

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розробка технологічного процесу виготовлення валу антени»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-112сп

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ТАРАНУХА І.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
 (повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет машинобудівний
 Кафедра «Технологія машинобудування»
 Ступінь вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Сергій ДЯДЯ

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

ТАРАНУХА Іван Вікторович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка технологічного процесу виготовлення валу антени

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Д.М.,
(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 25 » квітня 2025 року №199

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 12 червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=2000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3. Розробка планування ділянки; 4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки; 5. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення етапів підготовки управляючої програми та розрахунків на міцність, креслення робочого пристосування.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1, 2, 3, 5	СТЕПАНОВ Д.М., доцент		
4	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доцент		
нормоконтр.	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 01 травня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	20.05.2025	
2	Конструкторська частина	27.05.2025	
3	Розробка планування ділянки	29.05.2025	
4	Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	03.06.2025	
5	Оформлення пояснювальної записки, креслень, технологічних карт	05.06.2025	
6	Нормоконтроль і рецензія	07.06.2025	
7	Захист дипломного проекту	14.06.2025	

Студент

(підпис)

Іван ТАРАНУХА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

(підпис)

Дмитро СТЕПАНОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 85 с., 16 рис., 25 табл., 2 додатки, 10 джерел.

ВАЛ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – вал антени.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення валу антени.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення валу антени, розраховано економічний ефект від впровадження верстатів з ЧПК, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму на операцію з ЧПК, спроектовано робоче та запропоновано контрольне пристосування, досліджено міцносні характеристики деталі, виконано розрахунок щодо організаційних питань і кількості технологічного обладнання та робітників на дільниці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП.....	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі..	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	14
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	15
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	19
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	19
1.6 Розрахунок режимів різання.....	23
1.6.1 Операція 120 – шліфувальна.....	23
1.6.2 Операція 020 – токарна з ЧПК.....	26
1.6.3 Операція 050 – фрезерна.....	29
1.7 Технічне нормування операцій.....	33
1.7.1 Технічне нормування операції 120	33
1.7.2 Технічне нормування операції 020.....	35
1.7.3 Технічне нормування операції 050.....	36
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	38
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	41
2.1 Проектування та розрахунок пристрою для фрезерування пазу.....	41
2.1.1 Конструкція та принципу роботи робочого пристосування.....	41
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	42
2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу.....	46

2.2 Проектування контрольного пристосування.....	49
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	49
2.3 Розрахунок на міцність деталі «Вал».....	49
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ.....	52
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	55
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	66
ВИСНОВКИ.....	68
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	69
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	71
Додаток Б. Технологічні карти.....	74

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЗОТС – змащувально-охолоджувальне технічне середовище

КГШП – кривошипний гаряче штампувальний прес

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

ТО – термічна обробка

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Антени є невід'ємною складовою сучасних засобів зв'язку, радіолокаційних систем, телекомунікацій та навігаційних пристроїв. Важливим елементом конструкції багатьох антен є вал, який забезпечує механічну підтримку, точність орієнтації та передачу руху або сигналу.

Якість виготовлення валу безпосередньо впливає на експлуатаційні характеристики антени: точність наведення, надійність роботи в різних умовах, довговічність конструкції. Тому розробка ефективного технологічного процесу виготовлення валу є важливою інженерною задачею, що вимагає врахування матеріалів, методів обробки, сучасного обладнання та контролю якості.

Метою даної дипломної роботи є розробка оптимального технологічного процесу виготовлення валу антени, що забезпечить необхідні вимоги до точності, міцності та продуктивності виробництва. У роботі розглядаються основні етапи виготовлення, вибір матеріалу, методи обробки, вибір обладнання та системи контролю якості готового виробу.

Актуальність теми визначається постійним зростанням вимог до надійності та точності антенних систем у зв'язку з розвитком технологій зв'язку та оборонної промисловості.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Вал» (рис. 1.1) є ключовим елементом вузла приводу антени радіолокаційної станції. Вона слугує для передачі обертового руху від приводу до механізмів, що забезпечують переміщення антени з похідного (транспортного) положення в бойове (робоче) положення. Завдяки валу забезпечується точне і надійне позиціонування антени в заданому напрямку.

Вал являє собою циліндричну деталь, яка має шліци, шпонкові пази на кінцях для забезпечення надійного монтажу з іншими елементами передачі. При складанні приводу, на вал встановлюються підшипники, муфти, зубчасті колеса. Конструкція вала забезпечує високу жорсткість, точність обертання і опір крутному моменту.

Матеріал вала – Сталь 12ХН3А, хімічний склад наведено в таблиці 1.1. Сталь марки 12ХН3А (аналог AISI 5115) є легованою конструкційною сталлю з підвищеними механічними властивостями. Її основні переваги:

- 1) висока міцність і зносостійкість після термічної обробки (цементації, загартування);
- 2) хороша оброблюваність при механічній обробці;
- 3) стійкість до втоми та деформацій при циклічних навантаженнях;
- 4) придатність для виготовлення деталей, що працюють при значних навантаженнях, особливо в умовах вібрації та ударів.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 12ХН3А, % [1]

C	Si	Ni	Mn	Cr	Cu	S	P
0,09...0,16	0,17...0,37	2,75...3,15	0,3...0,6	0,6...0,9	<0,3	<0,025	<0,025

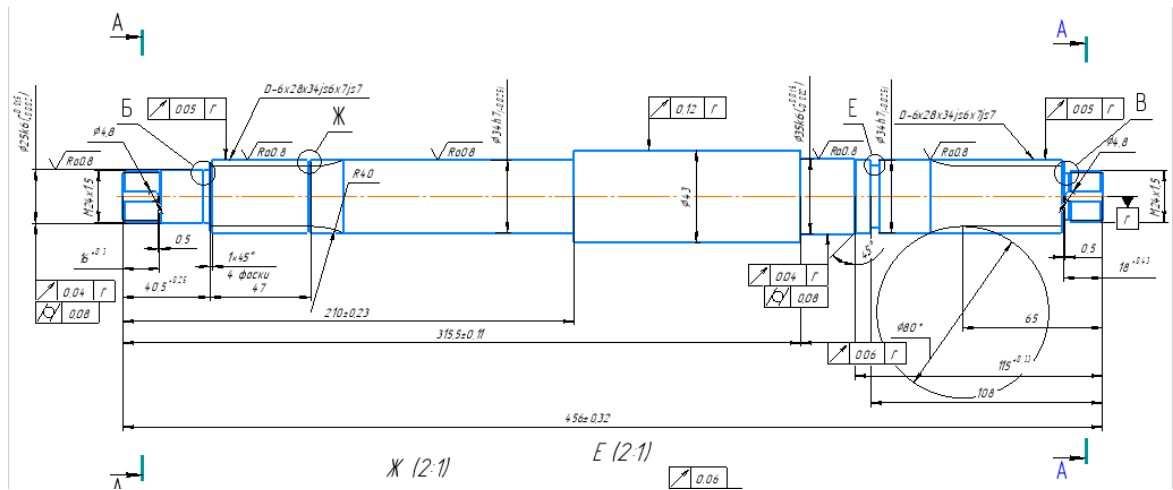


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Вал»

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Виробництво визначається як серійне, виходячи з маси деталі та обсягу планового випуску [2]. Відповідно до [2], на основі встановленої послідовності виконання операцій у технологічному процесі та розміру партії деталей, що підлягають обробці, обирається потоковий метод організації виробничих робіт.

Розмір партії оброблюваних деталей становить:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, $N = 2000$ шт ;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $\alpha = 3 \dots 5$;

A – кількість робочих днів на рік, $A = 250$ днів.

$$n = \frac{3 \cdot 2000}{250} = 24 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обтунтуванням

В якості методів отримання заготовки обираємо наступні:

- штампуванням на кривошипному гарячештампованому пресі (КГШП);
- прокат.

Згідно з [3], припуски на всі поверхні штампованої деталі встановлюються наступним чином: для розмірів до 50 мм — 1,9 мм; для розмірів у межах 50–120 мм — 2,0 мм; а для розмірів у діапазоні 260–360 мм — 2,5 мм. Моделі заготовок отриманих методом штамповки на КГШП та з прокату з розрахунком маси наведені на рис. 1.2, 1.3.

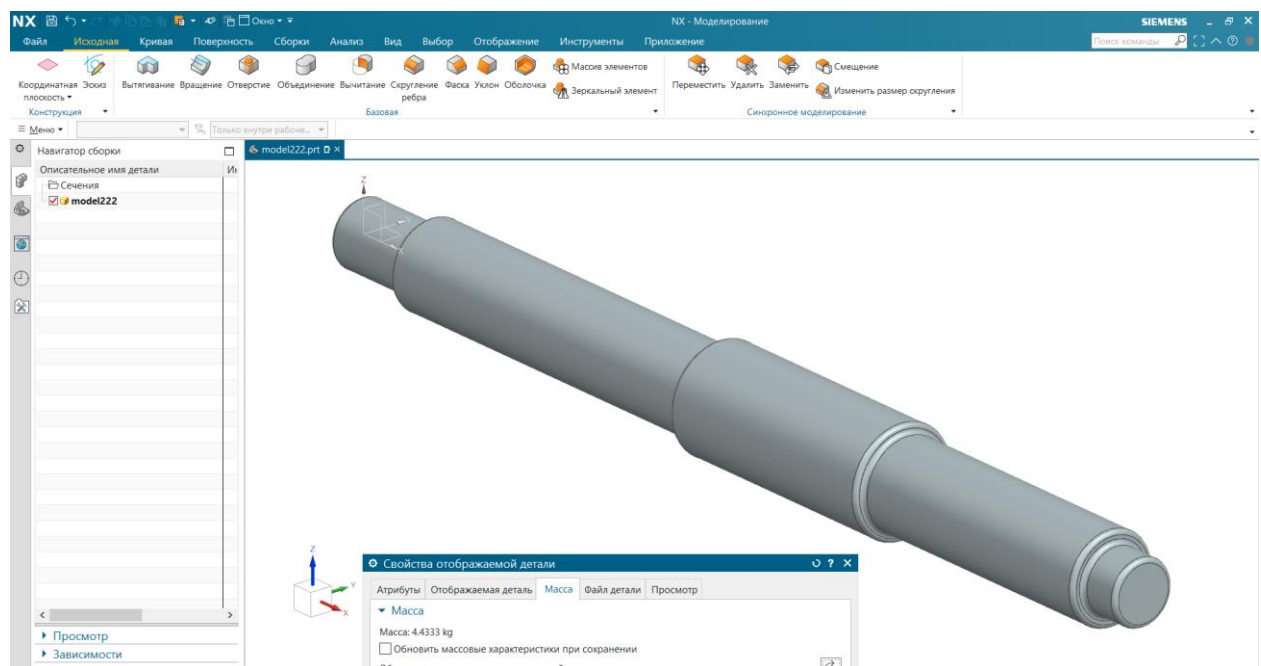


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки отриманої на КГШП

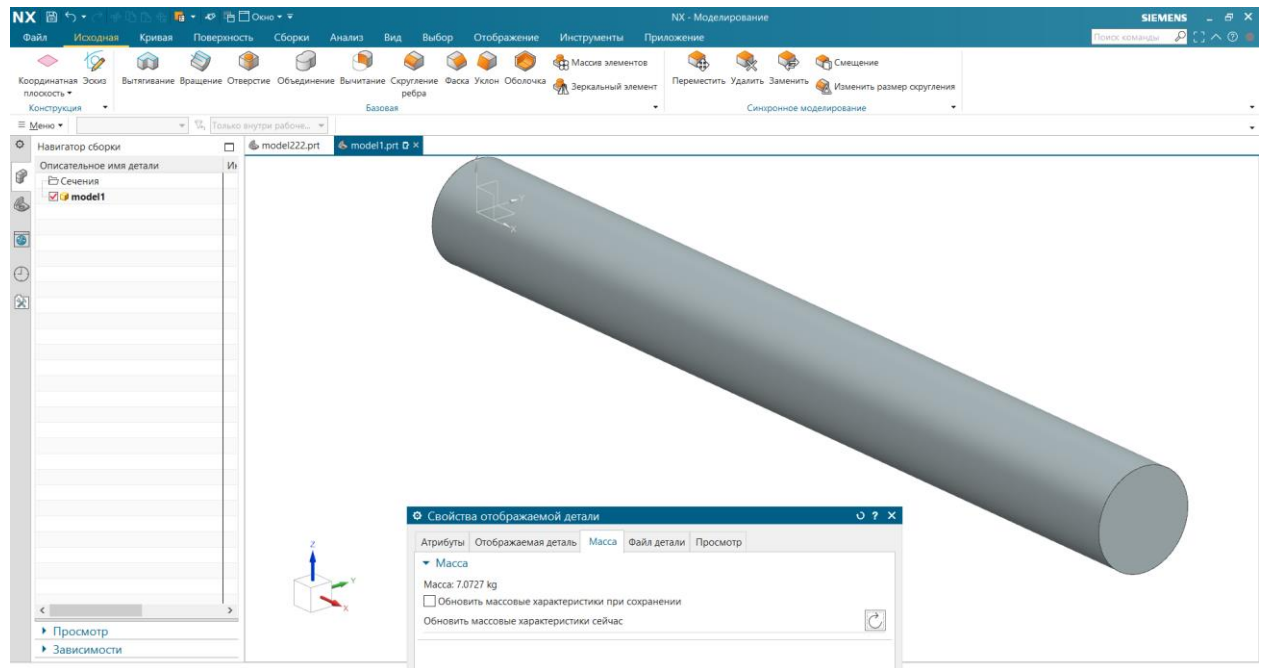


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки з прокату

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{II} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [4];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [4];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [4];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [4];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4];

K_{II} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [4];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [4].

$$B_{\text{кгШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 4,4 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (4,4 - 3,3) \cdot \frac{140}{1000} = 22,6 \text{ грн}$$

$$B_{\Pi} = \frac{2540}{1000} \cdot 7 - (7 - 3,3) \cdot \frac{140}{1000} = 17,3 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{3,3}{4,4} = 0,75$$

$$\eta_{\Pi} = \frac{3,3}{7} = 0,47$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Прокат
Вага заготовки	Q	кг	3,3	7
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	2540
Коефіцієнти	K_T		1,0	
	K_M		1,51	
	K_C		0,77	
	K_3		1,27	
	K_{Π}		1,0	
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення заготовки	B_3	грн	22,6	17,3
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,75	0,47

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_{\text{КГШП}} - B_{\Pi}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (22,6 - 17,3) \cdot 2000 = 10600 \text{ грн}$$

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{КГШП}} - \eta_{\text{П}})}{\eta_{\text{КГШП}} \cdot \eta_{\text{П}}} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{3,3 \cdot (0,75 - 0,47)}{0,75 \cdot 0,47} \cdot 2000 = 5242 \text{ кг}$$

$$B_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 5242 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 = 27094,6 \text{ грн}$$

Враховуючи отримані результати $E_B < B_1$, обираємо кращим варіантом отримання заготовки штампування на ГКШП.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Під час виконання першої фрезерно-центрувальної операції як чорнові базові поверхні обрані зовнішні циліндричні ділянки $\varnothing 24$ і лівий торець 18 (див. рис. 1.1), оскільки вони забезпечують мінімальну похибку при встановленні заготовки.

Для токарних операцій використовуються такі бази: центрові отвори, зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 35$ і $\varnothing 34$, а також крайні торці.

У процесі фрезерування пазів базування здійснюється за циліндричними поверхнями $\varnothing 24$ та лівим торцем 18.

Під час шліфування, як і при шліцефрезеруванні, використовуються центрові отвори як основні базові елементи.

Такий підхід до вибору баз сприяє високій точності обробки, оскільки співпадають установчі та контрольні бази. Крім того, дотримання принципу незмінності баз протягом усього виробничого процесу забезпечує підвищення точності виготовлення деталі.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.6)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.7)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Проведемо розрахунок уточнень для поверхні – $\varnothing 34h7_{(-0.025)}$:

$$\varepsilon_d = \frac{1,3}{0,025} = 52;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,02} = 25;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 52 = 3,4$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17 → h12 → h10 → T0 → h8 → h7;

2) Для шорсткості – Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → T0 → Ra1,6 → Ra0,8.

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1300}{250} = 5,2;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{25}{6,3} = 3,9.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{250}{100} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 5,2 \cdot 2,5 = 13 < \varepsilon_d = 52;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 3,9 \cdot 2 = 7,8 < \varepsilon_{Ra} = 31.$$

Четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=39$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{100}{39} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 13 \cdot 2,5 = 32,5 < \varepsilon_d = 52;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,8 \cdot 2 = 15,6 < \varepsilon_{Ra} = 31.$$

П'ятий перехід – чистове шліфування: $T_{D5}=25$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [5].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d5} = \frac{39}{25} = 1,5;$$

$$\varepsilon_{Ra5} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 32,5 \cdot 1,5 = 48,7 \geq \varepsilon_d = 52;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 15,6 \cdot 2 = 31,2 \geq \varepsilon_{Ra} = 31.$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 34h7_{(-0.025)}$ Ra0,8	Td	52	3,4	4	$\Delta IT = IT17 - js6 = 11$ IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8 \rightarrow h7 Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8	1	Заготовка-штамповка	1300	25	-	-
						2	Точіння чорнове	250	6,3	5,2	3,9
	Ra	31	3	Точіння чистове		100	3,2	2,5	2		
			4	Термічна обробка		-	-	-	-		
			5	Шліфування чорнове		39	1,6	2,5	2		
			6	Шліфування чистове		25	0,8	1,5	2		
Зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 35k6$ Ra0,8	Td	81	3,8	4	$\Delta IT = IT17 - js6 = 11$ IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8 \rightarrow k6 Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8	1	Заготовка-штамповка	1300	25	-	-
						2	Точіння чорнове	250	6,3	5,2	3,9
	Ra	31	3	Точіння чистове		100	3,2	2,5	2		
			4	Термічна обробка		-	-	-	-		
			5	Шліфування чорнове		39	1,6	2,5	2		
			6	Шліфування чистове		16	0,8	2,4	2		

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Під технологічним маршрутом виготовлення деталі (МВД) розуміється послідовність виконання технологічних операцій з визначенням змісту операцій, вибором обладнання та технологічного оснащення для їх виконання.

МВД «Вал» має вигляд:

- 1) I етап – отримання заготовки;
 - Термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - чорнова токарна обробка;
 - чистова токарна обробка;
 - шліцефрезерна обробка;
 - фрезерна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО;
- 5) V етап – механічна обробка:
 - чорнове шліфування;
 - чистове шліфування;
- 6) VI етап – мийка, контроль.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 34h7_{(-0,025)}$ припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом:

- 1) для заготовки: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [5];

Просторові відхилення заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності, $\rho_{зм} = 0,5$ мм [5];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.11)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна поковки, $\Delta_{кор} = 1,5$ мкм/мм [5].

$$\rho_{кор} = 1,5 \cdot 456 = 684 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,684^2} = 0,847 \text{ мм.}$$

2) для чорнового точіння: $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [5];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мкм} \quad (1.12)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки по, $K_{ут} = 0,06$ [5].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 847 = 51 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{зар}^2 + 1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{1,3^2 + 1} = 0,41 \text{ мм}$$

3) для чистового точіння: $Rz_3=25$ мкм та $h_3=25$ мкм [5];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 51 = 2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = K_{yT} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.14)$$

$$\varepsilon_2 = 0,04 \cdot 410 = 16 \text{ мкм}$$

4) для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L = 0,1 \cdot 456 = 45,6 \text{ мкм} \quad (1.15)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО, $\Delta_{\text{кор}} = 0,1 \text{ мкм/мм}$ [5].

5) для шліфування чорнового: $Rz_5 = 15 \text{ мкм}$ та $h_5 = 15 \text{ мкм}$ [5];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (45,6 + 2) = 1,4 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 16 = 0,5 \text{ мкм.}$$

6) для шліфування чистового: $Rz_6 = 6,3 \text{ мкм}$ та $h_6 = 10 \text{ мкм}$ [5];

$$\rho_6 = 0,02 \cdot 1,4 = 0 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_6 = 0,02 \cdot 0,5 = 0 \text{ мкм.}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.16)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{847^2 + 410^2}) = 2602 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{51^2 + 16^2}) = 267 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(25 + 25 + \sqrt{2^2 + 0,5^2}) = 104 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2(15 + 15 + \sqrt{0^2 + 0^2}) = 30 \text{ мкм.}$$

Максимальний розмір поверхні:

$$d_6^{\max} = d_4^{\min} + ES_{d4} \quad (1.17)$$

$$d_6^{\max} = 34 + 0 = 34 \text{ мм}$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.18)$$

$$d_5^{\max} = 34 + 0,03 + 0,025 = 34,069 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 34,069 + 0,104 + 0,039 = 34,273 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 34,273 + 0,267 + 0,1 = 34,79 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 34,79 + 2,602 + 1,3 = 38,692 \rightarrow 38,7 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір поверхні:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.19)$$

$$d_6^{\min} = 34 - 0,025 = 33,975 \text{ мм};$$

$$d_5^{\min} = 34,069 - 0,039 = 34,03 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 34,273 - 0,1 = 34,173 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 34,79 - 0,25 = 34,54 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 38,7 - 1,3 = 37,4 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.20)$$

$$2z_2^{\max} = 38,7 - 34,54 = 4,16 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 34,79 - 34,173 = 0,617 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 34,273 - 34,03 = 0,243 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 34,069 - 33,975 = 0,094 \text{ мм}.$$

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (1.21)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (1.23)$$

$$2z_0^{\max} = 38,7 - 33,975 = 4,725 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 37,4 - 34 = 3,4 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 1,3 + 0,025 = 1,325 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,725 - 3,4 = 1,325 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 37,8_{-0,4}^{+0,9}$ мм.

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки		Td, мм	d_i^{\max} , мм	d_i^{\min} , мм	$2z_i^{\max}$	
$\varnothing 34_{(-0,025)}$ Ra=0,8 $\uparrow=0,02$	17	Заготовка	1,3	38,7	37,4	-	-	$\varnothing 37,8_{-0,4}^{+0,9}$ $\varnothing 34,8_{-0,25}$ $\varnothing 34,27_{-0,1}$ - $\varnothing 34,07_{-0,039}$ $\varnothing 34_{(-0,025)}$
	12	Точін. чорн.	0,25	34,79	34,54	4160	2602	
	10	Точін. чист.	0,1	34,273	34,173	617	267	
	-	ТО	-	-	-	-	-	
	8	Шліф. чорн.	0,039	34,069	34,03	243	104	
	7	Шліф. чист	0,025	34	33,975	94	30	
4,725-3,4=1,3+0,025				1,325=1,325		4,725	3,4	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 120 – шліфувальна

На операції 120 виконуємо чистове шліфування діаметру 25 мм на круглошліфувальному верстаті моделі 3А151 (рис. 1.4). Інструмент:

шліфувальне круг 1 600x40x305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83 [6].

Пристосування – центр, хомутик повідковий.

Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної деталі – 200 мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної деталі – 700 мм;
- 3) частота обертання круга – 1272 об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 63...400 об/хв;
- 5) потужність – 7,5 кВт.

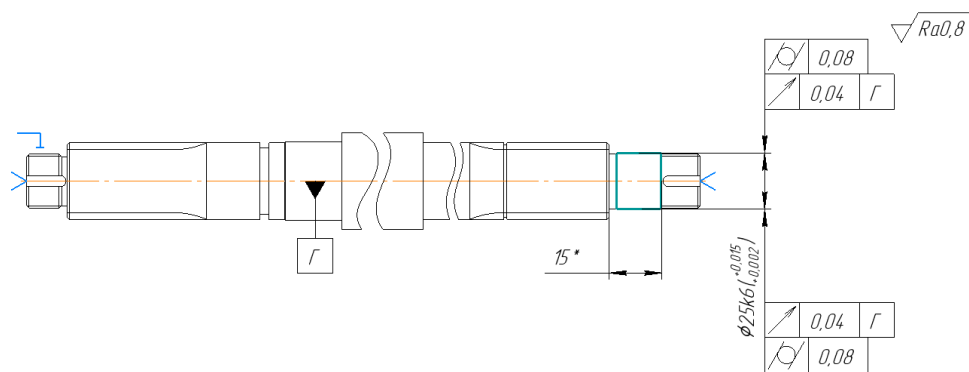


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз

Припуск на обробку 0,1 мм.

Подача радіальна розраховуємо по формулі:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.24)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,018$ мм/об [7];

K_S – коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\phi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (1.25)$$

де K_D – коефіцієнт, враховуючий діаметр круга, $K_D = 0,42$ [7];

K_R – коефіцієнт, враховуючий радіус галтелі, $K_R = 0,85$ [7];

K_T – коефіцієнт, враховуючий стійкість круга, $K_T = 1,0$ [7];

K_h – коефіцієнт, враховуючий припуск на обробку, $K_h = 1,0$ [7];

K_{IT} – коефіцієнт, враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT} = 0,5$ [7];

K_M – коефіцієнт, враховуючий матеріал деталі, $K_M = 1,0$ [7].

$$K_S = 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,178$$

$$S_{\text{поп}} = 0,018 \cdot 0,178 = 0,0032 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S=0,0025$ мм/об.

Табличне значення швидкості обертання деталі – $V_{\text{ш.дет.}}=50$ м/хв [7]:

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.26)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 25} = 636 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}}=1272$ об/хв, $n_{\text{дет.}}=400$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулами:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.27)$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (1.28)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 400}{1000} = 31,4 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1272}{1000 \cdot 60} = 40 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$t_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.29)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

$$t_o = \frac{0,1 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,0025} = 0,17 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 020 – токарна з ЧПК

На даній операції виконується чорнова обробка, використовуємо токарний верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК) 16К20Т1 (рис. 1.5). Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.5. В якості пристосування використовується патрон трьохкулачковий.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика верстата

Параметри	Значення
Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм	500
Найбільше повздовжнє переміщення, мм	1000
Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	10...2000
Діаметр патрона, мм	315
Потужність привода шпинделя, кВт	11
Швидкість руху подачі, мм/хв	
-повздовжня	0,1-2,8
-поперечної	0,005-1,4
Швидкість прискореного переміщення, м/хв, супорту	
-повздовжнього	6
-поперечного	5
Позицій інструмента	6

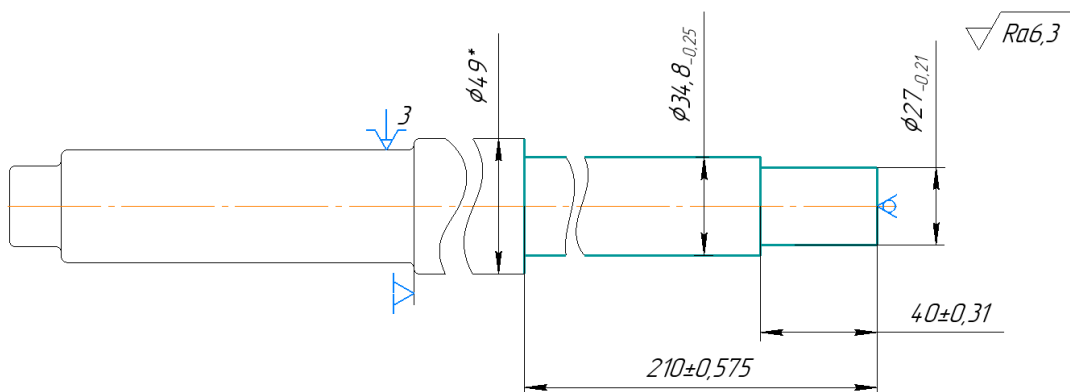


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Інструмент: різець прохідний 2101-0014 $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=1\text{мм}, 25 \times 16 \times 140, \text{T15K6 ГОСТ 18879-73 [6]}$.

Виконаємо розрахунок першого переходу – підрізка торця.

Припуск на обробку торця:

$$h = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (1.30)$$

де $D_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h = \frac{37,8 - 34,8}{2} = 1,5 \text{ мм}$$

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.31)$$

де h – припуск на обробку, мм;

$i=2$ – кількість проходів.

$$t = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою (1.24), (1.25):

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,68 \text{ мм/об [7]}$;

K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує спосіб кріплення ріжучої пластини, $K_{Sp} = 1,0 [7]$;

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує діаметр до обробки і після, $K_{Sd} = 0,62 [7]$;

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{Si} = 0,8 [7]$;

K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі, $K_{Sp} = 1,0 [7]$;

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{Sm} = 0,8 [7]$;

$K_{S\ell}$ – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини, $K_{S\ell} = 0,74$ [7];

$K_{S\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{S\varepsilon} = 1,0$ [7].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_0 = 0,68 \cdot 0,29 = 0,3 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,3$ мм/об.

Швидкість різання розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.32)$$

де $V_T = 350$ м/хв – табличне значення швидкості різання [7];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_{И}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_0} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{НВ}} \cdot K_{V_\varepsilon} \cdot K_{V_{ж}} \quad (1.33)$$

де K_{V_M} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_M} = 0,85$ [7];

$K_{V_{И}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{V_{И}} = 0,8$ [7];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 1,0$ [7];

K_{V_0} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_0} = 0,9$ [7];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{V_T} = 0,7$ [7];

$K_{V_{НВ}}$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{V_{НВ}} = 1,0$ [7];

K_{V_ε} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V_\varepsilon} = 1,0$ [7];

$K_{V_{ж}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{ж}} = 1,0$ [7].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,43$$

$$V = 350 \cdot 0,43 = 150,5 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою (1.31):

$$n = \frac{1000 \cdot 150,5}{3,14 \cdot 49} = 978 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_d=900$ об/хв.

Дійсна швидкість різання розраховується за формулою (1.32):

$$V_d = \frac{900 \cdot 3,14 \cdot 49}{1000} = 138 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу розраховується за формулою:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.34)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання [7];

$l_{пер}$ – перебігу [7].

$$L_{px} = 170 + 40 + 4 + 7 + 2 + 2 = 225 \text{ мм}$$

Машиний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.35)$$

$$t_o = \frac{225}{0,3 \cdot 900} \cdot 2 = 1,66 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція 050 – фрезерна

На даній операції виконуємо фрезерування пазу, обираємо вертикально-фрезерний вертикальний з ЧПК моделі 6P13Ф3 (рис. 1.6). В якості інструменту обираємо кінцеву фрезу, діаметром $D=4,8$ мм з числом зубів $z = 2$ з швидкорізальної сталі Р6М5 ГОСТ 19265-73.

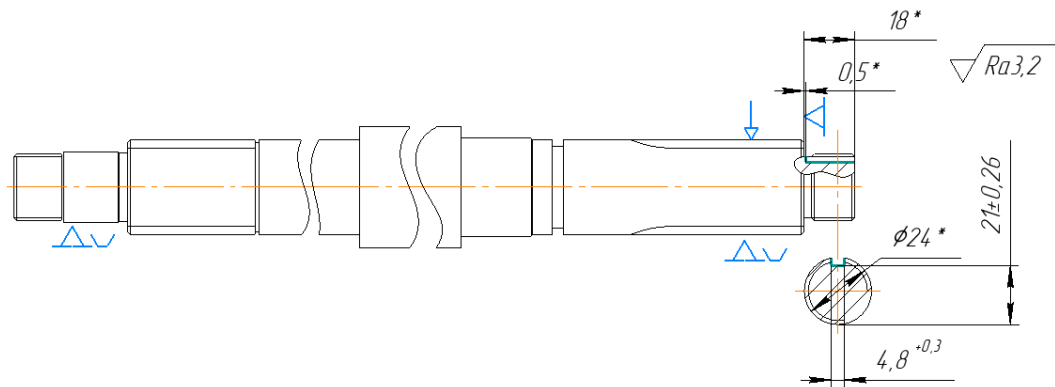


Рисунок 1.6 – Ескіз для фрезерної операції

Технічна характеристика верстата:

- 1) Найбільше повздовжнє переміщення – 800 мм;
- 2) Найбільше поперечне переміщення – 320 мм;
- 3) Найбільший вертикальне переміщення – 420 мм;
- 4) Розміри робочої поверхні столу – 1250x320 мм;
- 5) Частота обертання шпинделя – 31,5 ... 1600 об / хв;
- 6) Робоча поздовжня/поперечна подача – 20...4000 мм/хв;
- 7) Робоча вертикальна подача – 16...1330 мм/хв;
- 8) Потужність приводу головного руху – 11 кВт.

Глибина різання на один прохід: $t = 1$ мм.

Подача згідно формул (1.24), (1.25):

де $S_{\text{табл}} = 0,015$ мм/зуб – табличне значення подачі [7].

$K_{S\pi} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні [7];

$K_{Si} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує матеріал різальної частини інструменту [6];

$K_{S\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує форму оброблюваної поверхні [7];

$$S_p = 0,015 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,015 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання по формулі (1.32). (1.33):

де $V_{\text{табл}} = 53$ м/хв – табличне значення швидкості [7].

$K_{VM} = 1,0$ - коефіцієнт оброблюваності матеріалу [7];

$K_{VII} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує властивості матеріалу різальної частини інструменту [6];

$K_{V\phi} = 1,0$ – коефіцієнт, враховує вид обробки [7];

$K_{VT} = 0,57$ – коефіцієнт, враховує жорсткість деталі [7];

$K_{VJK} = 1,13$ – коефіцієнт, враховує стан поверхні заготовки [7];

$K_{VO} = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС [7];

$$V_p = 53 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,57 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,13 \cdot 1 = 35 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.26):

$$n = \frac{1000 \cdot 35}{3,14 \cdot 4,8} = 2322 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n=1600$ об/хв.

Дійсна швидкість різання за формулою (1.27):

$$V = \frac{3,14 \cdot 4,8 \cdot 1600}{10000} = 24 \text{ м/хв}$$

Визначення хвилинної подачі інструменту.

$$S_M = S_Z \cdot n \cdot z: \tag{1.36}$$

$$S_M = 0,015 \cdot 1600 \cdot 2 = 48 \text{ мм/хв}$$

Вибираємо значення: $S_M = 50$ мм/хв

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_1}{S_M} \cdot i; \tag{1.37}$$

де l – довжина фрезерування;

l_1 – величина врізання;

i – число проходів;

$$l_1 = 0,5D \sin(\arccos(1 - \frac{2t}{D})) \quad (1.38)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 4,8 \cdot \sin(\arccos(1 - \frac{2 \cdot 1}{4,8})) = 2,1 \text{ мм}$$

$$t_0 = \frac{2,1 + 17,5}{50} \cdot 3 = 1,17 \text{ хв}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Результати розрахунку режимів різання

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Фрезерно-центрувальна	01	1,5	1	50	105	650
	02	1	1	0,1	15	1100
020 Токарна	01	0,75	2	0,3	138	900
025Токарна	02	0,75	2	0,3	125	1150
030 Токарна	01	0,5	2	0,1	125	1400
	02	0,5	2	0,1	125	1400
035 Токарна	01	0,5	2	0,1	125	1400
	02	0,5	2	0,1	125	1400
040 Шліцефрезерна	01	3	1	50	35	500
045 Шліцефрезерна	01	3	1	50	35	500
050 Фрезерна	02	4,8	3	50	24	1600
055 Фрезерна	03	4,8	3	50	24	1600
075 Круглошліфувальна	01	4,4	12	0,8	25	80
080 Круглошліфувальна	01	0,2	3	0,005	40/45	1272/250

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7
085 Круглошліфувальна	01	0,3	3	0,005	42/48	1272/350
090 Круглошліфувальна	01	0,015	3	0,005	50/37	1272/350
095 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,005	47/37	1272/400
100 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,005	40/35	1272/200
105 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	47/37	1272/400
110 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	46/37	1272/400
115 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	47/40	1272/200
120 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	40/31,4	1272/400
125 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	48/37	1272/300
130 Круглошліфувальна	01	0,1	3	0,0025	50/38	1272/300

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування операції 120

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.39)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,3$ хв [8];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,5$ хв [8];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв.

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (1.40)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,2$ хв [8];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,08 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,3 + 0,5 + 0,08 = 0,88 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{оп} = t_o + t_{доп} \quad (1.41)$$

$$t_{оп} = 0,17 + 0,88 = 1,05 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{дод} = t_{оп} \cdot \alpha \quad (1.42)$$

де $\alpha = 10\%$ – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{дод} = 1,05 \cdot 0,1 = 0,1 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{дод} \quad (1.43)$$

$$t_{шт} = 1,05 + 0,1 = 1,15 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою:

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} \quad (1.44)$$

де $t_{пз1} = 12 \text{ хв}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12 \text{ хв}$ [8];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс вище, $t_{пз2} = 15 \text{ хв}$ [8];

$$t_{пз} = 12 + 15 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} \quad (1.45)$$

$$t_{\text{шт-к}} = 1,15 + \frac{25}{24} = 2,19 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування операції 020

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.39), (1.40):
де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,4$ хв [8];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,65$ хв [8];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,1$ хв [8];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 1$ [8].

$$t_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 1 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,65 + 0,1 = 1,15 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{\text{оп}} = 1,66 + 1,15 = 2,81 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.42):
де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{\text{дод}} = 2,81 \cdot 0,1 = 0,28 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.43):

$$t_{\text{шт}} = 2,81 + 0,28 = 3,19 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.44):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12$ хв [8];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, $t_{пз2} = 13$ хв [8];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 5$ хв [8].

$$t_{пз} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.45):

$$t_{шт-к} = 3,19 + \frac{30}{24} = 4,44 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.39), (1.40):
де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,4$ хв [8];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,4$ хв [8];

$t_{вим}$ – час на вимірювання, $t_{вим} = 0,2$ хв [8];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ [8].

$$t_{контр} = 0,2 \cdot 0,5 = 0,1 \text{ хв}$$

$$t_{доп} = 0,4 + 0,4 + 0,1 = 0,9 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{оп} = 1,17 + 0,9 = 2,07 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.42):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [8].

$$t_{\text{дод}} = 2,07 \cdot 0,1 = 0,2 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.43):

$$t_{\text{шт}} = 2,07 + 0,2 = 2,27 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.44):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 8 \text{ хв}$ [8];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс, $t_{\text{пз2}} = 7 \text{ хв}$ [8];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 2 \text{ хв}$ [8].

$$t_{\text{пз}} = 8 + 7 + 2 = 17 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.45):

$$t_{\text{шт-к}} = 2,27 + \frac{17}{24} = 2,97 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.7 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{\text{доп}}$, хв	$t_{\text{дод}}$, хв	$t_{\text{шт}}$, хв	$t_{\text{пз}}$, хв	$t_{\text{шт-к}}$, хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Фрезерно-центрувальна	1,2	0,8	0,20	2,20	25	3,24
020 Токарна	1,66	1,15	0,28	3,19	30	4,44
025Токарна	2,5	1,15	0,37	4,02	30	5,27
030 Токарна	3,5	1,15	0,47	5,12	30	6,37

Продовження таблиці 1.7

1	2	3	4	5	6	7
035 Токарна	4	1,15	0,52	5,67	30	6,92
040 Шліцефрезерна	25	0,8	2,58	28,38	20	29,21
045 Шліцефрезерна	35	0,8	3,58	39,38	20	40,21
050 Фрезерна	1,17	0,9	0,20	2,27	17	2,97
055 Фрезерна	1,17	0,9	0,20	2,27	17	2,97
075 Круглошліфувальна	0,5	0,88	0,14	1,52	25	2,56
080 Круглошліфувальна	0,6	0,88	0,15	1,63	25	2,67
085 Круглошліфувальна	0,55	0,88	0,14	1,57	25	2,61
090 Круглошліфувальна	0,68	0,88	0,16	1,72	25	2,76
095 Круглошліфувальна	0,36	0,88	0,12	1,36	25	2,41
100 Круглошліфувальна	0,58	0,88	0,15	1,61	25	2,65
105 Круглошліфувальна	0,38	0,88	0,13	1,39	25	2,43
110 Круглошліфувальна	0,6	0,88	0,15	1,63	25	2,67
115 Круглошліфувальна	0,4	0,88	0,13	1,41	25	2,45
120 Круглошліфувальна	0,17	0,88	0,10	1,15	25	2,19
125 Круглошліфувальна	0,45	0,88	0,13	1,46	25	2,50
130 Круглошліфувальна	0,5	0,88	0,14	1,52	25	2,56

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Для фрезерної операції №050 з ЧПК, на якій фрезерується паз, розробимо керуючу програму (КП) в програмі NX CAM. Для цього створено 3D-моделі деталі на даній операції (рис. 1.7) та поєднано її з 3D-моделлю, яка була на попередній операції.

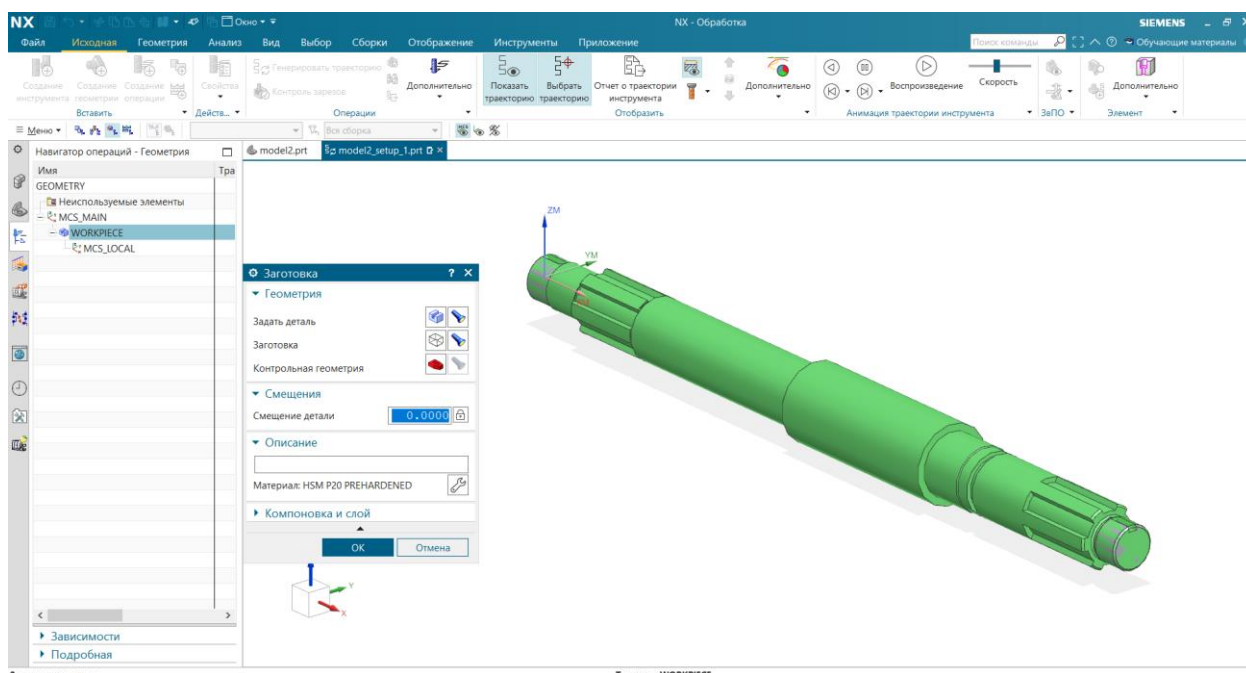


Рисунок 1.7 – Поєднання 3D-моделей

Створено фрезу (рис. 1.8), необхідну для фрезерування пазу.

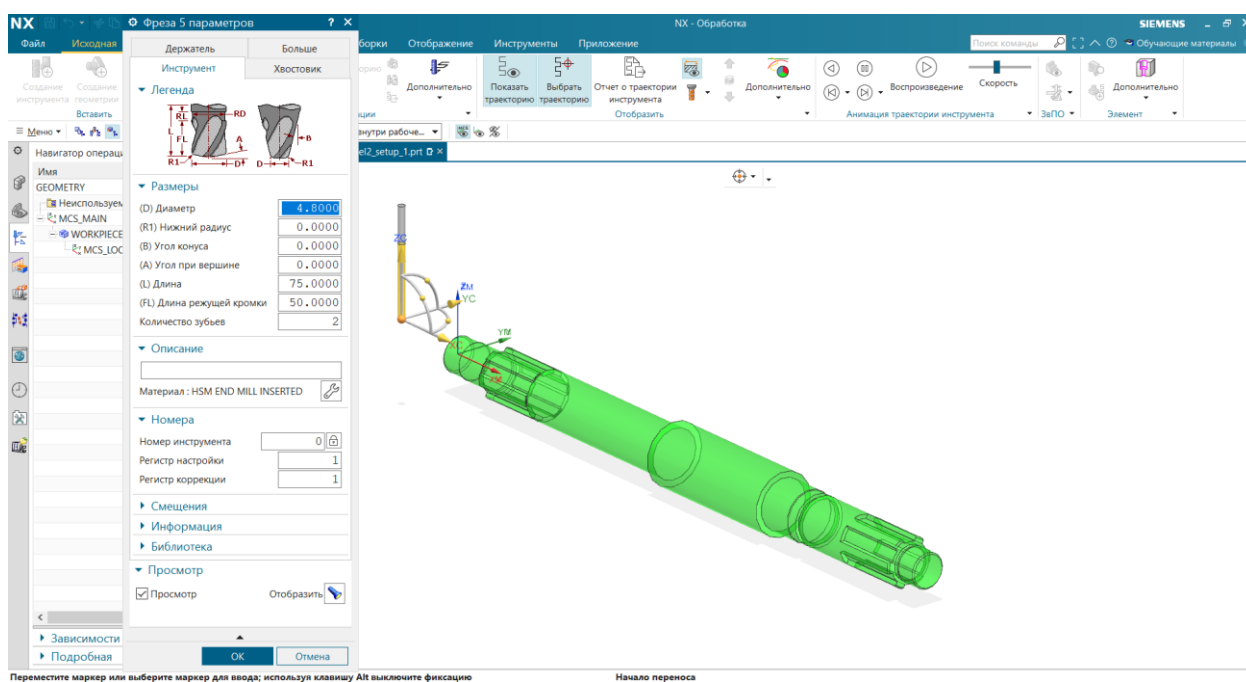


Рисунок 1.8 – Вибір параметрів фрези

Створено операцію фрезерування пазу, зазначено необхідні параметри різання та умови обробки. Визначено положення системи координат та згенеровано траєкторію (рис. 1.9).

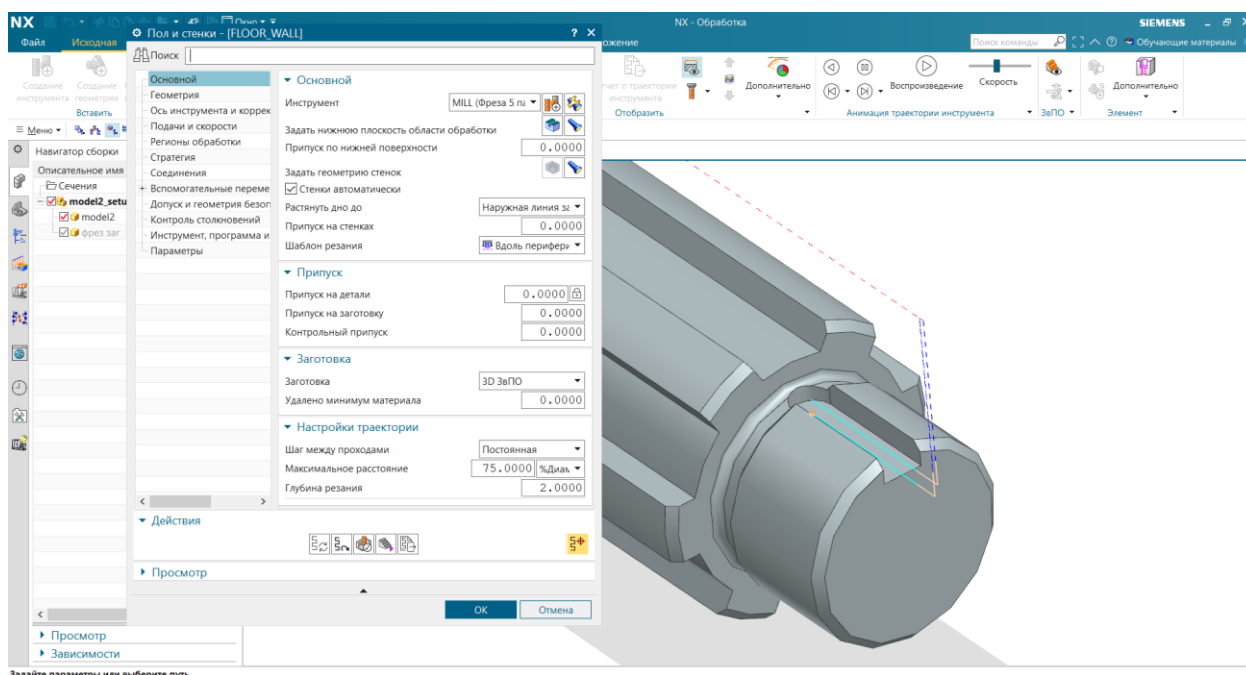


Рисунок 1.9 – Траектория

Після перевірки траекторій була проведена симуляція фрезерування пазу (рис. 1.10).

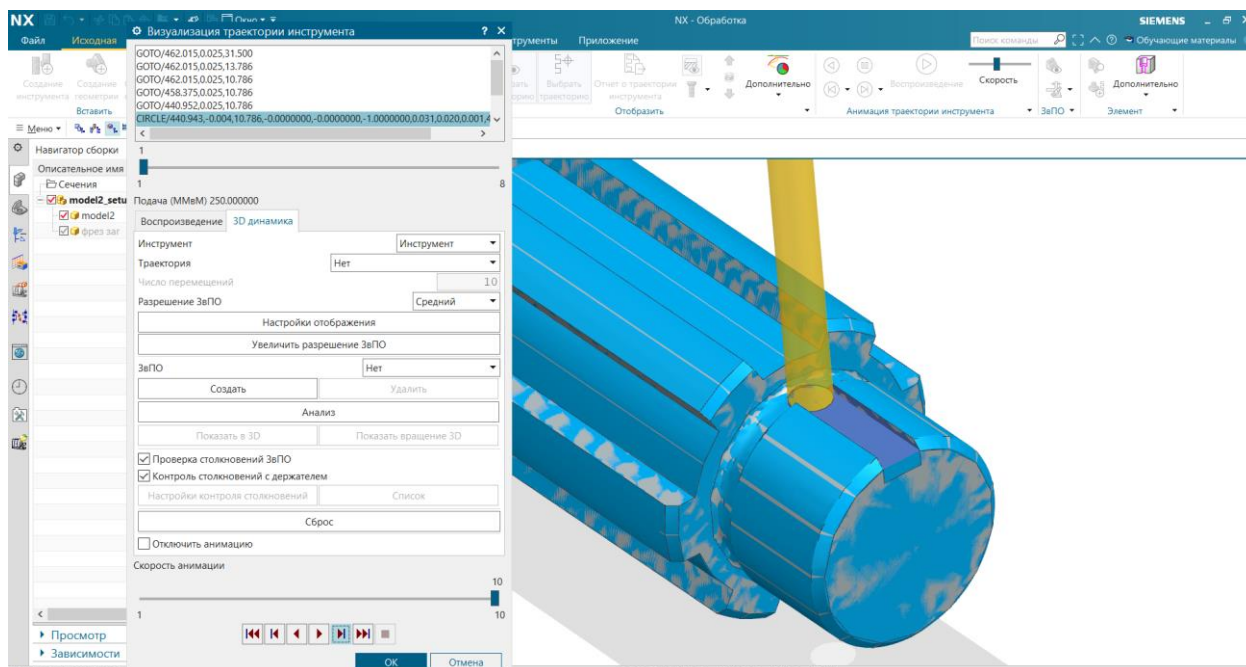


Рисунок 1.10 – Симуляція

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування (рис. 2.1) призначене для надійного закріплення деталі типу «Вал» під час фрезерування паза. В його конструкції передбачено автоматичне закріплення за допомогою гідроциліндра. Робочий тиск рідини в системі гідроциліндра становить від 5 до 10 МПа. Для попереднього налаштування розмірів обробки застосовується спеціальний установочний механізм. Перед початком обробки робоча рідина подається під тиском у простір за поршнем, що змушує поршень 3 переміщуватись праворуч, тягнучи за собою клин 8. У результаті важелі 6, під дією пружини 21, розсуваються. Деталь встановлюють у призматичні опори 20. Далі рідина подається вже в поршневу камеру, що змушує шток 3 рухатись вліво, штовхаючи клин 8. Клин пересуває важелі 6, які замикаються і надійно фіксують деталь. Після завершення обробки процес повторюють, щоб звільнити деталь.

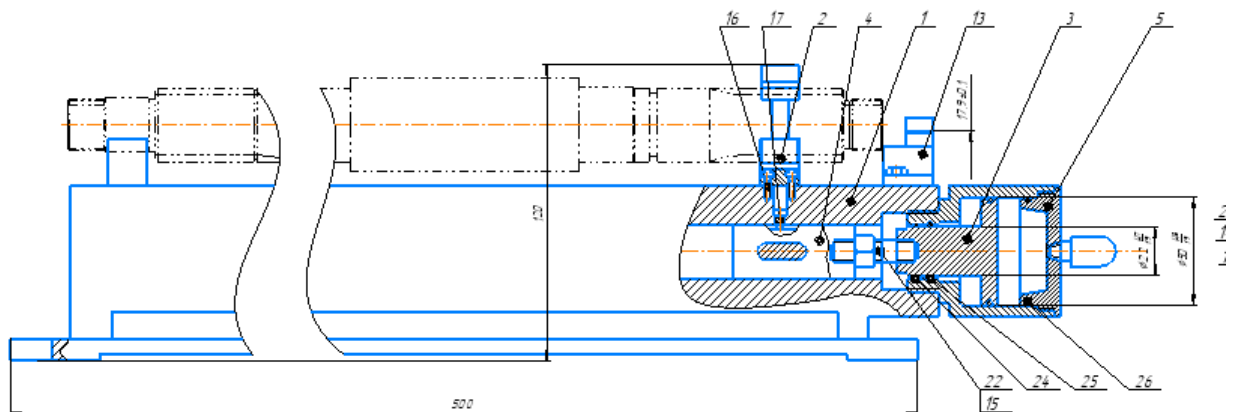


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Деталь встановлюється на призму (рис. 2.2) з кутом 90° , по шийці $\varnothing 34,27_{-0,1}$.

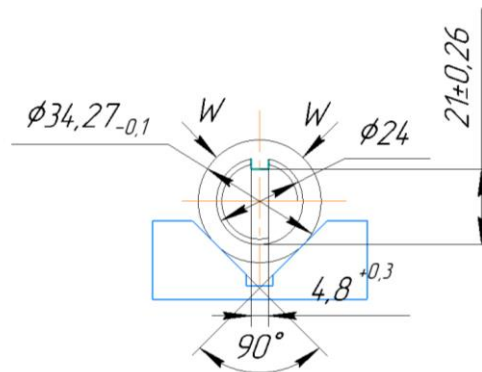


Рисунок 2.2 – Схема установки у призму

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = K_1 \cdot Td \quad (2.2)$$

де Td – допуск на діаметр базування;

K_1 – коефіцієнт, що характеризує тип базування, $K_1=0,21$ [9].

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,21 \cdot 0,1 = 0,021 \text{ мм}$$

Похибка закріплення визначається залежно від напрямку сили закріплення, стану шорсткості поверхні деталі, типу опорної площини пристосування з довідкової літератури [9]. Для даної схеми закріплення становить 0,035 мм.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,021^2 + 0,035^2} = 0,04 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність визначається у визначенні виконавчих розмірів установа.

Згідно схеми (рис. 2.3) визначимо номінальні розміри установа:

$$A_{\text{cp}} = A - \frac{TA}{2} \quad (2.3)$$

$$A_{\text{cp}} = 21,26 - \frac{0,52}{2} = 21 \text{ мм};$$

$$D_{\text{cp}} = D - \frac{TD}{2} \quad (2.4)$$

$$D_{\text{cp}} = 34,27 - \frac{0,1}{2} = 34,22 \text{ мм}$$

$$R_{\text{cp}} = \frac{D_{\text{cp}}}{2} \quad (2.5)$$

$$R_{\text{cp}} = \frac{34,22}{2} = 17,11 \text{ мм};$$

$$B_{2\text{cp}} = \frac{R_{\text{cp}}}{\sin 45} \quad (2.6)$$

$$B_{2\text{cp}} = \frac{17,11}{0,707} = 24,2 \text{ мм};$$

$$TB_{1\text{cp}} = \pm \frac{TD}{2\sin 45} \quad (2.7)$$

$$TB_{1\text{cp}} = \pm \frac{0,1}{2\sin 45} = \pm 0,07 \text{ мм};$$

$$B_{1\text{cp}} = A_{\text{cp}} - 12 \quad (2.8)$$

$$B_{1cp} = 21 - 12 = 9 \text{ мм};$$

$$TB_{1cp} = TA - TR = TA - \frac{TD}{2} \quad (2.9)$$

$$TB_{1cp} = 0,52 - \frac{0,1}{2} = 0,47 \text{ мм} \rightarrow \pm 0,2 \text{ мм};$$

$$S_{cp} = S - \frac{TS}{2} \quad (2.10)$$

$$S_{cp} = 3 - \frac{0,006}{2} = 2,997 \text{ мм};$$

$$H_{уст} = B_{1cp} + B_{2cp} - S_{cp} \quad (2.11)$$

$$H_{уст} = 9 + 24,2 - 2,997 = 30,2 \text{ мм}.$$

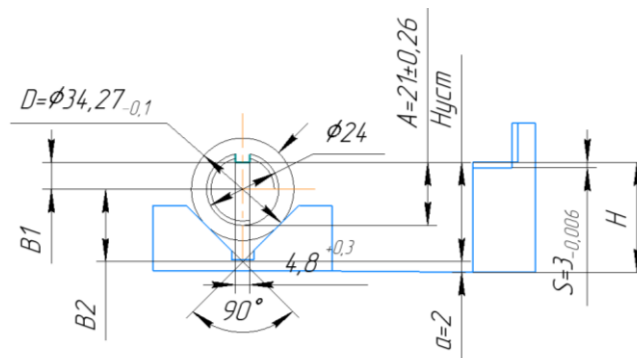


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку розміру установка

Допуск установку визначаємо згідно формули:

$$TH_{уст} \leq TA - (K_1 \cdot \varepsilon_{баз} + \varepsilon_{зак} + K_2 \cdot \omega) \quad (2.12)$$

де TA – допуск на розмір обробки;

K_1 – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування, $K_1=0,8 \dots 0,85$;

K_2 – коефіцієнт, що враховує частку середньої економічної точності обробки та який залежить від конструкції пристосування, $K_2=0,6 \dots 0,65$;

ω – середня економічна точність обробки, $\omega=0,016$ мм.

$$TH_{уст} \leq 0,52 - (0,8 \cdot 0,021 + 0,035 + 0,6 \cdot 0,016) = 0,458 \rightarrow 0,1 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$TH = 0,1 \leq \left(\frac{1}{4} \dots \frac{1}{3}\right) \cdot TA \quad (2.13)$$

$$TH = 0,1 < \frac{1}{3} \cdot 0,52 = 0,17 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір установка:

$$H = H_{уст} + a \quad (2.14)$$

де a – відстань до основи призми.

$$H = 30,2 + 2 = 32,2 \text{ мм}$$

Визначимо номінальні розміри установка у горизонтальній площині згідно схеми:

$$\frac{B_{cp}}{2} = \frac{(B - EJ + \frac{EJ - ES}{2})}{2} \quad (2.15)$$

$$H_{cp} = \frac{B_{cp}}{2} + S_{cp} \quad (2.16)$$

де S – товщина щупа.

B – ширина пазу.

$$\frac{B_{cp}}{2} = \frac{(4,8 - 0 + \frac{0,3 - 0}{2})}{2} = 2,47 \text{ м}$$

$$H_{cp} = 2,47 + 2,997 = 5,47 \text{ мм}$$

$$TH_{уст} \leq T_{ТВ} - k \cdot \omega \quad (2.17)$$

де $T_{ТВ}$ – технічні вимоги до похибки розміщення пазу;

k – коефіцієнт, що враховує реальну похибку базування, $k=0,6$;

ω – середня економічна точність обробки, $\omega=0,03$ мм.

$$TH_{уст} = 0,3 - 0,6 \cdot 0,03 = 0,012 \Rightarrow 0,1 \text{ мм}$$

Перевірка:

$$TH = 0,1 \leq \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{3}\right) T_{ТВ} \quad (2.18)$$

$$TH = 0,1 \leq \frac{1}{3} \cdot 0,3 = 0,1_{мм}$$

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Визначимо головну силу різання:

$$P_z = \frac{10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp}; \quad (2.19)$$

де x ; y ; q ; w ; n ; C_p – коефіцієнти сили різання [8].

K_{mp} – поправочний коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_s}{750}\right)^{0,3}; \quad (2.20)$$

$$K_{mp} = \left(\frac{650}{750}\right)^{0,3} = 0,95$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 1^{0,86} \cdot 0,015^{0,72} \cdot 4,3^1 \cdot 2}{4,8^{0,86} \cdot 1600^0} \cdot 0,95 = 70,3 \text{ Н}$$

Сила закріплення:

$$W = \frac{1,2 \cdot k \cdot P_z \cdot \left(R - \frac{h}{2}\right) \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{f \cdot R}; \quad (2.21)$$

де f – коефіцієнт тертя;

k – коефіцієнт запасу закріплення.

Коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.22)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $k_0=1,5$ [9];

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці, $k_1=1$ [9];

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту, $k_2=1,7$ [9].

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання, $k_3=1,2$ [9];

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами, $k_4=1$ [9];

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток, $k_5=1$ [9];

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту, $k_6=1$ [9].

$$k=1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (2.28):

$$W = \frac{70,3 \cdot 1,2 \cdot 3,06 \cdot \left(0,017 - \frac{0,003}{2}\right) \sin(90/2)}{0,15 \cdot 0,017} = 1145,1 \text{ Н}$$

Визначимо силу на штоці [9]:

$$Q = 2 P_1 \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \varphi) \quad (2.23)$$

$$P = \frac{W}{2 \cos 70} \quad (2.24)$$

$$P_1 = \frac{P \cdot (L + f \cdot h_1 + f \cdot \sin \gamma \cdot R) + P_{\text{пр}} \cdot (h - f \cdot R)}{L_1 - f \cdot R - f \cdot h_2}; \quad (2.25)$$

$$P_{\text{пр}} = 1,2(a \cdot m \cdot f) = 1,2 \cdot (3 \cdot 0,15 \cdot 0,3) = 0,16 \text{ Н} \quad (2.26)$$

де m – маса важеля;

a – коефіцієнт враховуючий, що пружині потрібно подолати тертя ще в двох місцях – між плунжером і втулкою та плунжером та регулювальним гвинтом;

α – кут клину;

φ – кут тертя;

L, R, h, h_1, h_2 конструктивні розміри.

$$P = \frac{1145,1}{2 \cdot 0,34} = 1648H$$

$$P_{\text{пр}} = 1,2 \cdot (3 \cdot 0,15 \cdot 0,3) = 0,16 H$$

$$P_1 = \frac{1648 \cdot (0,08 + 0,015 \cdot 0,022 + 0,15 \cdot \sin 70 \cdot 0,0075) + 0,16 \cdot (0,13 - 0,15 \cdot 0,0075)}{0,062 - 0,15 \cdot (0,0075 - 0,005)} = 12358 H$$

$$Q = 2 \cdot 12358 \cdot \operatorname{tg}(20 + 9) = 13700 H$$

Мінімальний діаметр різьби на штоці:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.27)$$

де p – тиск в гідросистемі [9];

α – коефіцієнт затягування [9];

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 40X [9].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 13700}{3,14 \cdot 100}} = 19,8 \rightarrow 22 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{p \cdot \eta \cdot \pi}} \quad (2.28)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя [9].

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 13700}{3,14 \cdot 7 \cdot 0,9}} = 48,6 \rightarrow 50 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначено для контролю радіального биття шийки $\varnothing 43$ відносно бази Г рівне $0,12$ мм.

Контрольне пристосування (рис. 2.4) складається зі корпусу, на якому встановлюється два центри та штанга. В центри встановлюється деталь по базі Г. Ніжка індикаторного годинника встановлюється на контрольну шийку з забезпеченням натягу $0,5 \dots 1$ мм. Шляхом обертання деталі в центрах по індикаторному годиннику знімаються значення биття.

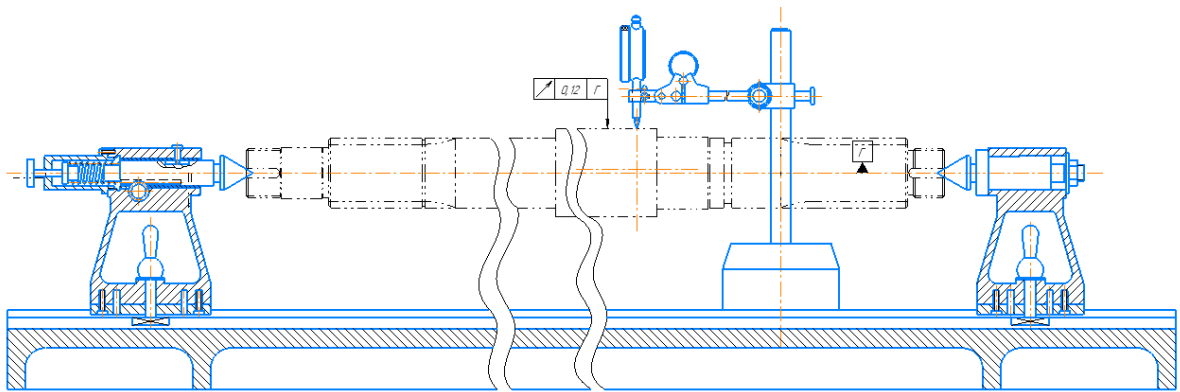


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

2.3 Розрахунок на міцність деталі «Вал»

Аналіз міцності деталі «Вал» буде проведено шляхом виконання розрахунку в середовищі програмного забезпечення NX CAE. Для визначення рівня міцності потрібно обчислити коефіцієнт запасу міцності, використовуючи відповідну формулу:

$$k = \frac{[\sigma_T]}{\sigma_{max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.29)$$

де $[\sigma_T]$ – допустиме значення границі плинності сталі 12ХН3А, $[\sigma_T]=685$ МПа [1];

σ_{max} – максимальне напруження згідно комп'ютерного розрахунку.

У процесі роботи у складі антенного вузла деталь «Вал» передає крутний момент, що надходить через шестерню, змонтовану на шліцьовому з'єднанні. З іншого боку, через аналогічне з'єднання, цей момент передається далі на другу шестерню. У зв'язку з цим, фіксацію деталі моделюємо у зоні шліців з правого боку, тоді як крутний момент прикладаємо до шліців з лівого боку (рис. 2.5).

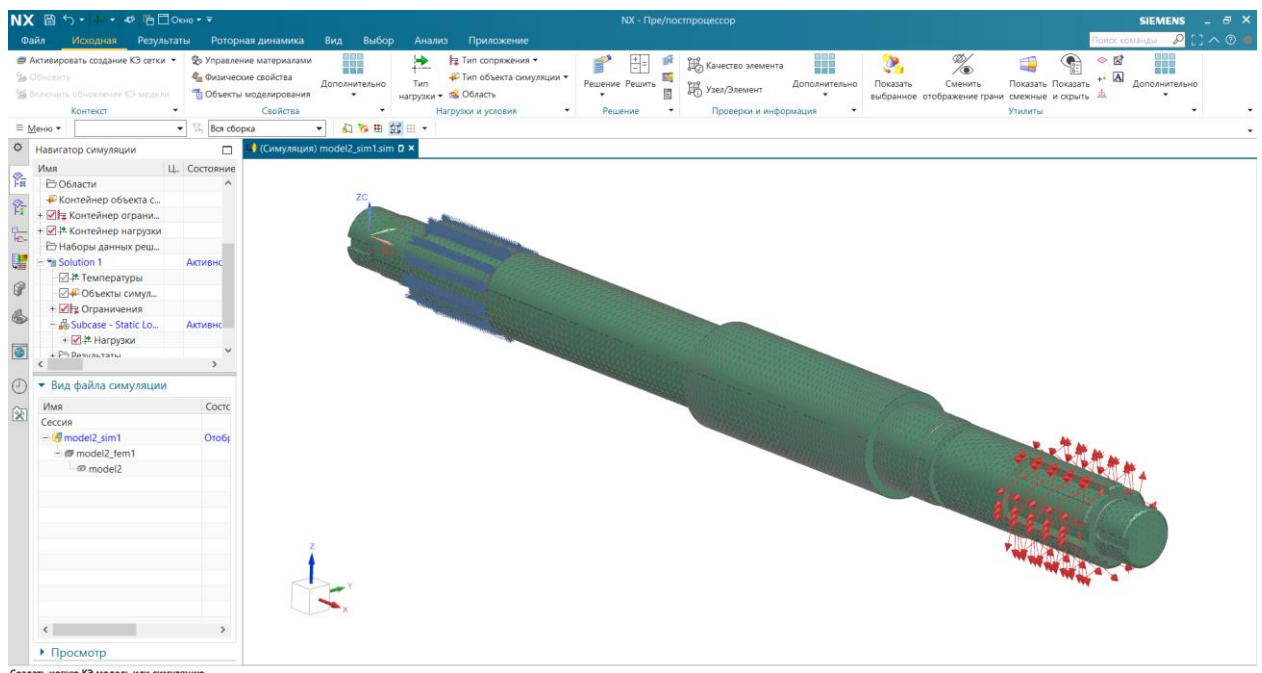


Рисунок 2.5 – Модель деталі з накладеними обмеженнями

Після комп'ютерного розрахунку в програмі NX CAE було отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.6) та значення максимальних напружень. Найбільші напруження в деталі виникають в по дну шліцьового пазу, максимальне значення сягає 207,8 МПа.

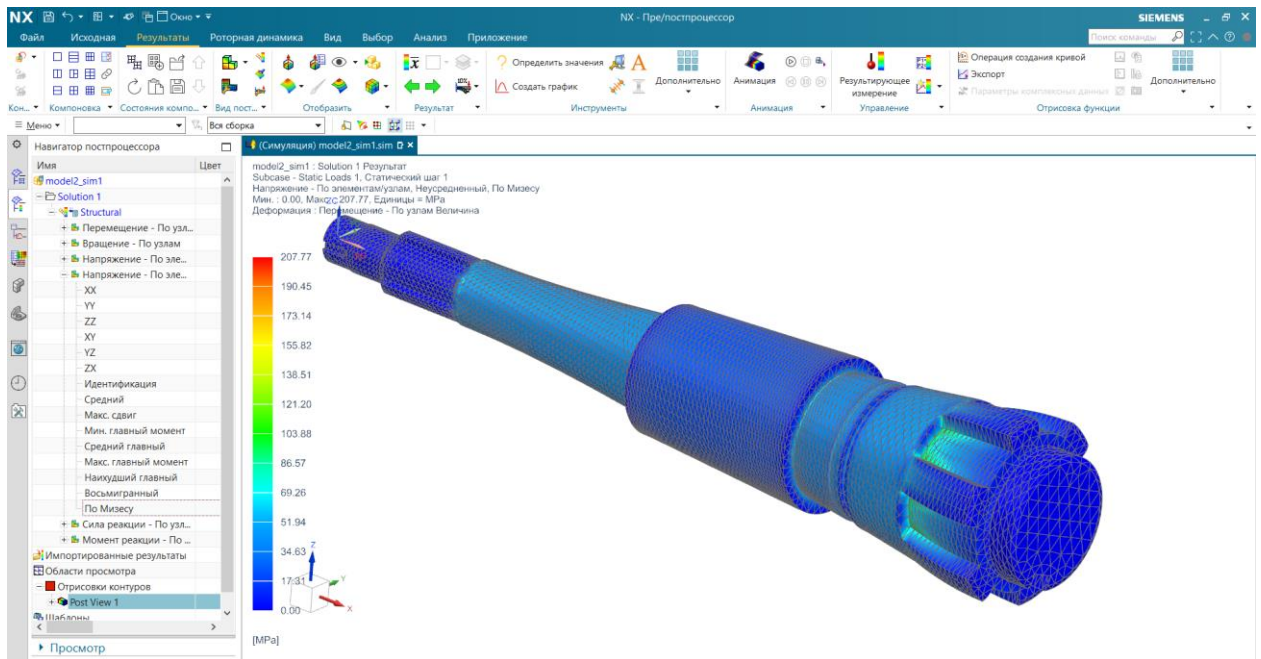


Рисунок 2.6 – Розподіл напружень

Розрахунковий коефіцієнт запасу міцності згідно формули (2.29):

$$k = \frac{685}{207,8} = 3,3$$

Згідно результатів розрахунку деталей має достатній запас міцності, тому конструкцію та розміри її можна вважати прийнятими.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{j=1} t_{ш-кj} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.1)$$

де $F_g \cdot m = 4000$ год – фонд часу роботи верстата за рік.

Результати розрахунку за формулою (3.2) приведено в таблиці 3.1.

Річна верстатоемність розраховуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-кj} \cdot N \quad (3.2)$$

Результати розрахунку за формулою (3.1) приведено в таблиці 3.1.

Значення розрахункової кількості верстатів (S_p) округлюємо до цілого значення і приймаємо його (S_n) для подальших розрахунків.

Коефіцієнт завантаження верстата визначаємо за формулою:

$$K_{3j} = \frac{S_p}{S_n} \quad (3.3)$$

Результати розрахунку за формулою (3.3) приведено в таблиці 3.1.

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

$$\overline{K_3} = \frac{\sum S_p}{\sum S_n} \quad (3.4)$$

$$\overline{K_3} = \frac{1,1}{21} = 0,05$$

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

Номер операції	Модель верстата	$t_{ш-к}$, хв	T, хв	S_p , шт	S_n , шт	K_3
015	MP73M	3,24	6480	0,03	1	0,03
020	16K20T1	4,44	8880	0,04	1	0,04
025	16K20T1	5,27	10540	0,04	1	0,04
030	16K20T1	6,37	12740	0,05	1	0,05
035	16K20T1	6,92	13840	0,06	1	0,06
040	5350A	29,21	58420	0,24	1	0,24
045	5350A	40,21	80420	0,34	1	0,34
050	6P13Ф3	2,97	5940	0,02	1	0,02
055	6P13Ф3	2,97	5940	0,02	1	0,02
075	3A151	2,56	5120	0,02	1	0,02
080	3A151	2,67	5340	0,02	1	0,02
085	3A151	2,61	5220	0,02	1	0,02
090	3A151	2,76	5520	0,02	1	0,02
095	3A151	2,41	4820	0,02	1	0,02
100	3A151	2,65	5300	0,02	1	0,02
105	3A151	2,43	4860	0,02	1	0,02
110	3A151	2,67	5340	0,02	1	0,02
115	3A151	2,45	4900	0,02	1	0,02
120	3A151	2,19	4380	0,02	1	0,02
125	3A151	2,5	5000	0,02	1	0,02
130	3A151	2,56	5120	0,02	1	0,02

Розрахована кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей дорівнює $O=21$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів (операції 020...035). Токарній операції 035 відповідає максимальний основний час токарної групи – 4 хв.

Розрахуємо кількість верстатів, яке може обслужити один оператор, за формулою:

$$m_s = \frac{t_{o \max} + t_{\text{доп}}}{t_{\text{доп}} + t_{\text{пер}}} \quad (3.5)$$

де $t_{o \max}$ – максимальний основний час на верстатах об'єднаних в багатOVERстатну зону обслуговування, хв;

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{4 + 1,15}{0,42 + 0,15} = 9$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

$$R_j = \frac{\sum S_n}{m_{sj}} \quad (3.6)$$

$$R_1 = \frac{4}{9} = 0,44$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох токарних верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування 21 верстатів необхідно $M=18$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

$$K_{30} = \frac{0}{M} \quad (3.7)$$

$$K_{30} = \frac{21}{18} = 1,16$$

Так як $1 < K_{30} < 10$, то остаточно тип виробництва приймаємо серійним.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Вал» було запропоновано порівняти обробку на токарних верстатах з ЧПК згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Перша технологія						Друга технологія			
	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16К20Т1	16К20Т1	16К20Т1	16К20Т1
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$, хв	20	25	15	18	12	10	3,19	4,02	5,12	5,67
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	123610						1653705			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	13	13	13	13	13	13	11	11	11	11

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [10]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_b \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (4.1)$$

де m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі;

t_{umi} – норма штучного часу виконання i -ої операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатостатному обслуговуванні, $K_б=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп.} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.2, 4.3.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	20	76,6	1,2	1,4	42,90
015	Токарна	25	76,6	1,2	1,4	53,62
020	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
025	Токарна	18	76,6	1,2	1,4	38,61
030	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
035	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
					Σ	214,48

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
020	Токарна	3,19	57,5	1,2	1,4	5,14
025	Токарна	4,02	57,5	1,2	1,4	6,47
030	Токарна	5,12	57,5	1,2	1,4	8,24
035	Токарна	5,67	57,5	1,2	1,4	9,13
					Σ	28,98

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [10]:

$$Z_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар.н}} \cdot \chi_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (4.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн;

χ_n – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2028$ год;

$m_{\text{оп}}$ – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	χ_n	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	Z_o , грн
020	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
025	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
030	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
035	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	10,16
						Σ	40,64

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [10]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (4.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [10]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ін}ij} \cdot t_{\text{шт}ij} \cdot \eta_M}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (4.4)$$

де $C_{\text{ін}ij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, грн/шт;

$t_{\text{шт}ij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв;

η_m – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{маш}/t_{шт}$;

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i -ої операції;

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.7, 4.8.

Таблиця 4.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	20	123610	16,2	4015	1,66
015	Токарна	25	123610	16,2	4015	2,08
020	Токарна	15	123610	16,2	4015	1,25
025	Токарна	18	123610	16,2	4015	1,50
030	Токарна	12	123610	16,2	4015	1,00
035	Токарна	10	123610	16,2	4015	0,83
					Σ	8,31

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	3,19	1653705	12,2	4015	2,67
020	Токарна	4,02	1653705	12,2	4015	3,37
025	Токарна	5,12	1653705	12,2	4015	4,29
030	Токарна	5,67	1653705	12,2	4015	4,75
					Σ	15,07

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за першою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} грн
010	Токарна	20	Різець прохід.	225	2	60	15	0,4	1,88
015	Токарна	25	Різець прохід.	200	2	60	15	0,4	2,08
020	Токарна	15	Різець розточ.	350	2	60	15	0,4	2,19
025	Токарна	18	Різець прохід.	300	1	45	20	0,4	2,29
030	Токарна	12	Різець канав.	150	2	60	15	0,4	0,75
030	Токарна	10	Різець канав.	150	1	45	20	0,4	0,63
								Σ	9,82

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за другою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} грн
020	Токарна	3,19	Різець прохід.	250	2	60	15	0,4	0,33
025	Токарна	4,02	Різець прохід.	200	2	60	15	0,4	0,34
030	Токарна	5,12	Різець прохід.	300	2	60	15	0,4	0,25
			Різець канав.	450	1	45	20	0,4	0,59
035	Токарна	5,67	Різець прохід.	300	2	60	15	0,4	0,25
			Різець канав.	450	1	45	20	0,4	0,70
								Σ	2,46

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [10]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (4.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

$k_{од}$ – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_e – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.9, 4.10.

Таблиця 4.9 – Витрати на електроенергію за першою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_ч$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	20	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,70
015	Токарна	25	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,87
020	Токарна	15	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,52
025	Токарна	18	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,23
030	Токарна	12	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,82
035	Токарна	10	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,35
										Σ	23,49

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за другою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	$k_ч$	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
020	Токарна	3,19	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,56
025	Токарна	4,02	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,97
030	Токарна	5,12	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,50
035	Токарна	5,67	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,77
										Σ	8,8

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [10]:

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (4.6)$$

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.11, 4.12.

Таблиця 4.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за першою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
015	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
020	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
025	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
030	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
035	Токарна	123610	0,02	0,64	0,79
				Σ	4,75

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
020	Токарна	1653705	0,02	0,78	12,90
025	Токарна	1653705	0,02	0,78	12,90
030	Токарна	1653705	0,02	0,78	12,90
035	Токарна	1653705	0,02	0,78	12,90
				Σ	51,6

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [10]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ин} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (4.7)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{ин}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{ин} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{ин} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ин}$, хв	K_T	T_M	m	S_H грн
020	Токарна	Різець прохід.	5,39	50,9	6	4	0,9	120	2	0,05
025	Токарна	Різець прохід.	4,29	50,9	6	4	0,9	120	1	0,13
030	Токарна	Різець прохід.	6,16	50,9	6	4	0,9	120	2	0,05
		Різець канав.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,04
035	Токарна	Різець прохід.	4,18	50,9	6	4	0,9	120	1	0,10
		Різець канав.		50,9	6	5	0,9	120	1	0,11
									Σ	0,48

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [10]:

$$I_H = Z_o \cdot k_{заг} \quad (4.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{H1} = 214,48 \cdot 0,2 = 42,89 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 28,98 \cdot 0,2 = 5,79 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [10]:

$$C_T = Z_o + Z_H + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_H + I_H \quad (4.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 4.14.

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Заробітна плата верстатника	Z_o	214,48	28,98
Заробітна плата наладчика	Z_H		40,64
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	8,31	15,07
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	9,82	2,46
Витрати на електроенергію	S_e	23,49	8,8
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	4,75	51,6
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_H		0,48
Витрати інші	I_H	42,89	5,79
Технологічна собівартість	C_T	303,74	153,82

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [10]:

$$E_{yp} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (4.10)$$

$$E_{yp} = (303,74 - 153,82) \cdot 2000 = 299840 \text{ грн}$$

Таким чином, річна економія від впровадження другого ТП за статтею собівартість може становити 299840 грн., що свідчить про ефективність запропонованої технологічної інновації.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання. Зіставимо величини капітальних витрат за варіантами.

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням:

$$K_o = \frac{C_{об} \cdot t_{шт.к.}}{60 \cdot F_d} \quad (4.11)$$

У таблиці 4.15-4.16 розраховані капітальні витрати за формулою (4.11).

Таблиця 4.15 - Капітальні витрати на обладнання за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	T _{шт.} , хв	Ц, грн	F _д	K _о , грн
010	Токарна	20	123610	4015	10,26
015	Токарна	25	123610	4015	12,83
020	Токарна	15	123610	4015	7,70
025	Токарна	18	123610	4015	9,24
030	Токарна	12	123610	4015	6,16
035	Токарна	10	123610	4015	5,13
		Σ	618050	Σ	51,31

Таблиця 4.16 - Капітальні витрати на обладнання за новим ТП

№ опер	Найменування операції	T _{шт.} , хв	Ц, грн	F _д	K _о , грн
015	Токарна	3,19	1653705	4015	21,90
020	Токарна	4,02	1653705	4015	27,60
025	Токарна	5,12	1653705	4015	35,15
030	Токарна	5,67	1653705	4015	38,92
		Σ	6614820	Σ	123,56

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат за формулою:

$$B_{\text{нав}} = C + E_n K, \quad (4.12)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності, показує, яка частина капітальних вкладень має окупатися за один рік. Для застосування вибирається варіант із мінімальним значенням $B_{\text{нав}}$.

У таблиці 4.17 наведено результати порівняння.

Таблиця 4.17 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Технологічна собівартість деталі	C_T	303,74	153,82
Капітальні витрати на деталь	K_o	51,31	123,56
Наведені витрати на деталь	W_o	355,05	172,35
Собівартість річної програми	C_p	618050	6614820
Капітальні витрати на програму	$K_{\text{оріч}}$	102620	247120
Наведені витрати на програму	$W_{\text{річ}}$	710100	344708,0
Річна економія (збиток), грн	ΔW	365392,0	

Аналіз таблиці 4.17 показує, що більш вигідний другий варіант ТП.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У процесі виготовлення деталі «Вал» необхідно суворо дотримуватись вимог охорони праці, оскільки технологічні операції пов'язані з використанням верстатного обладнання, інструменту та підйомно-транспортних засобів.

До основних заходів з охорони праці належить:

1) Організація робочого місця. Робоче місце повинно бути чистим, добре освітленим і відповідати ергономічним вимогам. Усі проходи мають бути вільними, а підлога — неслизькою.

2) Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники зобов'язані користуватись ЗІЗ: спецодягом, захисними окулярами, рукавицями, при потребі — навушниками для захисту від шуму.

3) Безпека при роботі на верстатах. При обробці вала на токарних, фрезерних або шліфувальних верстатах заборонено працювати при знятих або несправних огороженнях. Оператор повинен бути інструктований з безпечного ведення робіт. Забороняється очищати стружку вручну – лише за допомогою спеціальних щіток або гачків.

4) Робота з інструментом і оснащенням. Інструмент повинен бути справним і відповідати нормам. Перед встановленням заготовки необхідно переконатися у надійності її кріплення. Всі налаштування обладнання виконуються лише при повній його зупинці.

5) Пожежна безпека та електробезпека. У приміщенні мають бути засоби пожежогасіння. Обладнання має бути заземленим, а електропроводка – справною. Категорично забороняється працювати з несправними електроприладами.

6) Транспортування і зберігання заготовок. Під час переміщення важких деталей слід використовувати вантажопідіймальні механізми.

Працівники повинні бути інструктовані щодо правил безпечного вантажоперенесення.

У процесі виготовлення деталі «Вал» значна частина обладнання приводиться в дію електроенергією, тому дотримання правил електробезпеки є критично важливим для захисту працівників від ураження електричним струмом.

До основних заходів з електробезпеки належить:

1) Заземлення обладнання. Усе електроустаткування, зокрема токарні, фрезерні та шліфувальні верстати, повинно бути надійно заземленим відповідно до вимог ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

2) Регулярна перевірка справності. Перед початком роботи необхідно переконатися у відсутності пошкоджень на електропроводці, кабелях, вимикачах та інших елементах електромережі. Несправне обладнання негайно виводиться з експлуатації.

3) Заборона на самовільне втручання. Заборонено самостійно ремонтувати або відкривати електричні шафи, розподільчі коробки чи проводити підключення без відповідної кваліфікації та дозволу.

4) Захисне відключення та автоматичний контроль. Використання пристроїв захисного відключення (ПЗВ) дозволяє оперативно знеструмити мережу у разі виникнення витоку струму або короткого замикання.

5) Інструктаж та навчання персоналу. Усі працівники мають проходити первинний та періодичний інструктаж з електробезпеки. Роботи з електрообладнанням можуть виконувати тільки особи, які мають відповідну групу допуску з електробезпеки.

6) Забезпечення аварійного відключення. На кожному робочому місці має бути доступний аварійний вимикач або кнопка «Стоп», що дозволяє миттєво зупинити обладнання у разі небезпеки.

Загальне дотримання норм охорони праці забезпечує безпечне виготовлення деталі «Вал», знижує ризик нещасних випадків і підвищує ефективність виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

Було розроблено технологічний процес виготовлення вала антени. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки штампуванням на КГШП, розраховано масу заготовки 3,3 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,75. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням на КГШП становив 10600 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містив замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення.

Для операції фрезерування пазу була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX CAM.

Було спроектовано пристосування для фрезерування пазу. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю радіального биття центральної шийки.

Розроблено планування ділянки з виробництва деталі «Вал». Було визначено кількість технологічного обладнання – 21 верстатів, чисельність основних виробничих робітників – 18 чоловік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь 12ХН3А URL: https://steelgroup.com.ua/chornyj-metal/12hn3a/?srsltid=AfmBOopua0fAIIJmwF8tx4aC_NZdZRjFj6F1qfEoO6qB1v3qZ4VjvO2. (дата звернення: 20.04.2025).
2. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
4. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
6. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
8. Справочник нормировщика машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.
9. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

10. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.

ДОДАТОК А
Специфікація робочого пристосування

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Перв. примен.							
				<u>Документация</u>			
			НУЗП 293226.007	Складальне креслення			
	Справ. №				<u>Детали</u>		
			1		Корпус	1	
			2		Призма	1	
			3		Поршень	1	
			4		Шток	1	
			5		Кришка	1	
			6		Рычаг	2	
			7		Втулка	2	
			8		Клин	1	
			9		Пружина	1	
			10		Палець	2	
		11		Штуцер	1		
		12		Штуцер	1		
		13		Установ	1		
		14		Призма	1		
Подп. и дата				<u>Стандартные изделия</u>			
		15		Болт М10х40 ГОСТ 7805-70	2		
НУЗП 293226.007							
Изм. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Тарануха			Лит.	Лист	
	Проб.	Степанов			1	2	
	Никонтр.	Дядя			НУЗП		
Утв.	Дядя			гр. М-112сп			

Копировал

Формат А4

ДОДАТОК Б
Технологічні карти

Діючі			
Взам			
Ориг.			

Гл.технолог
Нач. БПМ

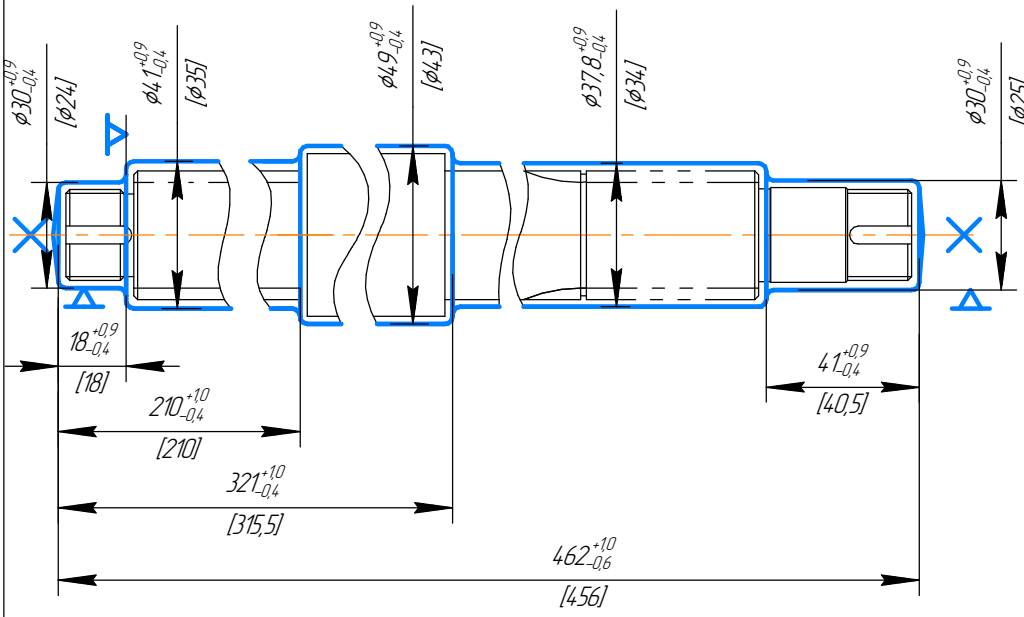
Форма 170-162

Розроб.	Тарануха				НУЗП	НУЗП 7154.13.007			М-112сп.2014.1.00005
Перевір.	Степанов								
Н.контр.	Дядя								

Опер 005	НУЗП 02.14.1.25007	1	1
----------	--------------------	---	---

Вал

$\sqrt{Ra25}$



Технічні умови на заготовку

Матеріал		Заготовка		
Найменування та марка	Код	Код і вид	Профіль і розмір	
Сталь 12ХНЗА		Штамповка	φ4.9x462	
Технічні умови		Маркування	Твердість	Маса деталі
ГОСТ 4543-71			220...260 НВ	3,3
Сортамент		Допустима кривизна		КВМ
				0,75
Розмір вихідного матеріалу	Кілдет. із заг.	Норма розходу		
φ50x400	1	Розм. листа, прутка	Маса	
			4,4	

1. Заготовка-шамповка за ГОСТ 7505-89. Т2, С1, М2.
2. Зміщення по лінії роз'єму штампу - до 12 мм.
3. Невказані радіуси заокруглень 3 мм, формувальні ухили 5°.

Карта заготовки

Дубл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 02.14.125007

1

1

Разроб. Тарануха

НУЗП

НУЗП 7154 13.007

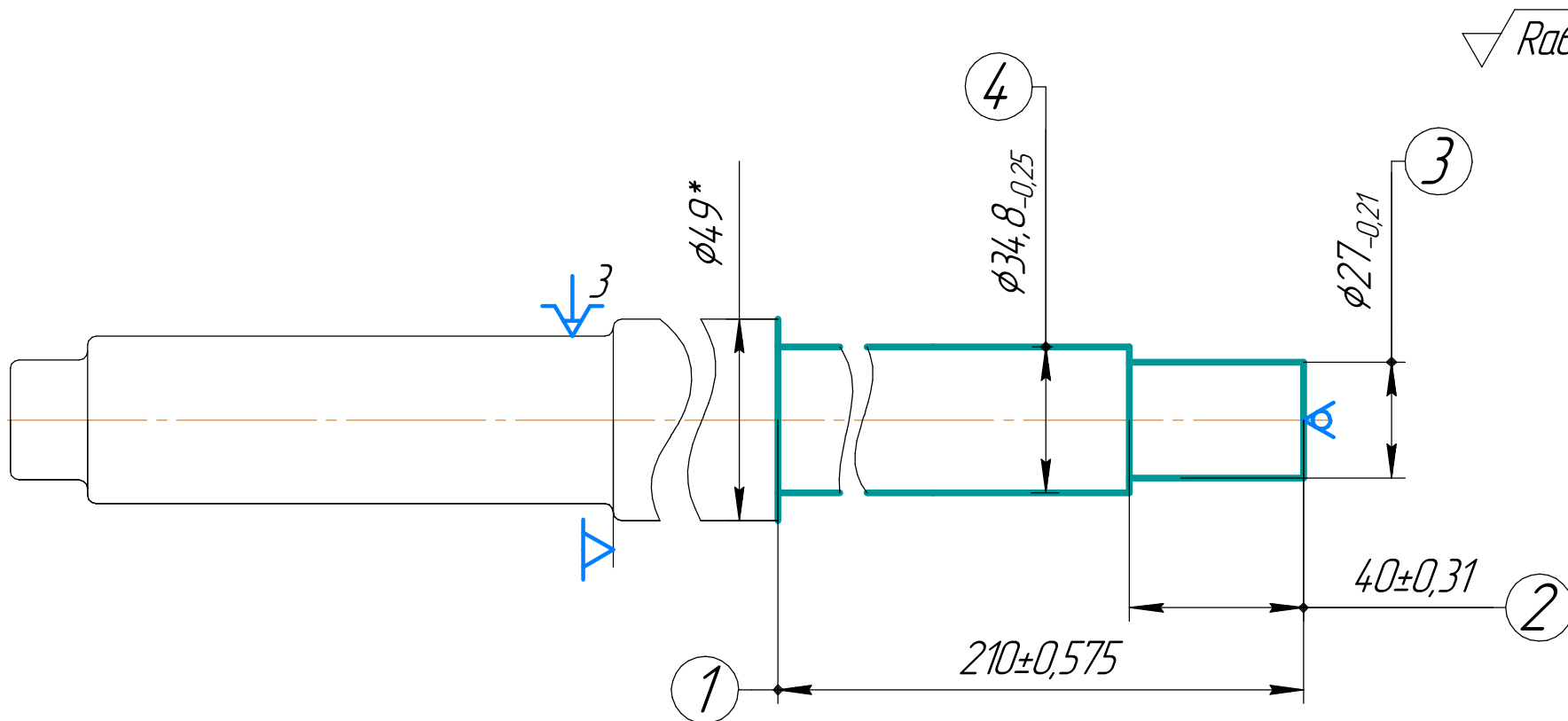
М-112сп.20.14.100020

Перевір. Степанов

Н. контр. Дядя

Вал

020



* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підл.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 02.14.125007

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Таранчука			НУЗП	НУЗП 7154 13.007			М-112сп.6014.1.00020				
Перевір.	Степанов											
Н.контр.	Дядя											020

Вал

Найменування операції		Матеріал		Твердість		ОВ	МД	Проф. і розм.		МЗ	КВЗ
Токарна з ЧПК		Сталь 12ХНЗА ГОСТ 4543-71		170.. 190 НВ		к2	3,3			4,4	0,75
Устаткування, пристрій ЧПК		Позначення програми		То	ТВ	Тп.з.	Тш-к	30ТС			
Токарний з ЧПК 16К20Т1		-		1,66	1,15	30	4,44	5% емульсія "Укрінол-1" ТУ-38-101197-76			

Р		П	Д,В	L	t	i	S	п	V
0 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,5 \times \delta$
Т 02	ПР Патрон трьохкулачковий 7100-0009 ГОСТ 2675-80								
03									
0 04	2. Точити начисто витримуючи розміри 1, 2, 3, 4.								
Т 05	ВИ Інструментальний блок								
06	РИ Різець прохідний 2112-0006 Т15К6 ГОСТ 18880-73								
07	СИ Калібр-скоба 8113-0119 ГОСТ 18360-93, шаблон спеціальний, штангенциркуль ШЦ-ІІ-250-0,05 ГОСТ 166-89.								
Р 08		01	49	225	0,75	2	0,3	900	138
09									
0 10	3. Зняти деталь								$t_{зн}=0,5 \times \delta$
11									
12									
13									
14									
15									

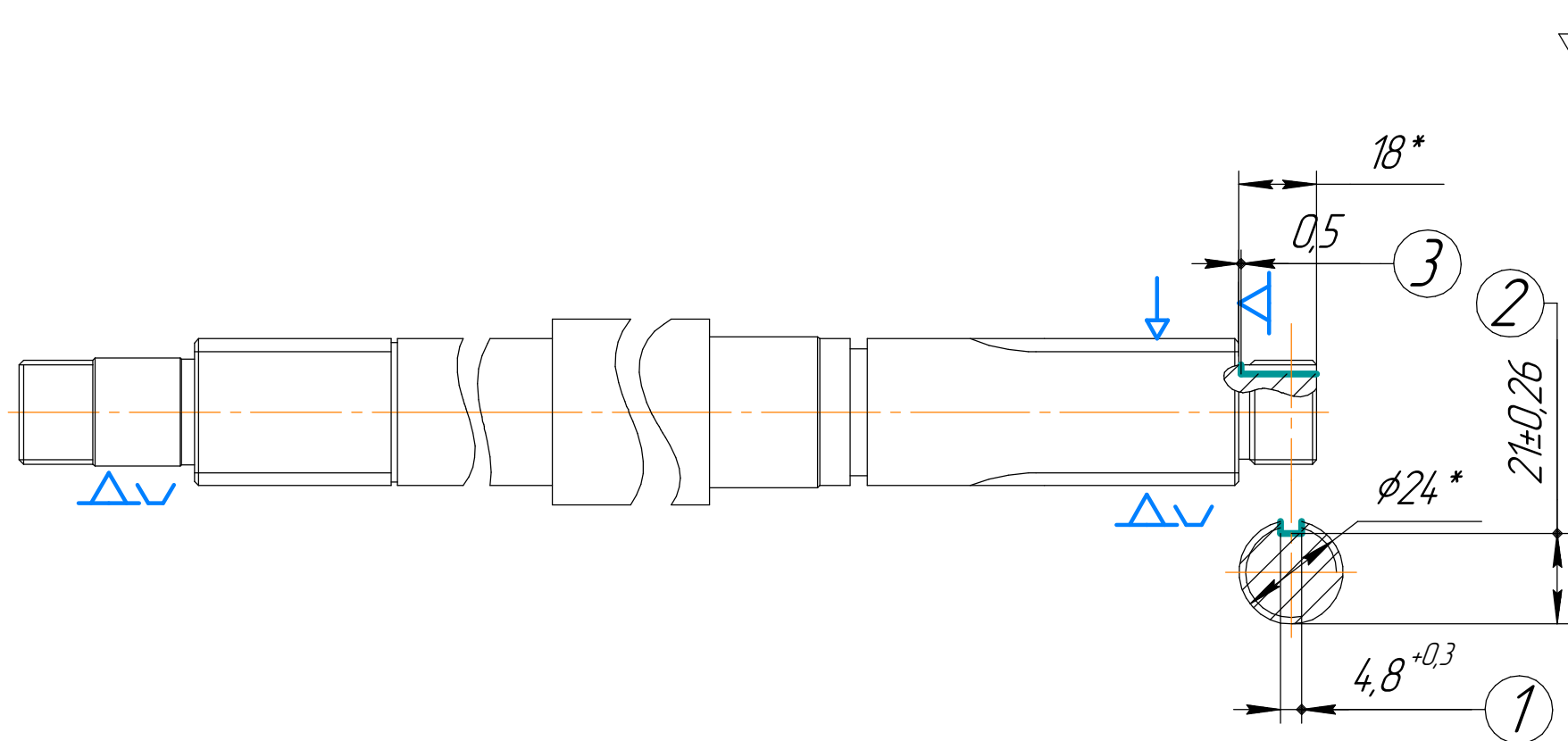
ОК

Дубл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 02.14.125007 1 1

Разроб.	Тарануха			НУЗП	НУЗП 7154 13.007			М-112сп.20.14.100050
Перевір.	Степанов							
Н. контр.	Дядя				Вал			050



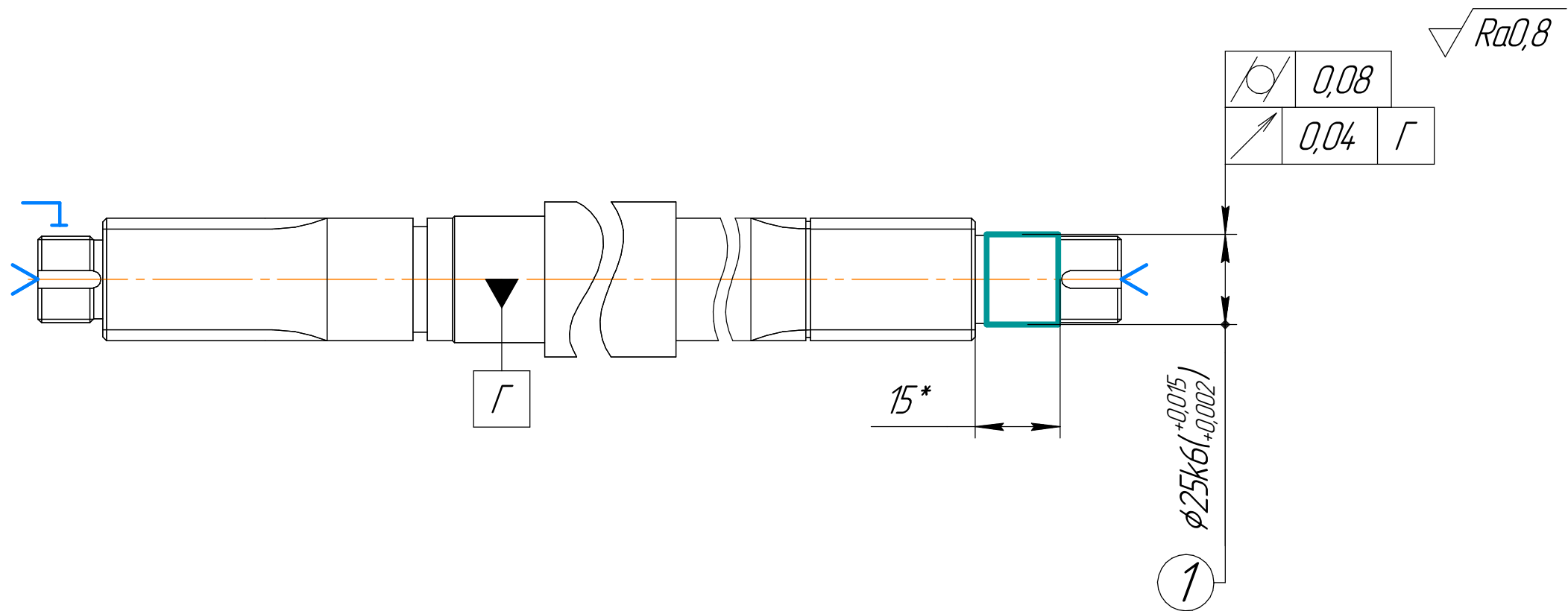
* розміри для довідок

Дубл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 02.14.1.25007	1	1
--------------------	---	---

Разроб.	Тарануха			НУЗП	НУЗП 7154 13.007			М-112сп.20.14.1.00120
Перевір.	Степанов							
Н. контр.	Дядя				Вал			120



* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підл.			

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

НУЗП 02.14.125007

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Таранюха			НУЗП	НУЗП 7154.13.007	М-112сп.6014.1.00120				120
Перевір.	Степанов									
Н.контр.	Дядя									

Вал

Найменування операції		Матеріал		Твердість		ОВ	МД	Проф. і розм.		МЗ	КВЗ
Круглошліфувальна		Сталь 12ХНЗА ГОСТ 4543-71		28...32 HRC		к2	3,3			4,4	0,75
Устаткування, пристрій ЧПК		Позначення програми		То	Тдоп	Тп.з.	Тш-к	30ТС			
Круглошліфувальний ЗА151		-		0,17	0,88	27	2,19	5% емульсія "Українол-1" ТУ-38-101197-76			

Р		П	Д,В	L	t	i	S	п	V
О 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,2 \times \delta$
Т 02	ПР Центр 7032-0023 ГОСТ 13214-79, хомутик 7107-0065 ГОСТ 16488-70								
03									
О 04	2. Шліфувати поверхню витримуючи розмір 1.								
Т 05	ВИ Оправка								
06	РИ 1 600x60x305 15А 40-Н СТ 1 6 К8А 50м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83								
07	СИ Калібр-скоба 8113-0117 ГОСТ 18360-93.								
Р 08		01	600/25	15	0,1	1	0,0025	1272/400	40/31,4
09									
О 10	3. Зняти деталь								$t_{зн}=0,2 \times \delta$
11									
12									
13									
14									
15									

ОК