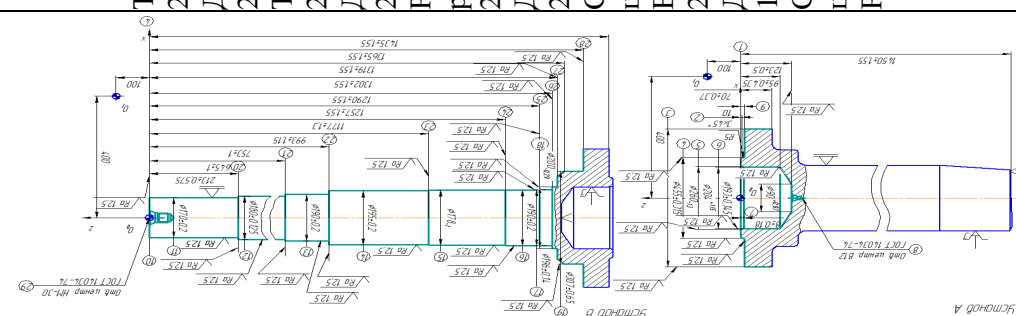
Норму штучно-калькуляційного часу визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ШК}} = T_{\text{ШТ}} + T_{\text{П-3/n}}, \quad (3.23)$$

$$T_{\text{ШК}} = T_{\text{ШТ}} + T_{\text{П-3/n}} = 49,28 + 12/1000 = 49,29 \text{ хв}$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

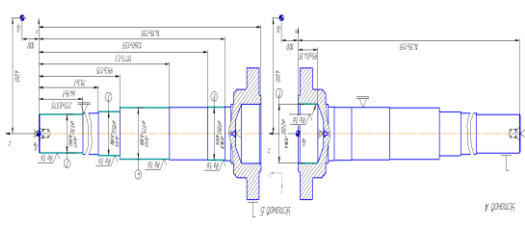
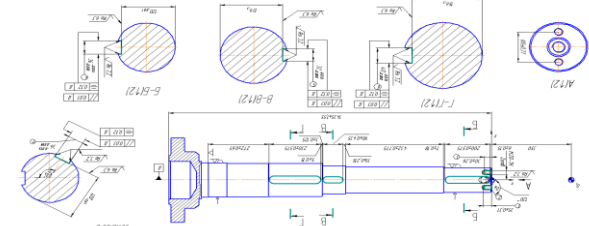
Таблиця 3.10 - Режими різання і норми часу на технологічні операції

№	Операція	Ескіз	Інструмент	D	L	t	S	V	N	i	T _о	T _{вс}	T _{оп}	T _{від}	T _{шт}	T _{шт-к}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Токарна чорнова та полу чистова з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США) 1. Встановити, закрити, зняти. Установ А 2. Підрізати торці в розмір 1-4. 3. Точити поверхні в розмір 5-8. 4. Свердлити центровий отвір в розмір 9. Установ Б 5. Переустановити 6. Свердлити центровий отвір в розмір 29. Установ В 7. Переустановити 8. Точити поверхні в розмір 11-19. 9. Підрізати торць в розмір		Токарний різець 2100-1641 ДСТУГОСТ 26611-85. Токарний різець 2100-2067 ДСТУГОСТ 26611-85. Розточний різець 2141-0615 ДСТУГОСТ 20874-75. Свердло центрове В Ø10 Р6М5, 2317-0011 ДСТУГОСТ 14952-75. Свердло центрове НМ-30 Р6М5.	455 455 260 260 260 204 193 90 12 170 170 180 190 195 178 190 196 200 307 30	5,2 70 10 10 3 8 95 28 25 15 213 432 104 240 184 83 30 12 63 57,6	5,2 3 5 5 3 4 5 4 6 5 5 5 5 5 5 5 3,5 5 5 15	0,8 0,95 0,9 0,8 1,05 0,6 0,5 0,7 0,12 0,75 0,75 0,75 0,8 0,75 0,8 0,75 0,8 0,85 0,95 0,28	161,8 146,56 139,09 154,73 155,46 172,62 101,06 156,22 50,84 142,45 150,99 150,99 154,73 154,71 151,66 150,99 154,73 142,72 150,63 44,42	303 103 97 189 190 269 332 553 1349 216 229 229 235 235 230 229 198 216 154 472	1 2 2 20 1 4 2 13 1 3 20 14 7 4 7 4 4 2 1 1	85,2	15,79	100,99	7,07	108,06	108,1
010	Термообробка															

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	Токарна чистова з ЧПК Токарний з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США 1. Встановити, закрити, зняти. Установ А 015 2. Точити поверхні в розмір 1-2. Установ Б 3. Переустановити 4. Точити поверхні в розмір 3-9. 6. Підрізати торці в розмір 10,11		Токарний різець 2100-1641 ГОСТ 26611-85. Токарний різець 2100-2067 ГОСТ 26611-85. Розточний різець 2141-0615 ГОСТ 20874-75.	448 199 131 140 151 176 181 182 300 176 182	60 95 213 41 104 240 83 30 46 4 3	2 2,5 2,5 2,5 2,5 2,5 2 2 1,5 4 3	0,14	409,08 395,61 395,61 395,61 395,61 409,08 409,08 409,08 427,12 368,68 384,94	655 277 741 700 663 668 686 665 443 778 677	3 4 16 8 10 8 5 5 5 1 1	86,91	12,8	99,71	6,98	106,7	106,8

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
з Тонке точіння з ЧПК Токарний з ЧПК Токарний TRAK® 16" Toolroom Lathe(США) 1. Встановити, закріпити, зняти. 020 Установ А 2. Розточити поверхню в розмір 1. Установ Б 3. Переустановити 4. Точити поверхні в розмір 2-5		Токарний різець 2100-1641 ДСТУГОСТ 26611-85. Розточний різець 2141-0615 ДСТУГОСТ20874-75.	200 130 150 175 180	95 213 104 240 83	0,5 0,5 0,5 0,5 0,5	0,1 0,13 0,13 0,13 0,13	198 198 198 198 198	315 350 350 350 350	2 2 2 2 2	34,16 11,9 46,06 3,22 49,28 49,29						
Фрезерно-свердлильна з ЧПК Багатоцільовий ELMAG UFM 1600 Servodrивe Установ А 1. Встановити, закріпити, зняти. 2. Свердлити отвори в розмір 1. 025 3.Зенкування в розмір 2. 4.Нарізати різьбу М20-7Н в розмір 3. 5. Фрезерувати шпонкові пази в розмірі 4-б. Установ Б 6. Переустановити 7. Фрезерувати		Фреза 2235-0075 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Фреза 2235-0081 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Фреза 2235-0083 Р6М5 ДСТУГОСТ 9140-78; Свердло 2301-0060 Р18 ДСТУГОСТ 10903-77; Свердло 2317-0104 Р18 ДСТУГОСТ 14952-80 Зенківка 2353-0143 Р18 ДСТУГОСТ 14953-80; Мітчик 2620-1735 Р18 ДСТУГОСТ 3266-81; Мітчик 2620-1733 Р18 ДСТУГОСТ 3266-81.	17,5 20 20 130 150 175 130	35 2,5 30 200 90 230 200	8,75 1,25 1,25 0,5 0,5 0,5 0,5	0,1 0,42 2,5 1,1 1,0 1,3 1,0	59,7 42,92 29,9 11,24 11,17 11,04 11,24	1086 684 476 99 111 88 99	1 1 2 20 22 38 20	142,5 4,38 146,88 5,86 152,7 152,8						

Продовження таблиці 3.10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
	<p>Зубофрезерна Зубофрезерний Liebherr L-650</p> <p>030</p> <p>1. Встановити, закріпити, зняти. 2. Фрезерувати зуб'я в розмір 1.</p>		<p>Черв'ячна фреза 2510-4214 А ДСТУ ГОСТ 9324-80</p>	432	60	9	1,8	94	69	1	24,25	3,08	27,33	0,27	27,6	27,61
035	Термообробка		<p>Шліфувальний круг 25А 60 К 7 V</p>	432	60	0,5	0,05	250	85	1	14,9	0,46	15,36	1,1	16,46	16,47
045	Контрольна	<p>Зубошліфувальна Зубошліфувальний Gleason-Pfauder P1200G 1.</p> <p>040</p> <p>Встановити, закріпити, зняти. 2. Шліфувати зуб'я в розмір 1</p>														

3.8 Обґрунтування вибору шліфувального кола для шліфування зубів $m 8$ на зубошліфувальній операції.

Завдання:

Параметр	Значення
Модуль шестерні	8 мм
Кількість зубів	54
Тип зуба	Прямий
Ступінь точності	8 В за ГОСТ 1643
Матеріал	Сталь 40Х (після термообробки, HRC 45–50)
Шорсткість впадини зуба	$Ra = 1,6$ мкм
Тип обробки	Шліфування впадин зубців

Послідовність обґрунтування:

1. Вимоги до шліфувального круга

- Тип шліфування: профільне шліфування зубців (по впадині), з відновленням профілю круга за допомогою правки.
- Матеріал заготовки (40Х після термообробки) має високу твердість, тож потрібен абразив із високою твердістю та термостійкістю.
- Шліфування повинно забезпечити шорсткість $Ra = 1,6$ мкм \rightarrow точне чистове шліфування.

2. Вибір абразиву

Параметр	Обґрунтування
Тип зерна	Корунд нормальний (14А) або білий корунд (25А) — добре підходить для загартованої сталі 40Х
Марка абразиву	Рекомендовано: 25А (білий електрокорунд) — має кращу ріжучу здатність
Твердість круга	Середня або м'яка (М–Q) — для уникнення забивання
Структура	Відкрита (6–8) — краща відвідка тепла та стружки
Зернистість	F46–F60 (або М40–М63) — для отримання $Ra \approx 1,6$ мкм
Зв'язка	Керамічна (V) — стандартна для зубошліфування

3. Приклад конкретного шліфувального круга

Параметр	Значення
Тип круга	Профільний круг для зубошліфування
Марка	25А 60 К 7 V
Зовнішній \varnothing	350 мм (залежно від верстата)
Ширина	40 мм (або під профіль модуля 8)
Отвір	127 мм (стандарт для верстатів типу 3Б631 або аналогічних)
Зв'язка	V (керамічна)

Розшифровка:

25А – білий електрокорунд; 60 – зернистість; К – твердість (середня); 7 – структура (відкрита); V – керамічна зв'язка

4. Рекомендовані режими шліфування

Параметр	Орієнтовне значення
Швидкість круга	30–35 м/с
Подача на зуб	0,02–0,05 мм/зуб
Глибина шліфування	0,03–0,08 мм (в 2–3 проходи)
Охолодження	Обов'язкове — емульсія або спеціальні МОР

5. Обґрунтування вибору

- Абразив 25А (білий електрокорунд) обраний завдяки високій ріжучій здатності — ідеально підходить для загартованої сталі 40Х.
- Зернистість 60 забезпечує шорсткість $Ra = 1,6$.
- Керамічна зв'язка витримує температуру і стабільно тримає профіль.
- Вибір твердість К (середня) та структура 7 дозволяє ефективно знімати матеріал без перегріву.
- Форма круга — профільна, з відповідним шаблоном для нарізаного зуба з модулем 8 мм.

Висновок

Для шліфування прямозубої шестерні з модулем 8, матеріалом 40Х (загартована), класом точності 8 В і вимогою шорсткості $Ra 1,6$ мкм, оптимальним є використання профільного шліфувального круга 25А 60К7V. Цей круг забезпечує необхідну точність, шорсткість та ресурс інструмента при роботі з загартованою сталлю.

Повна характеристика круга:

Шліфувальний круг 25А 63×6×20 мм, F46–80, білий електрокорунд

- Абразив: білий електрокорунд 25А — високої ріжучої здатності, ідеально підходить для загартованої сталі 40Х
- Зернистість: 46–80; оптимальні для досягнення шорсткості $Ra \approx 1,6$ мкм на зубцях.
- Твердість марки К–Q (середня–м'яка) — виключає забивання та перегрів, що критично при шліфуванні зубців із модулем 8 мм.
- Структура відкрита (6–8) — забезпечує ефективне охолодження та видалення стружки.
- Розміри:
 - Зовнішній \varnothing : 63 мм ;
 - Ширина 6 мм — дозволяє профільну шліфовку впадин зубців без подрібнення.
 - Внутрішній отвір 20 мм — сумісний зі стандартними адаптерами.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

Правильне зерно 25А
Шліфувальний круг 25А 63×6×20 мм

Обґрунтування вибору

- Круг 25А (білий електрокорунд) рекомендований для загартованої сталі завдяки високій ріжучій здатності і термостійкості .
- Зернистість F46–F80 відповідає базовим рекомендаціям для Ra 1,6 та модуля 8 мм.
- Відкрита структура V=7 гарантує ефективне зняття стружок та запобігає перегріву інструмента й деталі.
- Форм-фактор круга та розміри сумісні з профільними шліфувальними верстатами, зокрема з внутрішнім отвором 20 мм.

Рекомендовані параметри роботи

Параметр	Значення
Vc (швидкість круга)	≈ 30 м/с
Подача на зуб	0,02–0,05 мм/зуб
Глибина знімання	0,03–0,08 мм за кілька проходів
Охолодження	обов'язково — охолодна рідина

Висновок

Шліфувальний круг 25А 63×6×20 мм, зернистістю 46–80, з відкритою керамічною структурою, є оптимальним рішенням для:

- модуля 8 мм,
- сталі 40Х (після термообробки),
- класу точності 8 В,
- шорсткості Ra ≈ 1,6 мкм.

Проводимо дослідження вибору шліфувального кола з зарубіжних аналогів Norton, Tyrolit .

Два високоякісні аналоги шліфувального круга для вашої задачі — від Norton і Tyrolit — що ідеально підходять для шліфування впадин зубців прямозубої шестерні $m = 8$, $z = 54$ на загартованій сталі 40Х з класом точності 8 В і шорсткістю Ra 1,6 мкм:

Norton WGRC / WGNC з VS3PN-зв'язкою:

Технологія: промислова лінійка Norton Gear Grinding Wheels з новітньою зв'язкою VS3PN

Зерно:

- Склад із шаруватих NQN / TG2 / TQX або преміального Al₂O₃ залежно від ресурсу чи вартості.
- Для вашої сталі 40Х підійде високоякісне Al₂O₃ (WGE) або NQN, із оптимальною балансом довговічності та шорсткості
- Модуль ≥ 7,5: для ваших 8 мм рекомендований саме WGRC (або

									Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат					

КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП

- WGNC за трохи менші модулі) — розроблені для великих шестерень .
- Переваги:
 - Стійка форма профілю (мінімальні похибки).
 - Добра тепловіддача та низький ризик перегріву.
 - Високий ресурс — менше правок, кращий коефіцієнт G.

Tyrolit Mira Ultra (або їх профільні круга)

- Призначення: шліфувальні круги для зубчастих коліс, модуль 0,5–8 мм
- Спеціалізація: підтримка швидкості до 100 м/с, розробка для профільного шліфування зубців великих модулів
- Матеріал:
 - Зерно: високотехнологічні керамічно-композитні матеріали (аналог TG2/TQX).
- Переваги:
 - Відмінна якість профілю.
 - Великий ресурс навіть при інтенсивному завантаженні.
 - Стабільна шорсткість поверхні ($Ra \leq 1,6$).

Порівняльна таблиця

Бренд / Модель	Зв'язка / Зерно	Модуль / Розмір	Шорсткість профілю	Переваги
Norton WGRC/NC + VS3PN	VS3PN + Al ₂ O ₃ / кераміка	≥ 7,5 мм	Ra ≤ 1,6 мкм	Стабільність, ресурс, мін. перегрів
Tyrolit Mira Ultra	Кераміка / сучасні зерна	0,5–8 мм	Відмінна	Високошвидкісні обробки, точність

Висновок:

- Якщо потрібно максимальний ресурс та чіткий профіль без перегріву — обираємо Norton WGRC (модуль ≥ 8 мм) або WGNC.
- Якщо важлива висока швидкість шліфування і сучасні зерна — оптимальний варіант — Tyrolit Mira Ultra.
- Обидва варіанти підтримують досягнення Ra 1,6 і 8 В класу точності.

										Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	КНУ.КБР.131.25.1-23.03.ПТП					

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВАРІАНТІВ МАРШРУТУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

Проводимо економічне порівняння двох варіантів обробки деталі за допомогою програмного продукту Economical Linksmoon (рисунки 4,1; 4,2; 4,3; 4,4).

Розрахуємо технологічну собівартість за варіантом заготовки - однакові, верстати різні (три верстати 16K40 порівнюється з верстатом TRAK® 16" Toolroom Lathe (США)).

Входные данные

Перед началом ввода убедитесь, что включена АНГЛИЙСКАЯ РАСКЛАДКА КЛАВИАТУРЫ и включен NUM LOCK. Затем с помощью правой цифровой панели клавиатуры введите требуемые данные. Для перехода в следующее поле используйте клавишу TAB...

		Базовый вариант	Станок с ЧПУ
Трудоёмкость			
Годовой объём выпуска деталей, шт		1000	1000
Штучное время обработки детали, мин		417.45	264.58
Время настройки станка в течение года			
Количество запусков, шт		12	12
Время наладки станка, мин		125	60.5
Время настройки инструмента вне станка на протяжении года			
Среднее время настройки по прибору одного инструмента вне станка, мин		14	4
Среднее количество граней пластинки, шт		1	3
Средний период стойкости инструмента, мин		60	90
Количество станочников			
Количество станков, обслуживаемых одним рабочим		1	2
Дополнительное количество рабочих по обслуживанию станков с ЧПУ			
Эффективный годовой фонд времени работы станка		4055	3955
Коэффициент загрузки станка		0.45	0.85
Балансовая стоимость станка			
Оптовая цена станка		316000	396000
Масса станка, т			
		9.8	6

Buttons: Далее, Назад, Выход

Рисунок 4.1-Перший кадр програми Economical Linksmoon

					КНУ.КБР.131.25.1-23.04.ТЕОВ		
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат			
Розроб.	Чижиков				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Кіяновський						
Т.Контр.					Каф. ТМ , Гр ПМ-21		
Н. Контр.	Нечаєв						
Затверд.	Рязанцев						
					ТЕХНІКО _ ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ		

Входные данные		
Стоимость помещения		
Площадь станка по габаритам	16.29	29.25
Коэффициент, учитывающий доп. площадь станка	4.5	4
Площадь устройства ЧПУ, м	0	1.42
Стоимость 1 м.кв. площади мех. цеха, грн.	595	595
Площадь служебно-бытовых помещений, приходящаяся на одного рабочего, м.кв.	4	5
Стоимость 1 м.кв. площади, занятой служебно-бытовыми помещениями (грн.)	318	318
Стоимость разработки ПУ		
Стоимость разработки ПУ, грн.	0	116
Оборотные средства в незавершённом производстве		
Стоимость заготовки Sзаг, грн.	5.598	5.598
Себестоимость обработки		
Среднегодовая зарплата станочника, грн.	1.4	1.2
Среднегодовая зарплата наладчика, грн.	1.1	1.2
Среднегодовая зарплата настройщика инструмента, грн.	0	1.2
Среднегодовая зарплата контролёра, грн.	1	1
Затраты на подготовку и обновление ПУ, грн.		
Длительность выпуска деталей Z (3-5 лет)	3	5
Затраты на ремонт и ТО оборудования		
Категория сложности ремонта станка ЕРС (механическая часть)	12	11
Категория сложности ремонта станка ЕРС (электротехническая часть)	9.5	22

Рисунок 4,2 – Другой кадр програми Economical Linksmoon

Входные данные		
Затраты на одну единицу ЕРС станка, грн (механическая часть)	30.1	30.3
Затраты на одну единицу ЕРС станка, грн (электротехническая часть)	7.4	7.7
Коэффициент, учитывающий класс точности станка	1	1.2
Затраты на содержание и амортизационные расходы на 1 м.кв. цеха Нпл, грн (10% от стоимости)	59.5	59.5
Затраты на ТО и ремонт устройства ЧПУ, грн.		
Норматив годовых затрат на текущее обслуживание и ремонт ЧПУ, грн.	0	860

Рисунок 4.3-Третий кадр програми Economical Linksmoon

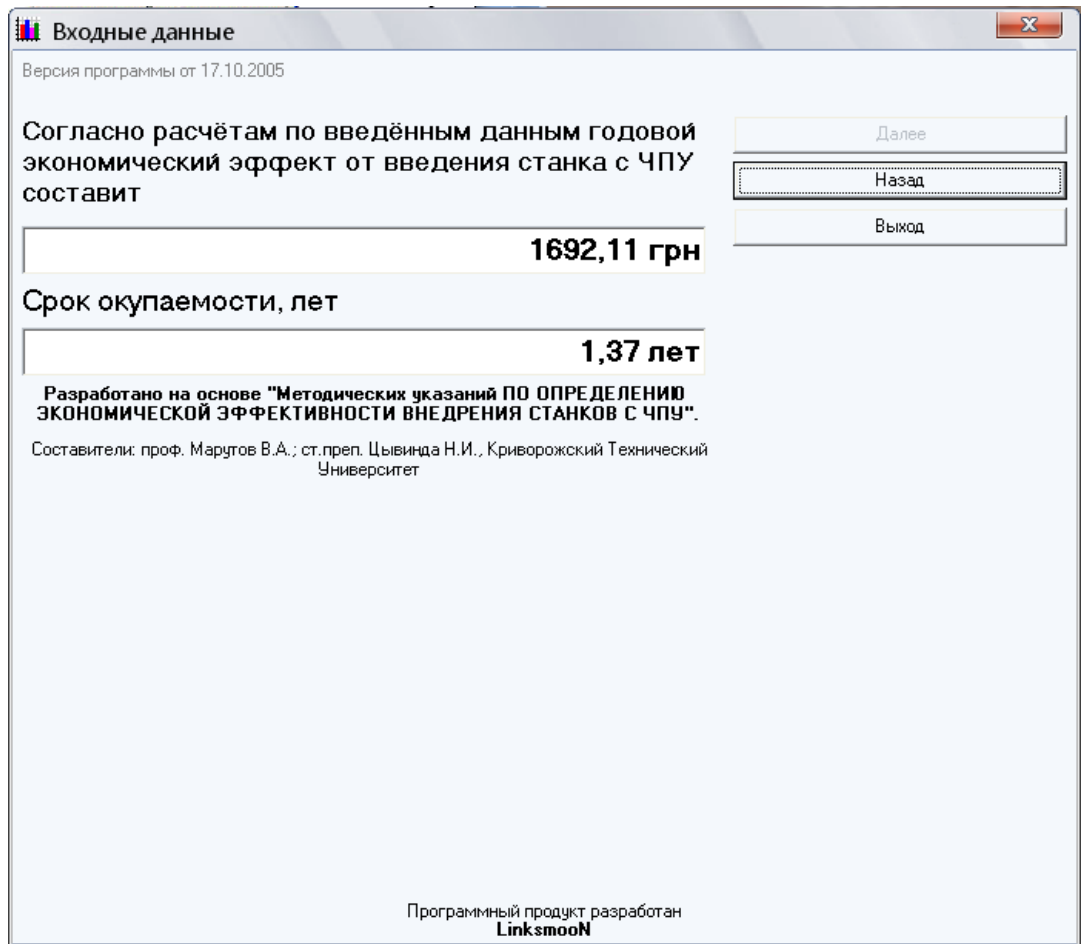


Рисунок 4.4-Підсумки

З кадрів програми видно, що економічний ефект введення верстату з ЧПК складає 1692,11гр. А термін окупності проекту складає 1,37 років. Отже введення верстату 16К40РФ3 є доцільним та аргументованим, бо зменшується час обробки, підвищується точність, є можливість настроювання верстата на виробництво інших деталей, що перекриє витрати на купівлю і обслуговування верстата.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.04.ТЕОВ	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

ВРОЗРОБКА ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО НАЛАГОДЖЕННЯ ТА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ У FUTURE CAM

Розробку верстатно-інструментального налагодження та розрахунково-технологічної карти виконуємо для багатоцільової операції в процесі виготовлення деталі "зубчастий вал" на багатоцільовому верстаті ELMAG UFM 1600 Servodrive з системою керування FANUC SYSTEM - 6M.

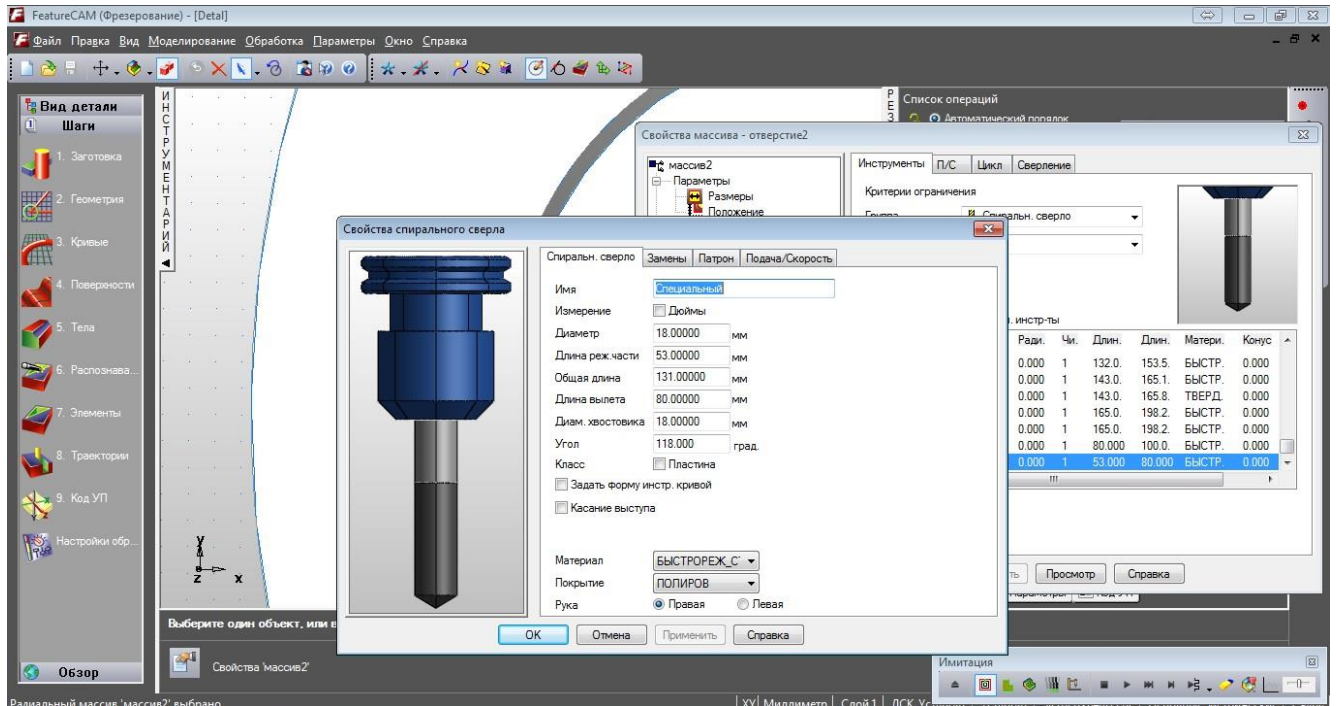


Рисунок 5.1 –Вибір інструменту

КНУ.КБР.131.25.1-23.05.РВІН								
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат	РОЗРОБКА ВЕРСТАТНО-ІНСТРУМЕНТАЛЬНЕ НАЛАГОДЖЕННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		ЧИЖИКОВ						
Перевір.		КІЯНОВСЬКИЙ						
Т.Контр.								
Н. Контр.		НЕЧАЄВ						
Затверд.		РЯЗАНЦЕВ						Каф. ТМ , Гр ПМ-21

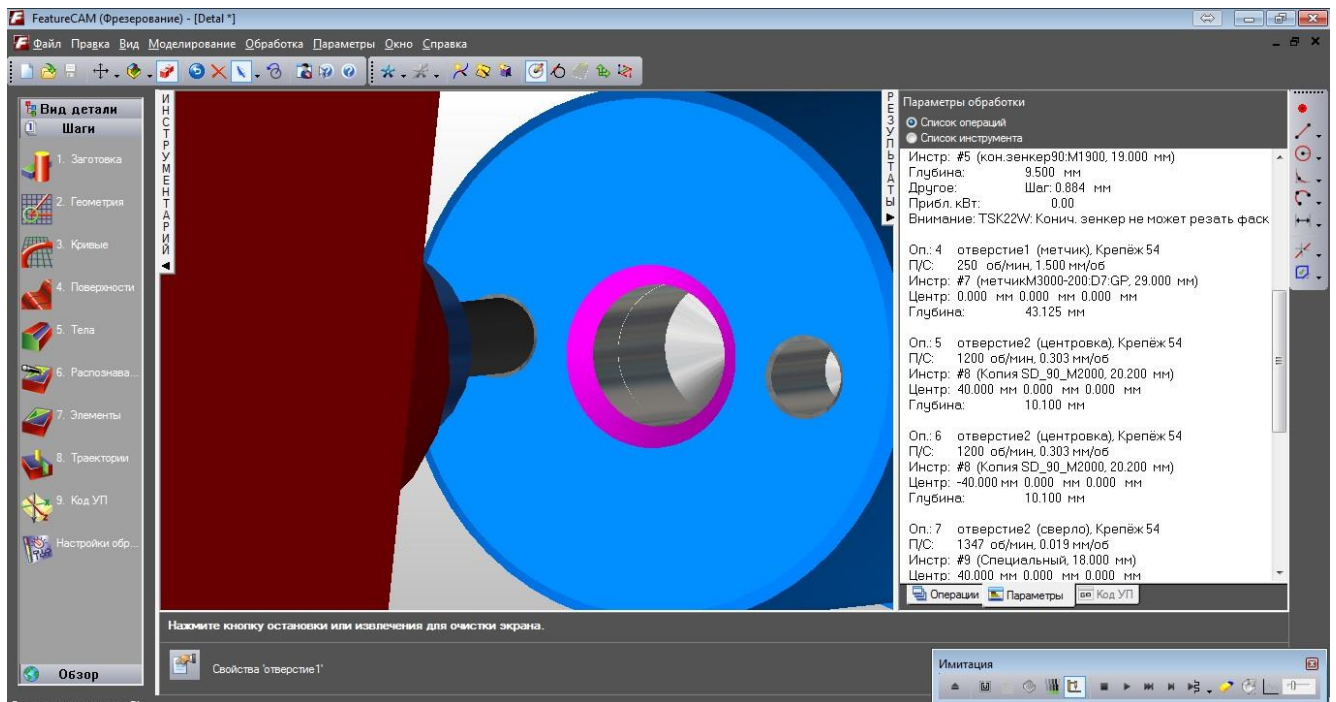


Рисунок 5.5- Візуліація нарізання різьби мітчиком та вибір режимів різання

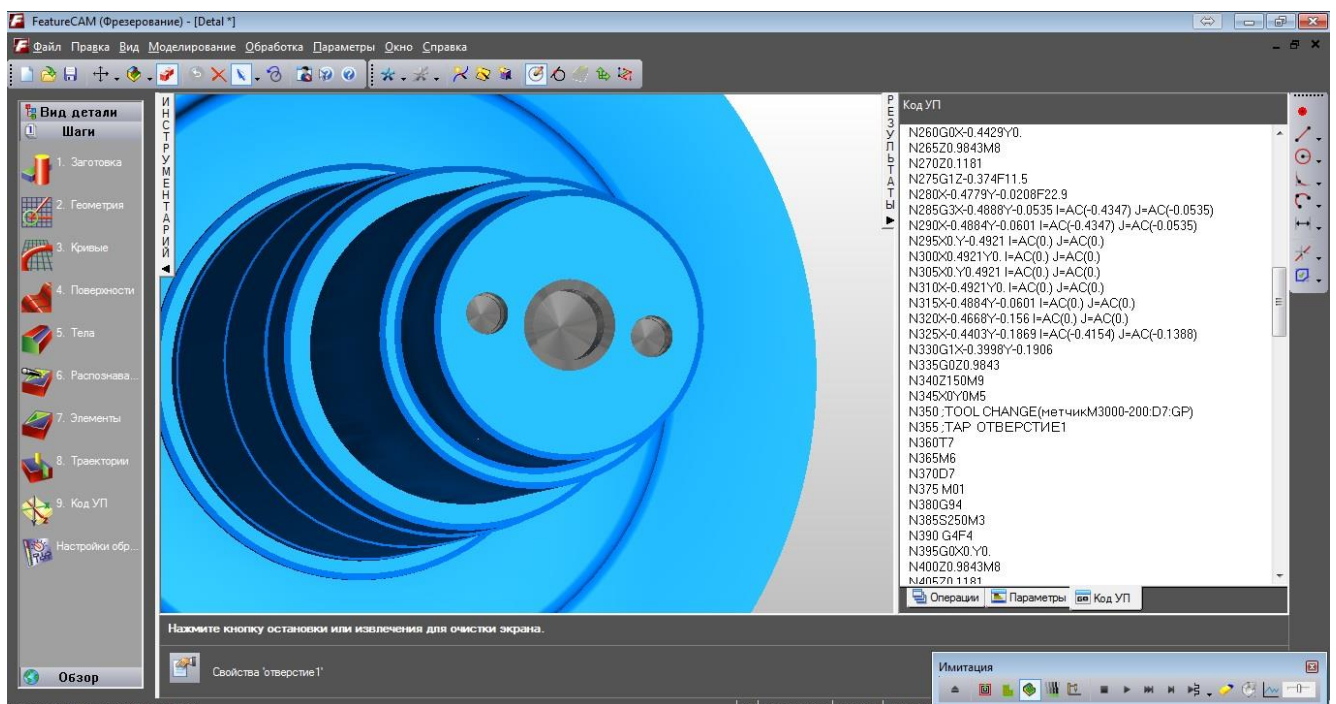


Рисунок 5.6-Кадри керуючої програми обробки отворів

										Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат	КНУ.КБР.131.25.1-23.05.РВІН					

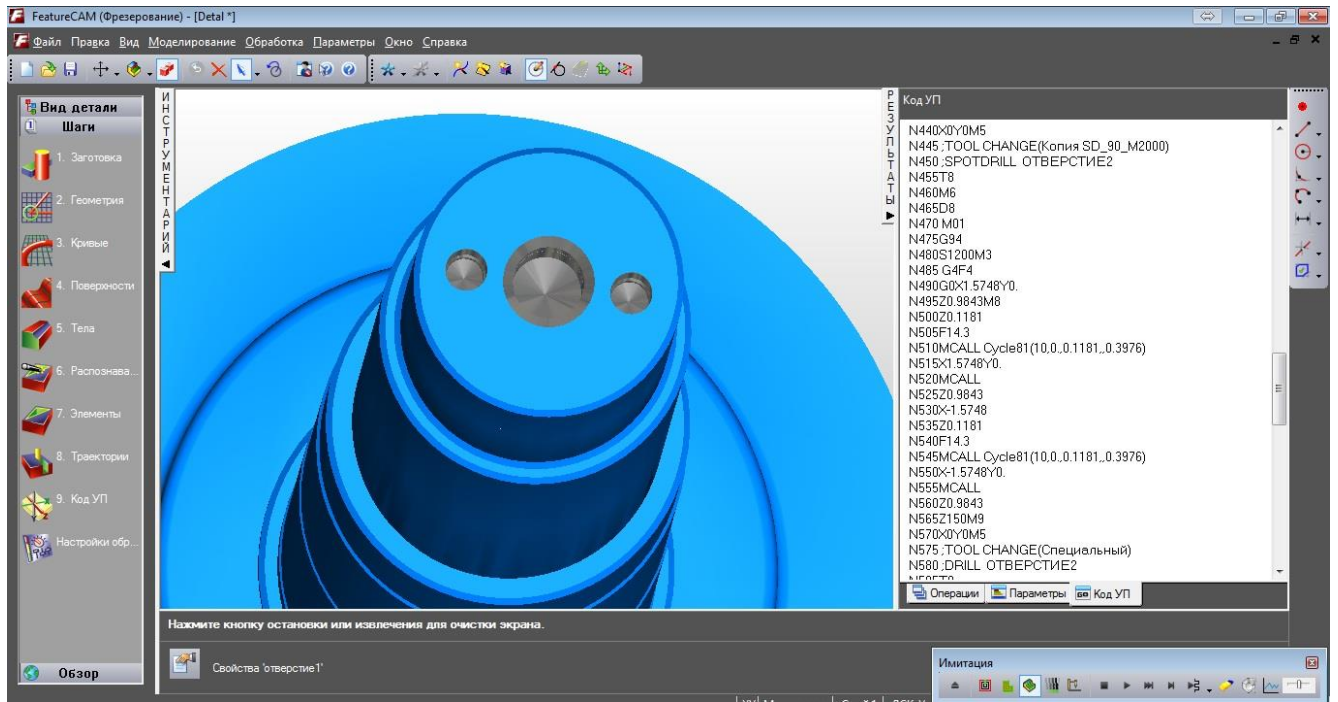


Рисунок 5.7- Продовження кадрів керуючої програми обробки отворів

Згенерована керуюча програма:

					КНУ.КБР.131.25.1-23.05.РВІН	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

%
 Detal
 N20G54 D0
 N25G17 G20 G94 G90 G64 SOFT
 N30 ; TOOL CHANGE(центр_M1600-0630)
 N35 ; SPOTDRILL ОТВЕРСТИЕ1
 N40T2
 N45M6
 N50D2
 N55M01
 N60S709M3
 N65 G4F4
 N70G0G54X0.Y0.
 N75Z0.9843M8
 N80Z0.1181
 N85F13.3
 N90MCALL Cycle81(10,0.,0.1181,,1.214)
 N95X0.Y0.
 N100MCALL
 N105Z0.9843
 N110Z150M9
 N115X0Y0M5
 N120 ;TOOL CHANGE(Копия Специальный28)
 N125 ;DRILL ОТВЕРСТИЕ1
 N130T3
 N135M6
 N140D3
 N145 M01
 N150G94
 N155S713M3
 N160 G4F4
 N165G0X0.Y0.
 N170Z0.9843M8
 N175Z0.1181
 N180F13.4
 N185MCALL Cycle83(10,0.,0.1181,,2.3707,,1.3386,0.8,,,1,1,,2)
 N190X0.Y0.
 N195MCALL
 N200Z0.9843
 N205Z150M9
 N210X0Y0M5
 N215 ;TOOL CHANGE(кон.зенкер90:M1900)
 N220 ;CHAMFER CHAMFER ОТВЕРСТИЕ1
 N225T5
 N230M6
 N235D5
 N240 M01
 N245G94
 N250S8085M3
 N255 G4F4
 N260G0X-0.4429Y0.
 N265Z0.9843M8

					КНУ.КБР.131.25.1-23.05.РВІН	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

6 ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ

6.1 Проектування спеціального пристосування

Конструкторська підготовка - спроектувати спеціальний верстатний пристрій для обробки деталі на багатоцільовому свердильно-фрезерно-розточному верстаті моделі ELMAG UFM 1600 Servodrive. На верстаті виконується фрезерування шпонкових пазів, свердління та нарізання різьби отворів деталі зубчастий вал.

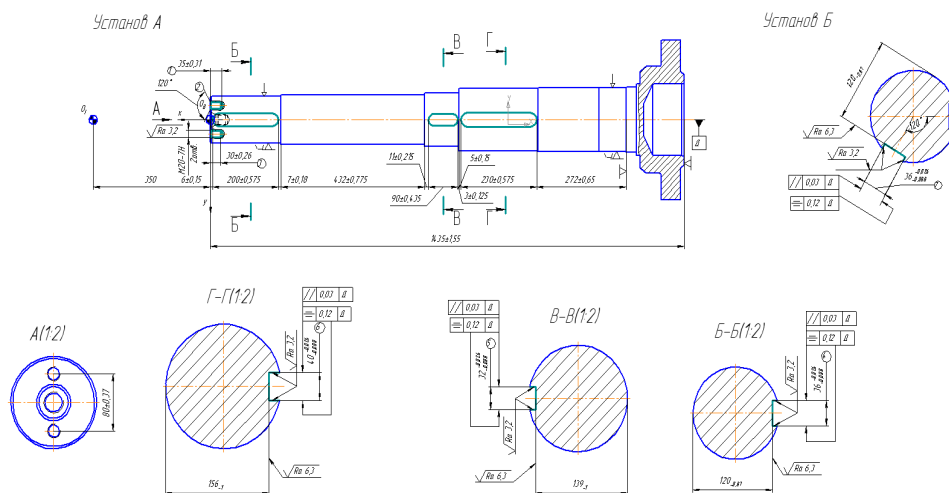


Рисунок 6.1 – Ескіз механічної обробки деталі вал зубчастий

6.1.2 Вибір режимів різання на фрезерну операцію

Вибір режимів різання виконуємо для фрезерування шпонкового пазу на верстаті моделі ELMAG UFM 1600 Servodrive. Верстат має потужність 93,7 кВт.

Для обробки шпонкового пазу розміром 40мм на глибину 19мм вибираємо шпонкову фрезу з швидшвидкорізальної сталі Р6М5 по ДСТУ ГОСТ 9140-78. Параметри фрези: 2235-0083, $D = 40$; $L=163$ мм; $l = 38$ мм; число зубів $z=2$.

Вибираємо подачу на зуб фрези: $S_z = 0,65$ мм .

Розраховуємо швидкість різання за формулою:

$$V_{розр} = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z^p} \cdot K_v \quad (6.1)$$

де $C_v - C_v = 12$ [1, табл.39, стор.287];

q, m, x, y, u, p – показники степенів, $q=0,3$; $m=0,26$; $x=0,3$; $y=0,25$; $u=0$; $p=0$

$T - T = 120$ хв

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Чижигов			ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОСНАЩЕННЯ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кіяновський						
Т.Контр.						Каф. ТМ, Гр ПМ-21		
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						

K_V – поправочний коефіцієнт, який розраховуємо за формулою:

$$K_V = K_{MV} \cdot K_{IV} \cdot K_{IV}, \quad (6.2)$$

де K_{MV} – коефіцієнт, який враховує якість оброблюємого матеріалу:

$$K_{MV} = K_{\Gamma} \cdot \left(\frac{750}{\sigma_{\epsilon}} \right)^{n_V}, \quad (6.3)$$

де $K_{\Gamma} - K_{\Gamma} = 1,0$,

$\sigma_{\epsilon} - \sigma_{\epsilon} = 635$ МПа;

n_V – показник степені,

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{635} \right)^{0,9} = 1,16.$$

$K_{IV} - K_{IV} = 1,0$

$K_{IV} - K_{IV} = 0,65$

$K_V = 1,16 \cdot 1,0 \cdot 0,65 = 0,754$.

$$V_{\delta i \zeta \delta} = \frac{12 \cdot 40^{0,3}}{120^{0,26} \cdot 0,5^{0,3} \cdot 0,65^{0,3} \cdot 230^0 \cdot 2^0} \cdot 0,754 = 11,04 \text{ і } / \delta \hat{a}.$$

Розраховуємо окружну силу різання за формулою:

$$P_z = \frac{10 C_P \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot z}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{MP}, \quad (6.4)$$

де $C_P = 12,5$

$n = 87,9$ об/хв;

q, m, x, y, u – показники степенів, $q = 0,73$; $w = -0,13$; $x = 0,85$; $y = 0,75$; $u = 1,0$ [1, табл.41, стор.291];

$$K_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (6.5)$$

де $\sigma_{\epsilon} - \sigma_{\epsilon} = 635$ МПа;

$n - n = 0,3$,

$$K_{MD} = \left(\frac{635}{750} \right)^{0,3} = 0,95$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 0,5^{0,85} \cdot 0,065^{0,75} \cdot 230^{1,0} \cdot 2}{40^{0,73} \cdot 87,9^{-0,13}} \cdot 0,95 = 2657,15 \text{ і }.$$

$P_y : P_z = 0,4$,

$P_y = 0,4 \cdot 2657,15 = 1062,86 \text{ Н}$;

$P_x : P_z = 0,5$,

$P_x = 0,5 \cdot 2657,15 = 1328,6 \text{ Н}$.

Розраховуємо крутний момент за формулою:

$$M_{кр} = \frac{P_z D}{2 \cdot 100} \quad (6.6)$$

$$M_{\hat{E}P} = \frac{2657,15 \cdot 0,04}{0,2} = 531,43 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо число обертів шпинделя за формулою:

$$n_{розр} = \frac{1000 \cdot V_{розр}}{\pi \cdot D}, \quad (6.7)$$

										Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат						
КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО										

$$n = \frac{1000 \cdot 11,04}{3,14 \cdot 40} = 87,9 \text{ об/хв.}$$

За паспортом верстата уточнюємо число обертів шпинделя: $n_{\phi} = 100 \text{ об/хв.}$
Розраховуємо фактичну швидкість різання за формулою:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\phi}}{1000}, \quad (6.8)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 40 \cdot 100}{1000} = 12,56 \text{ м/хв.}$$

Розраховуємо потужність різання за формулою:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V_{\phi}}{1020 \cdot 60}, \quad (6.9)$$

$$N_e = \frac{2657,15 \cdot 12,56}{1020 \cdot 60} = 0,26 \text{ кВт}$$

Вибір типу пристрою: тип пристрою – двомісний (для обробки двох деталей), з ручним затиском.

Стіл верстата являє собою плиту-супутник розміром 1600x1600 мм, на якій виконано сітку точних отворів (165 отворів з кроком 125мм) з метричною різьбою, як показано на рисунку 7.2.

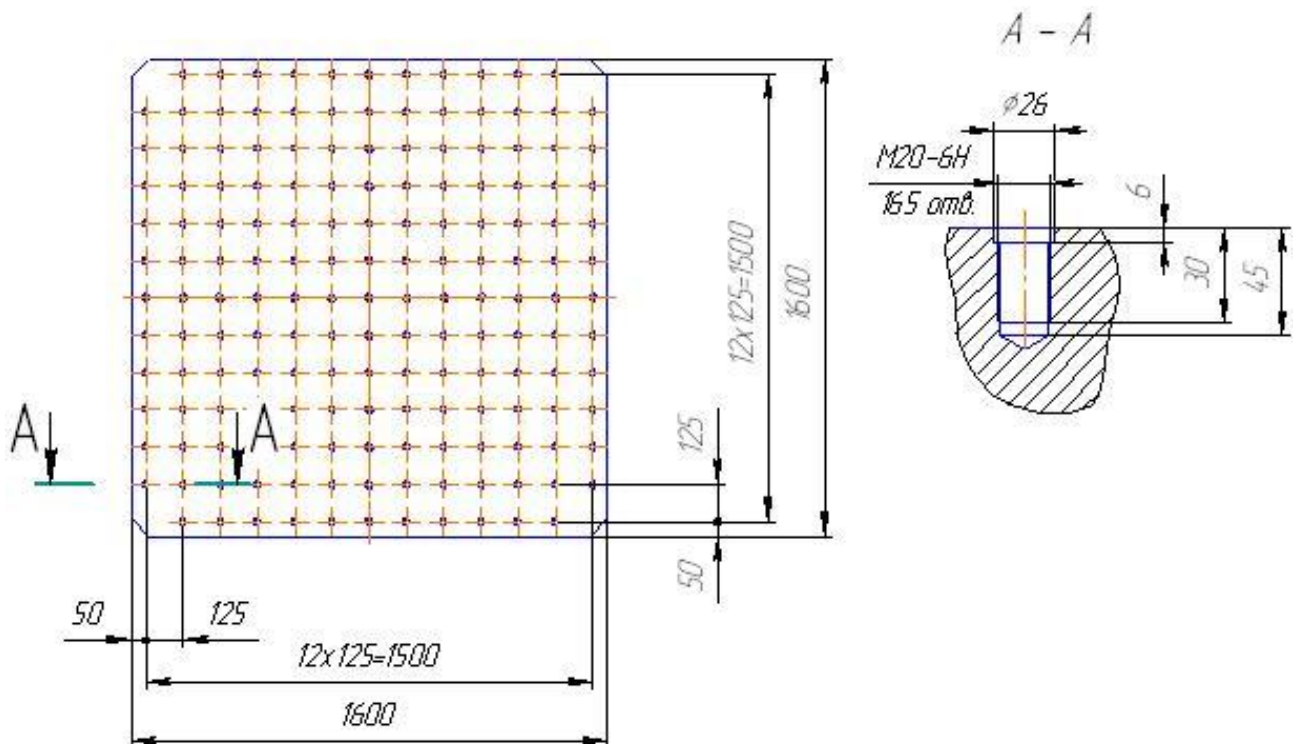


Рисунок 6.2 – Стіл верстата

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

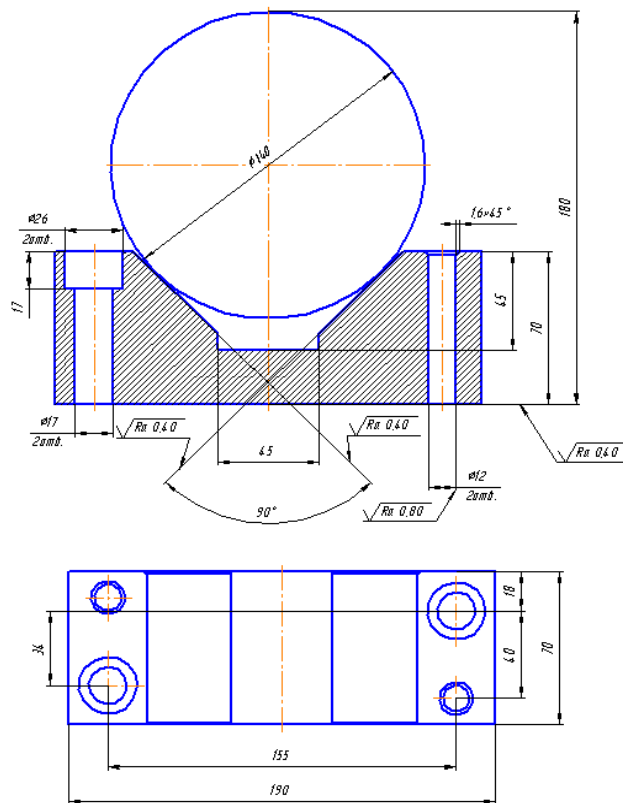


Рисунок 6.3 – Призма опорна

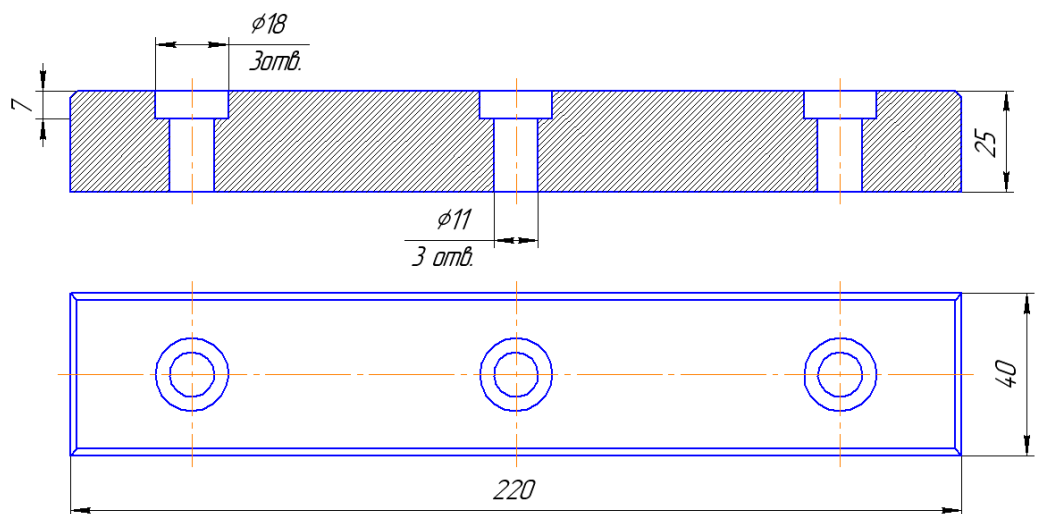


Рисунок 6.4 – Опорна пластина 7034-0476 h6

При проектуванні верстатного пристосування проектується спеціальна шпонка, яка кріпиться на призму під кутом 120° , для забезпечення вірного встановлення деталі на призмі. Шпонка показана на рисунку 6.5.

						Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО

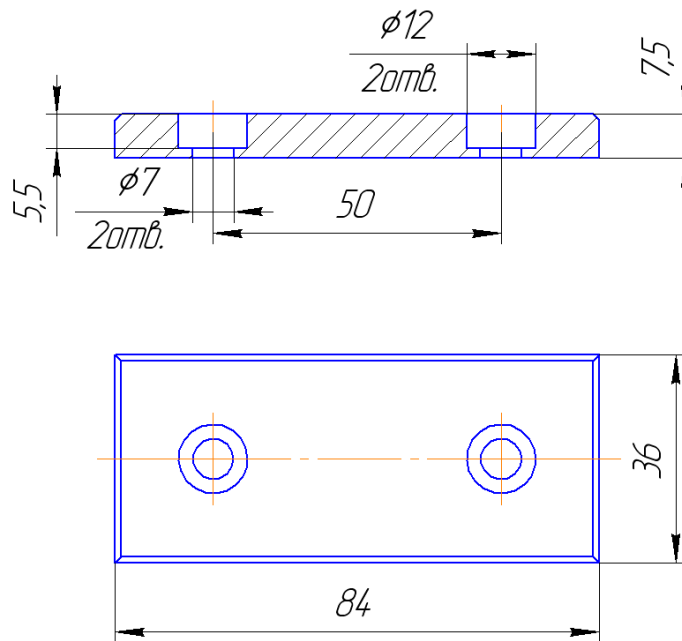


Рисунок 6.5 – Спеціальна шпонка

Згідно аналізу схеми базування деталі виконуємо розрахунок дійсного значення похибки базування

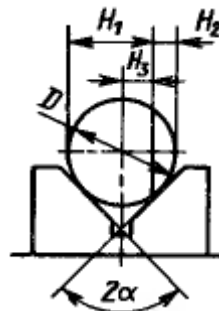


Рисунок 6.6 – Схема розрахунку

Похибка базування при такому встановленні деталі у призмі :

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5TD . \quad (6.9)$$

$$\varepsilon_{\delta} = 0,5 \cdot 25 = 12,5 \text{ мкм} = 0,0125 \text{ мм.}$$

Схема закріплення заготовки представлена на рисунку 7.7.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

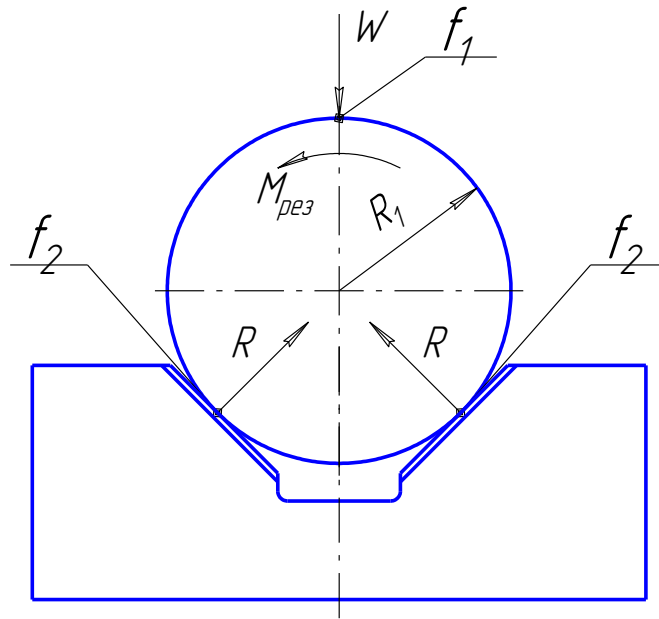


Рисунок 6.7 – Схема закріплення заготовки

Міцнісний розрахунок елементів конструкції.

Розрахуємо момент по формулі.

$$\sum_{i=1}^n M_i = 0. \quad (6.10)$$

$$M_{pez} - W \cdot f_1 \cdot R_1 - 2 \cdot R \cdot f_2 \cdot R_1 = 0, \quad (6.11)$$

Силу тертя R , H визначимо по формулі:

$$R = \frac{W}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha / 2}, \quad (6.10)$$

$$M_{pez} - W \cdot f_1 \cdot R_1 - \frac{2 \cdot W \cdot f_2 \cdot R_1}{2 \cdot \sin \alpha / 2} = 0. \quad (6.11)$$

$$M_{pez} - W \cdot \left(f_1 \cdot R_1 + \frac{f_2 \cdot R_1}{\sin \alpha / 2} \right) = 0. \quad (6.12)$$

$$W = \frac{M_{pez} \cdot K}{f_1 \cdot R_1 + f_2 \cdot R_1 \cdot \frac{1}{\sin \alpha / 2}}, \quad (6.13)$$

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \quad (6.14)$$

де $k_0 = 1,5$, $k_1 = 1,0$, $k_2 = 1,2$, $k_3 = 1,0$, $k_4 = 1,3$, $k_5 = 1,0$, $k_6 = 1,0$

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,3 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,34$$

Приймаємо коефіцієнт запасу дорівнюючим – $k = 2,5$.

									Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат					

$$W = \frac{531,43 \cdot 2,5}{0,15 \cdot 65 + 0,15 \cdot 65 \cdot \frac{1}{\sin 45^\circ}} = 56,44 \text{ Н.}$$

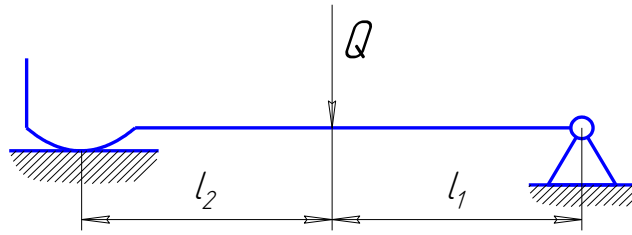


Рисунок 6.8 - Схема дії сили

Визначимо вихідну силу на рукоятці гвинта по формулі.

$$Q = \frac{W \cdot (l_1 + l_2)}{l_1 \cdot \eta}, \quad (6.15)$$

$$Q = \frac{56,44 \cdot (120 + 138)}{120 \cdot 0,95} = 127,73$$

Перевіримо міцність шпильки прихвата.

Нормальні напруги в поперечному перерізі шпильки σ_z , МПа (по абсолютній величині) визначимо по формулі.

$$\sigma_z = \frac{N_z}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot d_1^2 / 4}, \quad (6.16)$$

$$\sigma_z = \frac{127,75}{\left(\frac{3,14}{4}\right) \cdot 0,03^2} = 0,18 \text{ МПа.}$$

Дотичного напруження в точках контуру поперечного переріза τ_z , МПа визначимо по формулі.

$$\tau_z = \tau_{mz\max} = \frac{M_z}{W_p} = \frac{M_z}{\pi \cdot d_1^3 / 16}, \quad (6.17)$$

Обертаючий момент, $M_{кр}$, Н·м визначимо.

$$M_{кр} = Q_{рук} \cdot L_{рук}, \quad (6.18)$$

де $Q_{рук} = 140 \text{ Н}$

$$L_{рук} = 14 \cdot D_p$$

де D_p

$$L_{\delta\delta\delta} = 14 \cdot 30 = 420 \text{ мм.}$$

$$M_{кр} = 140 \cdot 420 = 58800 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 58,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначивши всі складові знаходимо дотичні напруження в крапках контуру поперечного перерізу по формулі (7.17):

										Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат						

$$\tau_z = \tau_{iz \max} = \frac{58,8}{\left(\frac{3,14}{16}\right) \cdot 0,03^3} = 11,1 \cdot 10^6 = 11,1 \text{ МПа.}$$

Еквівалентна напруга для небезпечної крапки по гіпотезі найбільших напруг σ_y , МПа, визначається по формулі.

$$\sigma_y = \sqrt{\sigma_z^2 + 4 \cdot \tau_z^2} \leq [\sigma], \quad (6.19)$$

$[\sigma] = 80 \text{ МПа}$ – допустиме напруження розтягання матеріалу гвинта.

$$\sigma_y = \sqrt{0,18^2 + 4 \cdot 11,1^2} = 22,2 \text{ МПа.}$$

В якості базової деталі використовуємо спеціальну плиту (рис. 6.9.)

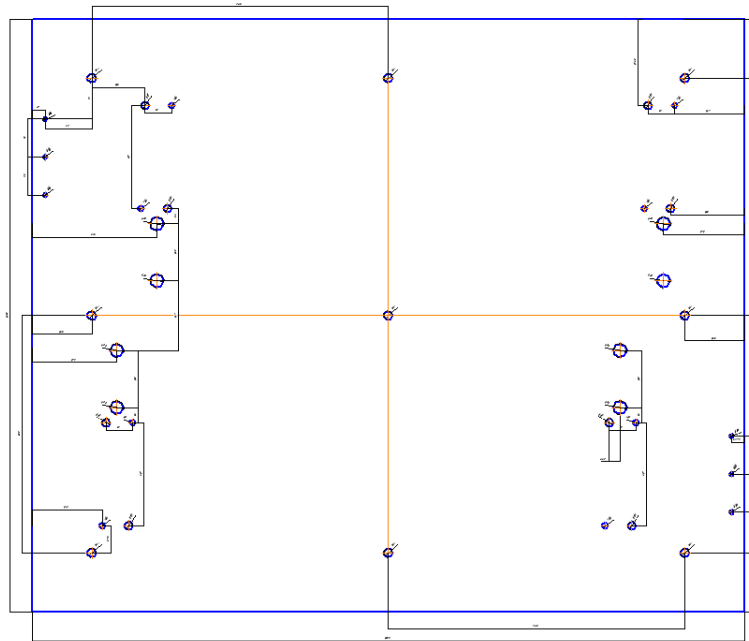


Рисунок 6.9 – Ескіз плити

З урахуванням засобів встановлення розраховуємо похибку розташування пристрою на верстаті.

$$E_{\text{пол}} = \delta_{\text{р.н.}} = 0$$

Підсумкова похибка обробки є наслідком сукупного впливу різних факторів, що впливають на похибки обробки.

Сумарна похибка пристрою розраховується за формулою:

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

$$\delta_{п.р.} = (1/3 \dots 1/5) \cdot T, \quad (6.21)$$

$$\delta_{п.р.} = 1/4 \cdot 0,87 = 0,2175 \text{ мм.}$$

$$\delta_{\Sigma} = 1,1 \cdot \sqrt{0,0125^2 + 0,0155^2 + 0,13^2 + 0,2175^2} = 0,28 \text{ мм.}$$

Порівнюємо сумарну похибку $\delta_{\Sigma} = 0,28 \text{ мм}$ з допуском $T = 0,87 \text{ мм}$. Тоді $0,28 < 0,87 \text{ мм}$, тобто $\delta_{\Sigma} < T$.

Отже, пристрій буде забезпечувати задану точність обробки, і використовувати його доцільно.

6.2 Проектування контрольного пристрою

Контролюємо радіальне биття шийок валу відносно вісі деталі, яка слугує базою. При виборі схеми контролю вимога по співпадінню установчої та вимірювальної бази дотримується.

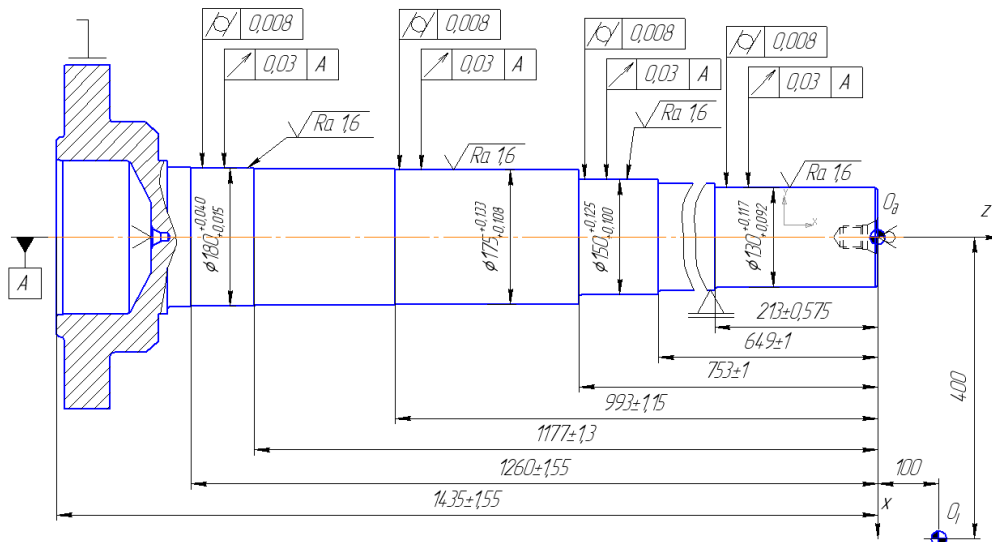


Рисунок 6.11 - Ескіз деталі

Деталь встановлюємо в нерухомому передньому центрі, обертовому задньому центрі з використанням повідкового патрона й рухомого люнета.

Вибираємо індикатор часового типу TESA YR виробництва Hexagon Metrology TESA (Швейцарія).

Сумарна похибка контролю :

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{л.р.} + \Delta_{н.н} + \Delta_{у.е} + \sqrt{\Delta_{\sigma}^2 + \Delta_{оэф}^2 + \Delta_{вип.}^2 + \Delta_{з}^2 + \Delta_{в.н.}^2}, \quad (6.22)$$

Допустима похибка вимірювання буде:

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

$$[\Delta] = 0,08 \div 0,3 \cdot T, \quad (6.23)$$

$$[\Delta] = 0,21 \cdot 0,03 = 0,0063 \text{ мм.}$$

Похибка виготовлення установочних елементів $\Delta_{y.e.}$ дорівнюватиме зміщенню одних ділянок поверхні відносно інших; $\Delta_{y.e.} = 0,7 \text{ мм.}$

Похибка базування відсутня, так як деталь встановлена на конструкторську базу.

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{y.e.} + \sqrt{\Delta_{\text{вип.}}^2 + \Delta_{\text{в.п.}}^2}, \quad (6.25)$$

Випадкові похибки визначаються:

$$\Delta_{\text{вип.}} = 0,04 \cdot T, \quad (6.26)$$

$$\Delta_{\text{в.п.}} = 0,04 \cdot 0,03 = 0,0012 \text{ мм.}$$

$$\Delta_{\Sigma} = \Delta_{\text{в.п.}} + \sqrt{0,0012^2 + 0,005^2} = \Delta_{\text{в.п.}} + 0,0051.$$

Прирівнюємо та округлюємо $\Delta_{\Sigma} = [\Delta]$, отримуємо:

$$0,0063 = \Delta_{y.e.} + 0,0051;$$

$$\Delta_{y.e.} = 0,0063 - 0,0051 = 0,0012 \text{ мм.}$$

					КНУ.КБР.131.25.1-23.06.ПТО	Лис
Змн.	Лис	№ докум.	Підпис	Дат		

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розглянуто деталь "зубчастий вал", що є складовим елементом редуктора. Конструкторсько-технологічна підготовка виробництва виконана із застосуванням сучасних CAD/CAM/CAE технологій. Проведено проектування технологічного процесу складання вузла, визначено і розраховано лінійні та кутові розмірні ланцюги, а також розроблено послідовність складання.

Основна мета оптимізації полягала в удосконаленні технологічного процесу обробки з метою підвищення продуктивності праці та скорочення часу технологічної підготовки виробництва.

Зокрема:

Було прийнято рішення замінити традиційний токарний верстат без ЧПК на сучасний токарний верстат з ЧПК TRAK® 16" Toolroom Lathe (США). Це дозволило скоротити як штучно-калькуляційний, так і підготовчо-завершальний час, що призвело до зменшення собівартості виробу та полегшення роботи операторів.

Об'єднання фрезерних і свердлильних операцій на багатоцільовому верстаті ELMAG UFM 1600 Servodrive дало змогу уникнути переустановлення деталі, зменшити похибки позиціонування та підвищити точність обробки.

Заміна шліфування на тонке точіння дала змогу знизити кількість операцій і верстатів, що також сприяло зменшенню собівартості виготовлення.

Було розроблено креслення заготовки та маршрут обробки, визначено послідовність технологічних операцій, розраховано міжопераційні розміри та припуски.

Проведено розрахунки режимів різання та норм часу. Для багатоцільової операції спроектовано верстатно-інструментальне налагодження та створено керуючу програму для ЧПК.

Економічне обґрунтування показало доцільність впровадження ЧПК-обладнання, що зменшило собівартість продукції.

Також спроектовано спеціальне установче пристосування для багатоцільової операції, яке покращує точність позиціонування та скорочує час на установлення деталі. Крім того, розроблено контрольний пристрій для вимірювання радіального биття шийок вала відносно базової поверхні. Його використання дає змогу контролювати биття біля кожної шийки безпосередньо на верстаті (через встановлення в різцетримач), що істотно економить час на контрольні операції.

					КНУ.КБР.131.25.1-23.В			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат				
Розроб.		Чижиков			ВИСНОВКИ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Кіяновський						
Т.Контр.								
Н. Контр.		Нечаєв						
Затверд.		Рязанцев						
						Каф. ТМ, Гр ПМ-21		

ДОДАТОК

Дубл.														
Взам.														
Подл.										Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
													Листов	Лист
Разраб.														
Проверил														
Согласов.														
Т. контр.														
Н. Контр.														

«Затверджую»

Зав. кафедрою технології машинобудування

_____ (Рязанцев А.О.)

« ____ » _____ 2025 р.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС

Виготовлення деталі вал зубчастий

Виріб Редуктор РМ-1000

Узгоджено:

Керівник _____ (Кіяновський М.В.)

Розробник _____ (Чижиков О.А.)

Н.контроль _____ (Нечасв В.П.)

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет механічної інженерії та транспорту
Кафедра технологія машинобудування

АЛЬБОМ КРЕСЛЕНЬ ТА ІНФОРМАЦІЙНО-ЗАСВІДЧУЮЧИХ АРКУШІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка
освітньо-професійної програми «Прикладна механіка»

на тему: Конструкторсько-технологічна підготовка виготовлення деталі
«Вал зубчастий» та обґрунтування параметрів ріжучих інструментів за
допомогою CAD/CAM/CAE систем

Проектував ст.гр. ПМ-21

Чижиков О.А.

Керівник роботи

д.т.н., проф. Кіяновський
М.В.

Нормоконтроль

к.т.н., доц. Нечаєв В.П.

Завідувач кафедри

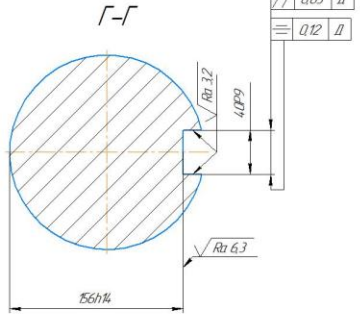
к.т.н., доц. Рязанцев А.О.

Кривий Ріг
2025 р

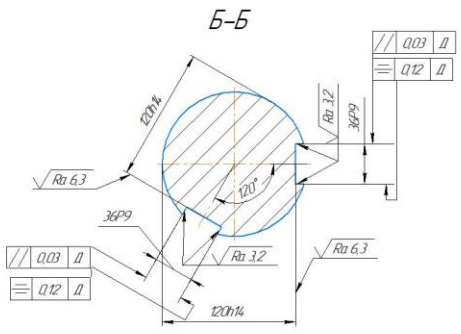
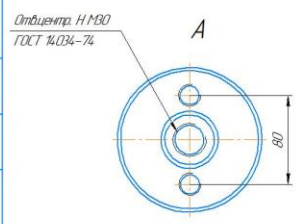
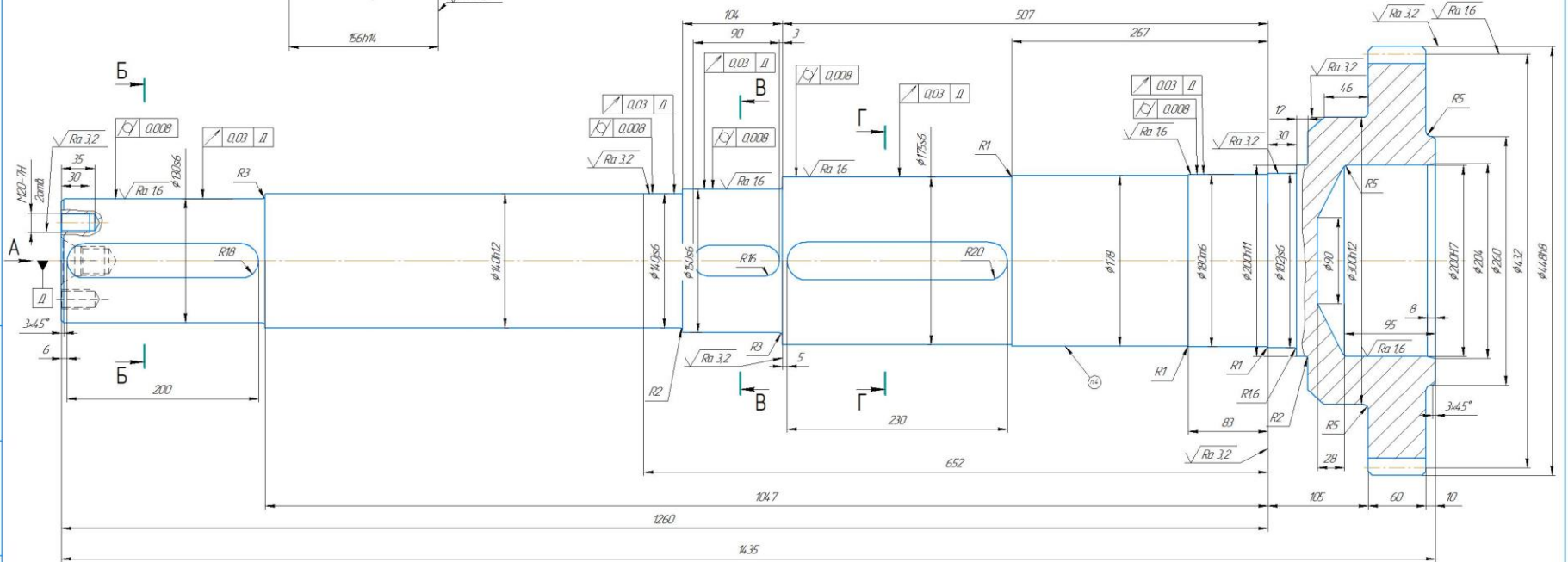
КНУКБР.13125.1-23В

$\sqrt{Ra\ 12,5\ \sqrt{I}}$

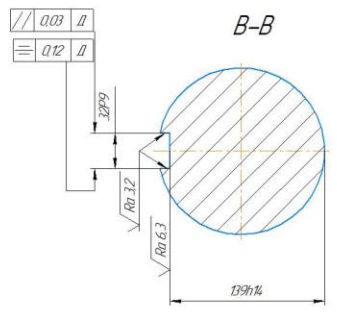
Модуль	m	φ
Число зубьев	z	54
Экв.	-	Гривий
Коэффициент высоты зуба	h_a^*	1,0
Профильный угол	α^*	20°
Величина сдвига вступов	x	0
Степень точности	GB	Ф-8
Давление закалки нагретой	i	0,55-0,8
НДГ (глубина среза) нагретой	δ	0,55-2
Полная высота вступов	f_a	0,08



$\sqrt{Ra\ 0,03\ \sqrt{I}}$	$\sqrt{Ra\ 0,12\ \sqrt{I}}$
-----------------------------	-----------------------------



$\sqrt{Ra\ 0,03\ \sqrt{I}}$	$\sqrt{Ra\ 0,12\ \sqrt{I}}$
-----------------------------	-----------------------------



$\sqrt{Ra\ 0,03\ \sqrt{I}}$	$\sqrt{Ra\ 0,12\ \sqrt{I}}$
-----------------------------	-----------------------------

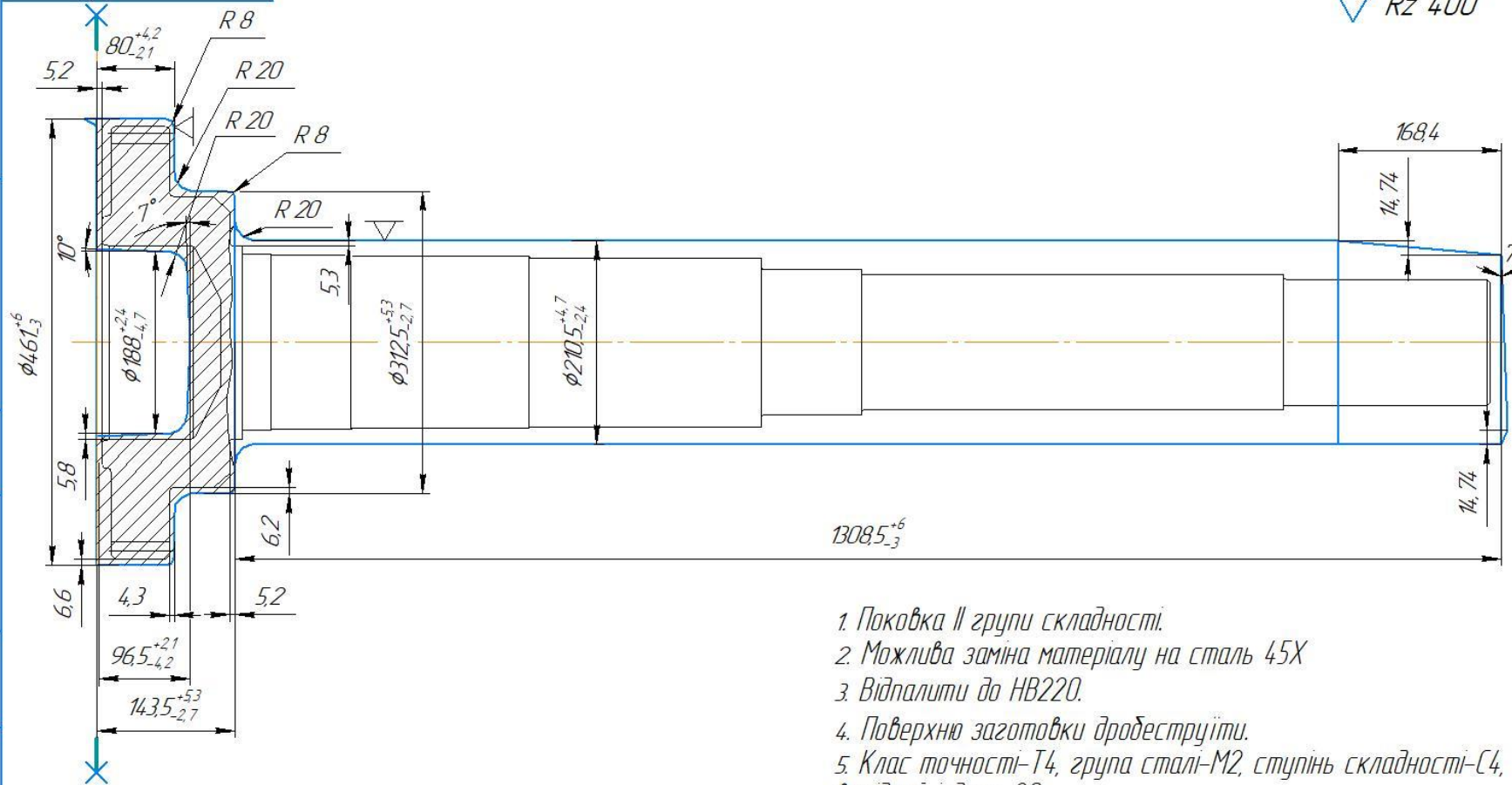
- Неказані граничні відхилення розмірів Н14, Н16, ± 17/14/2.
- Термообробка до твердості НRC, 24...28.
- Гострі країшки притупити.
- Маркувати.

КНУКБР.13125.1-23В				Вал		
Мат. діст.	Мат. діст.	Лист	Лист	Маса	Маса	
Розроб.	Машин.	1	281	12		
Лист	Класифікація	Лист	Лист			
Масштаб	Масштаб					
Матеріал	Матеріал					
Матеріал	Матеріал					

Сталь 40Х ДСТУ 7806:2015 Код ТМ ПМ-21

КНУ.КБР.13125.1-23.ВЛШ

Rz 400



1. Поковка II групи складності.
2. Можлива заміна матеріалу на сталь 45X
3. Відпалити до HB220.
4. Поверхню заготовки дробеструїти.
5. Клас точності-T4, група сталі-M2, ступінь складності-C4, вихідний індекс-20 .

6. Невказані ковочні уклони: зовнішні 5°, внутрішні 7°.
7. Невказані ковочні радіуси: зовнішні 8мм, внутрішні 20мм.
8. Зміщення по поверхні роз'єму штамп не більше 1,8мм.
9. Висота заусенцю не більше 3,6мм.
10. Контролювати 20% заготовок.

				КНУ.КБР.13125.1-23.ВЛШ		
				Вал		
				(поковка штампована)		
				Сталь 40X ДСТУ 7806:2015		
Лит.	Маса	Масштаб				
Н	4215	14				
Лист		Листов		1		
				Каф.ТМ		
				ПМ-21		

Копіював

Формат А3

Лист. примеч

Справ. №

Лист. и дата

Инд. № дубл.

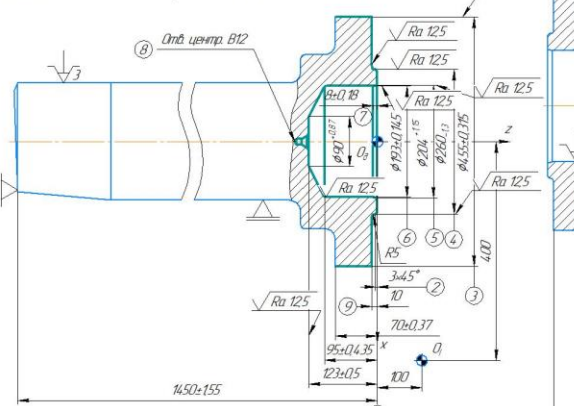
Взам. инд. №

Лист. и дата

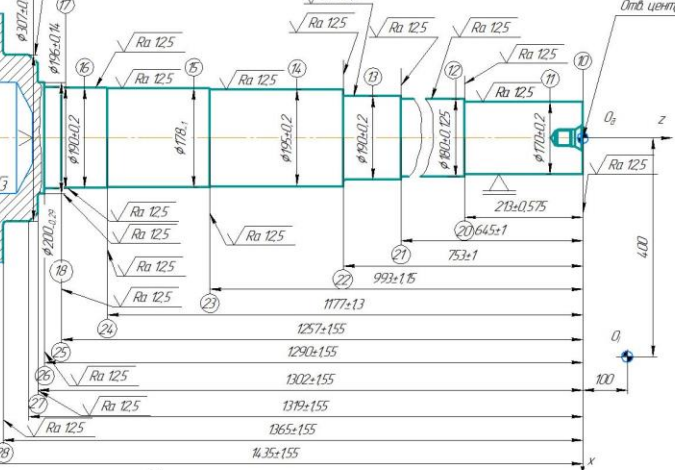
Инд. № дубл.

КНУКБР.13125-1-23.ЕОВ

Установ А
005 Токарна чорнова
Токарний з ЧПК TRAK Toolroom Lathe

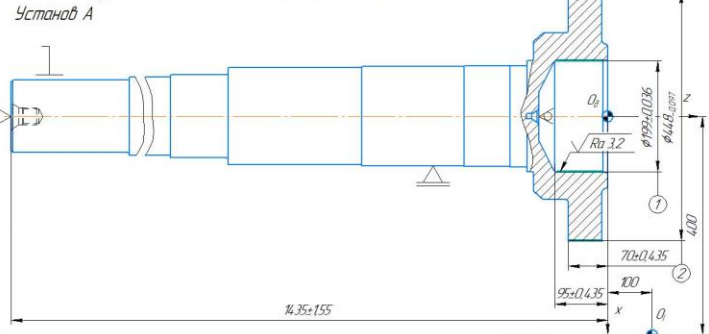


Установ В

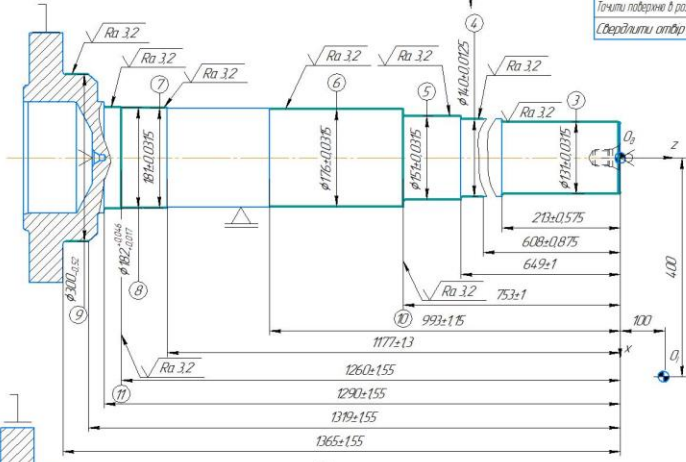


Назва переходу	l, мм	i	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T _ф , хв	T _{шт} , хв
Підізати торцеві в розмір 1	5,2	1	0,8	1618	303	0,02	
Точки поверхню в розмір 3	3	2	0,95	14,656	103	1,23	
Підізати торцеві в розмір 9	5	2	0,9	19,09	97	0,23	
Точки поверхню в розмір 4	5	20	0,8	84,73	189	1,32	
Нарізати фаску в розмір 2	3	1	1,05	85,46	190	0,02	
Розточити отвір в розмір 5	4	4	0,6	172,62	269	0,02	
Розточити отвір в розмір 6	5	2	0,5	201,06	332	1,14	
Розточити отвір в розмір 7	4	13	0,7	86,22	553	0,94	
Свердлити отвір в розмір 8	6	1	0,12	50,84	194,9	0,14	
Підізати торцеві 10	5	3	0,75	14,245	216	0,09	
Точки поверхню в розмір 11 на відстані 20	5	20	0,75	180,99	229	24,8	
Точки поверхню в розмір 12 на відстані 21	5	14	0,75	180,99	229	35,21	
Точки поверхню в розмір 13 на відстані 22	5	7	0,8	84,73	235	3,87	
Точки поверхню в розмір 14 на відстані 23	5	4	0,75	84,71	235	5,45	
Точки поверхню в розмір 15 на відстані 24	5	7	0,8	85,166	220	7	
Точки поверхню в розмір 16 на відстані 25	5	4	0,75	180,99	229	193	
Точки поверхню в розмір 17 на відстані 26	3,5	4	0,8	84,73	189	0,79	
Точки поверхню в розмір 18 на відстані 27	5	2	0,85	14,272	216	0,13	
Точки поверхню в розмір 19 на відстані 28	5	1	0,95	80,63	184	0,43	
Свердлити отвір в розмір 29	5	1	0,28	44,42	472	0,44	

Установ А
015 Токарна получистова та чистова
Токарний з ЧПК Trak Toolroom Lathe

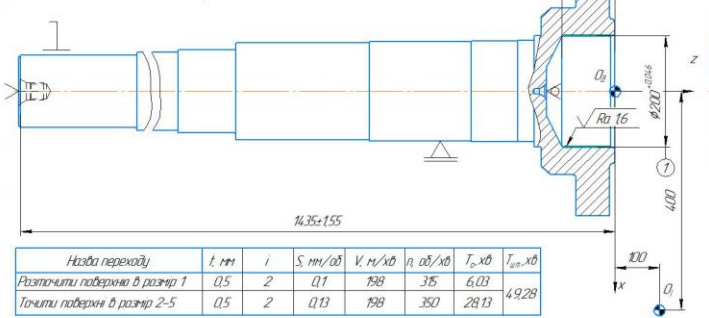


Установ Б

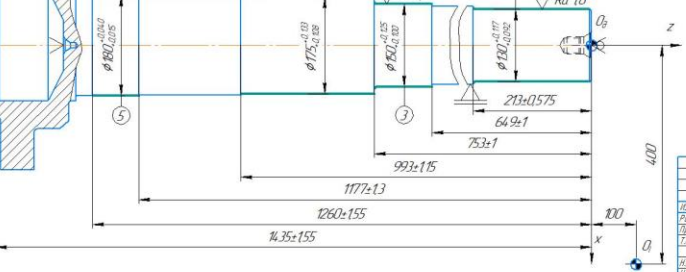


Назва переходу	l, мм	i	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T _ф , хв	T _{шт} , хв
Розточити поверхню в розмір 1	2	3	0,14	4,09,08	655	3,11	
Точки поверхню в розмір 2	2,5	4	0,14	395,61	277	6,19	
Точки поверхню в розмір 3	2,5	16	0,14	395,61	741	32,85	
Точки поверхню в розмір 4	2,5	8	0,14	395,61	700	3,35	
Точки поверхню в розмір 5	2,5	10	0,14	395,61	663	11,2	
Точки поверхню в розмір 6	2,5	8	0,14	4,09,08	668	20,5	
Точки поверхню в розмір 7	2	5	0,14	4,09,08	686	4,32	
Точки поверхню в розмір 8	2	5	0,14	4,09,08	665	161	
Точки поверхню в розмір 9	1,5	5	0,14	4,27,12	443	3,71	
Підізати торцеві в розмір 10	4	1	0,14	368,68	778	0,04	
Підізати торцеві в розмір 11	3	1	0,14	384,94	677	0,03	

Установ А
020 Танке точіння
Токарний з ЧПК Trak Toolroom Lathe



Установ Б



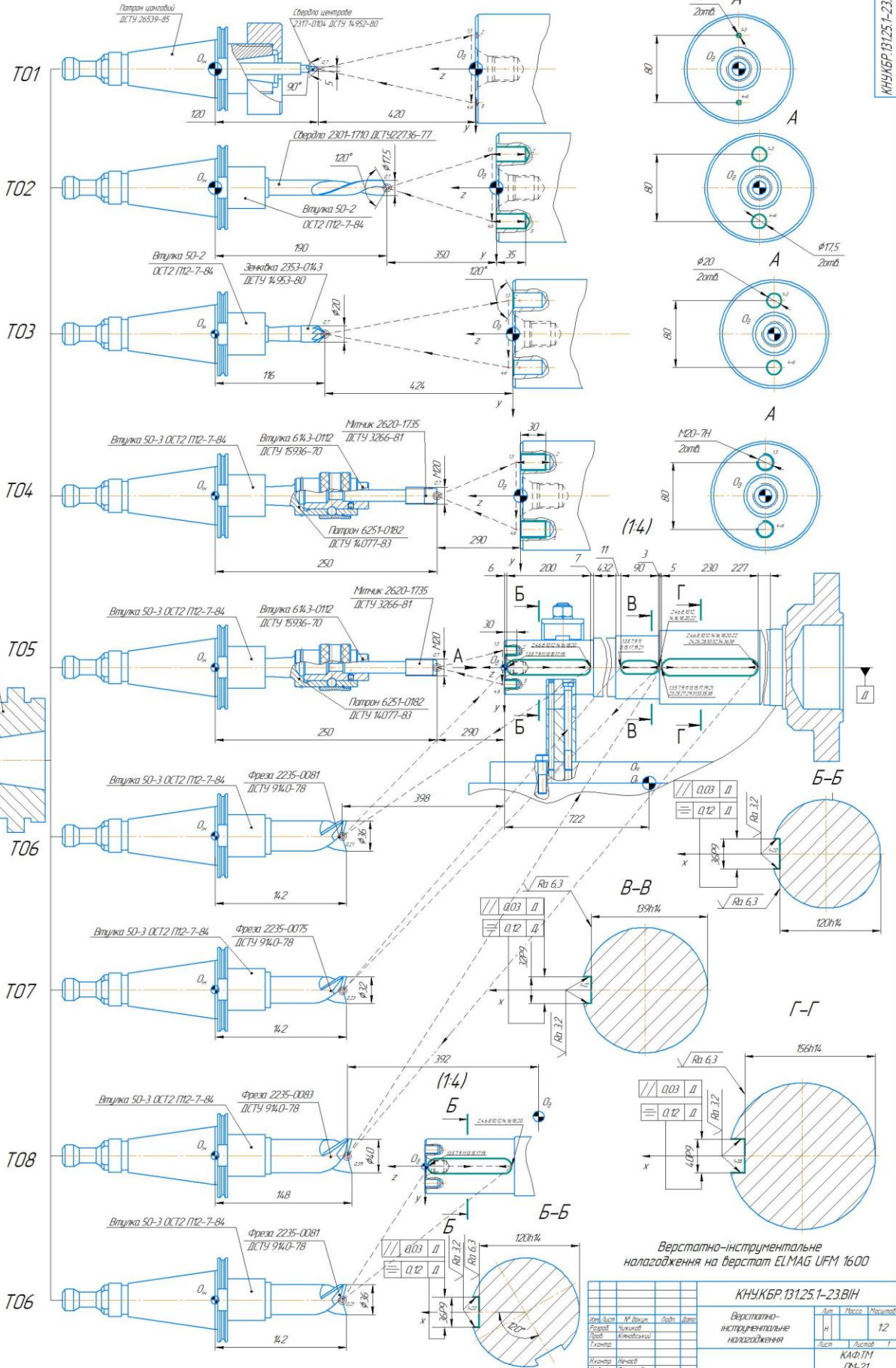
Назва переходу	l, мм	i	S, мм/об	V, м/хв	n, об/хв	T _ф , хв	T _{шт} , хв
Розточити поверхню в розмір 1	0,5	2	0,1	198	375	6,03	4,928
Точки поверхню в розмір 2-5	0,5	2	0,13	198	350	28,13	

КНУКБР.13125-1-23.ЕОВ

Ескізи операцій валу

Лист	1	Маса	14
Листів	1	Масштаб	1

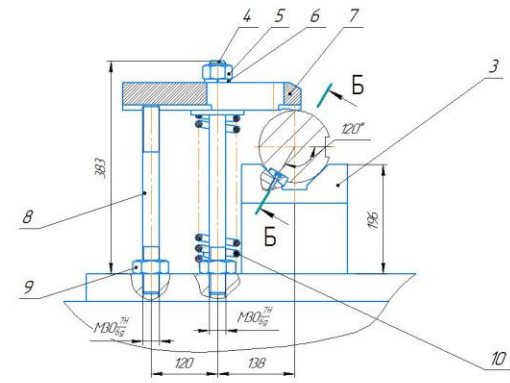
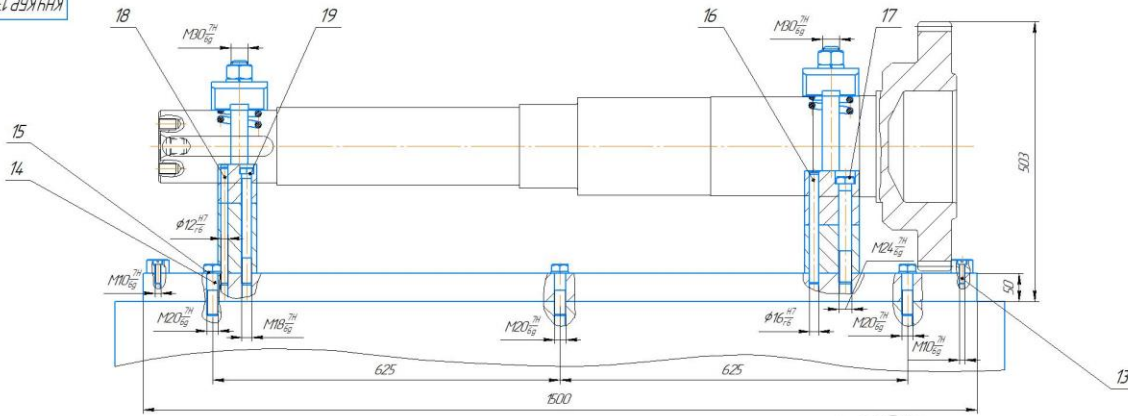
Корпусовий Формат А1



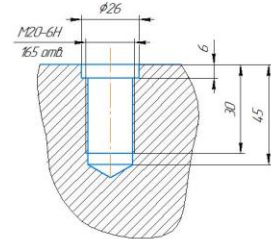
Верстатно-инструментальне налагодження на верстат ELMAG UFM 1600

КНУКБР.131.25.1-23.ВН				Лист	Масса	Масштаб
Верстатно-инструментальне налагодження				12		
				КАФ:ІТМ ІП4-21		
				Корисний		
				Формат А1		

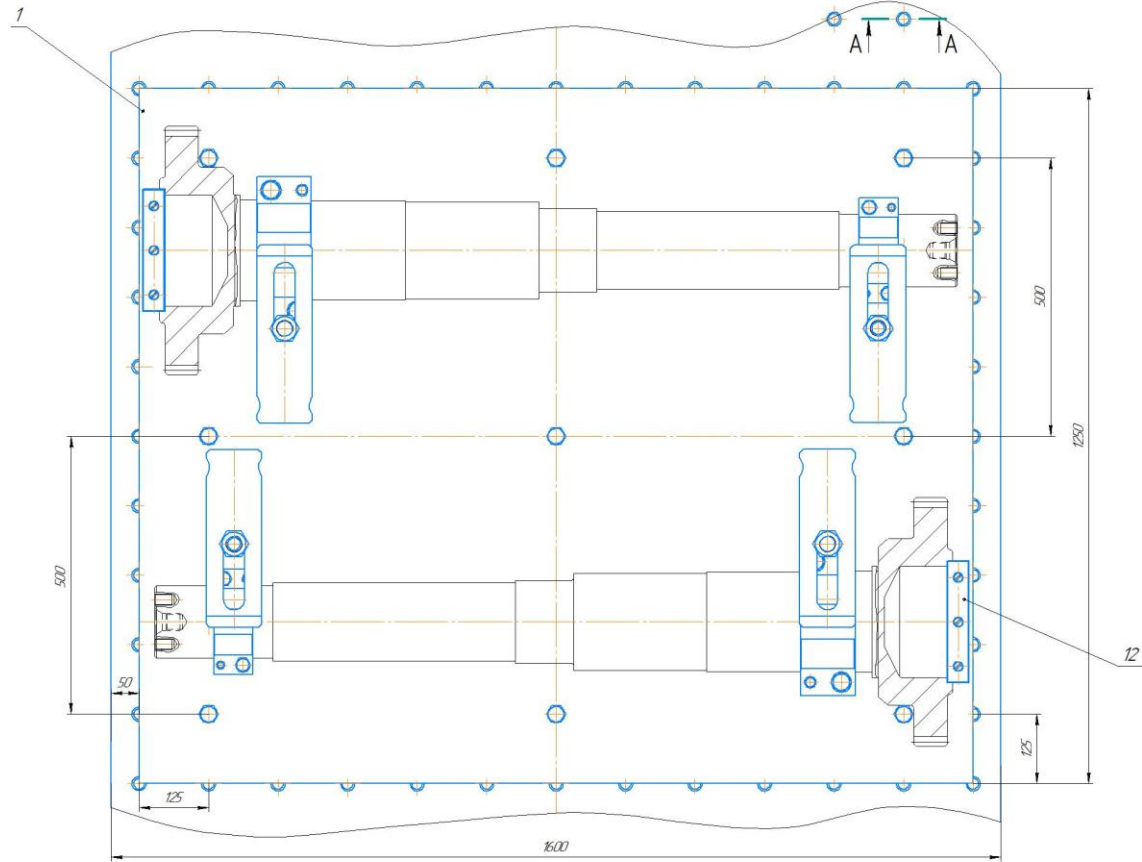
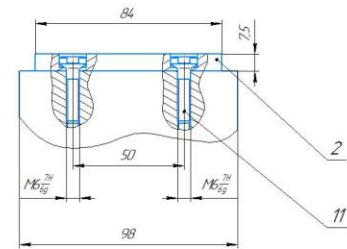
КНУКБР.13125-1-23.ПСП



A-A(1/1)



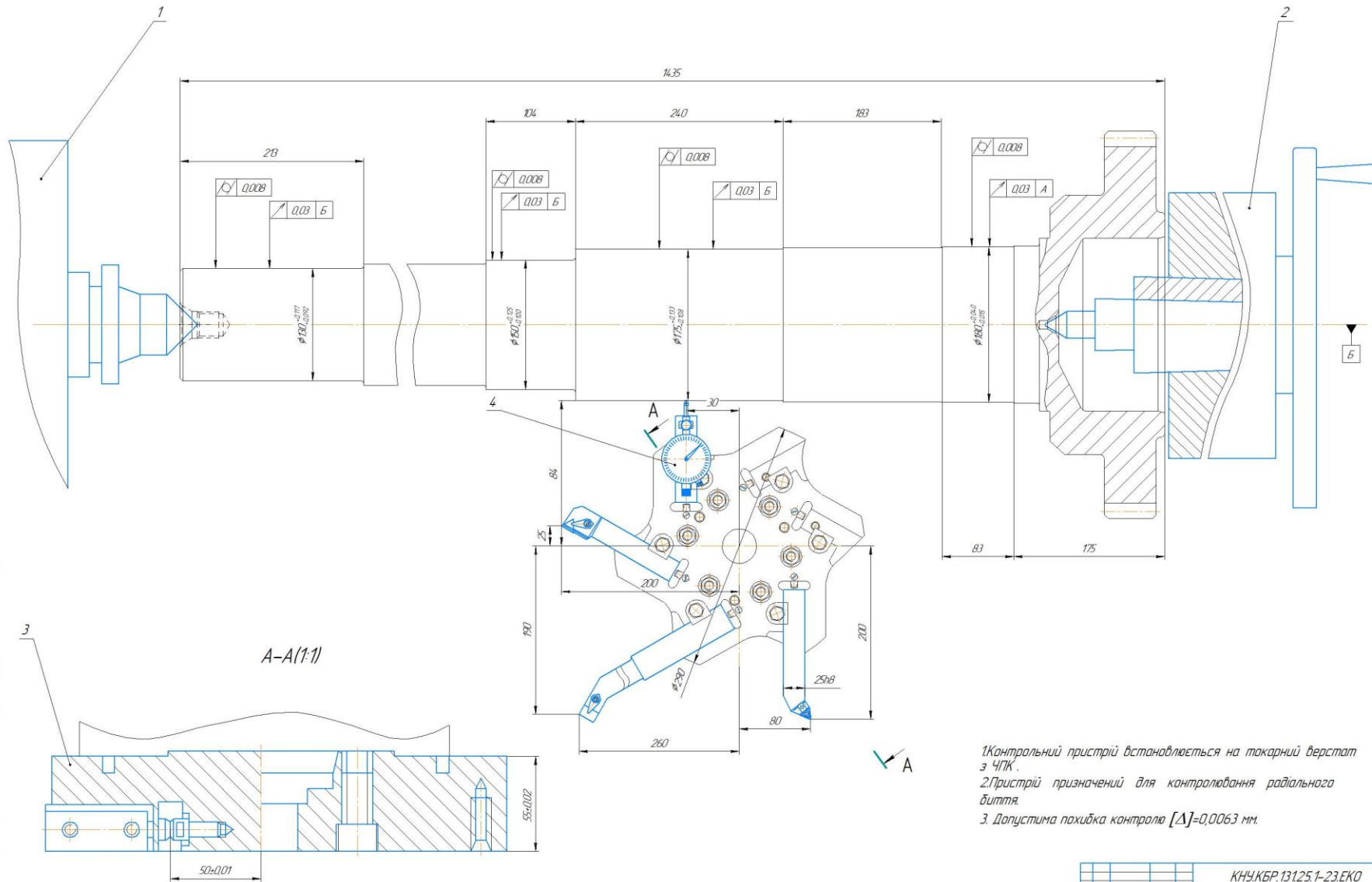
B-B(1/1)



1. Погрешность дозирования детали $\pm 0,0125\text{мм}$
2. Погрешность пристосування $\pm 0,28\text{мм}$
3. Пристосування для свердильно-фрезерної операції

КНУКБР.13125-1-23.ПСП				Лист	Масса	Масштаб
Изм.	Дата	№ Изм.	Лист	И		1:1
Разработ		Чертежник				14
Проект		Контрольщик				
Технолог				Лист	Листов	1
Изготовитель		Исполнитель		Код ТМ		
Введ.		Рецензент		ПМ-21		
				Корректировка	Формат	A1

КНУКБР.13125.1-23.ЕКО



1. Контрольний пристрій встановлюється на токарний верстат з ЧПК.
2. Пристрій призначений для контролювання радіального біття.
3. Допустима похибка контролю $[\Delta] = 0,0063$ мм.

КНУКБР.13125.1-23.ЕКО				Лист	Масштаб
№	Дет.	№	Дет.	Масштаб	1:2
Розроб.	Шижко	Лист	Дет.		
Проєкт.	Клименко	Лист	Дет.		
Контр.	Мірош	Лист	Дет.		
Вір.	Рибачук	Лист	Дет.		
Ескіз контрольної операції				Код ТМ ГМ-21	

Контроль

Формат А1