

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 деталі «Зубчасте колесо»

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

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

МОВЧАН О.Я.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИЩИН П.Р.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент _____

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

2025

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

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)

МОВЧАН Олександр Якович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розробка технологічного процесу виготовлення деталі «Зубчасте колесо»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. ТРИШИН П.Р.,
(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=5000шт

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	ТРИШИН П.Р., 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

_____ Олександр МОВЧАН
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Павло ТРИШИН
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 79 с., 18 рис., 24 табл., 2 додатки, 8 джерел.

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

Об'єкт дослідження – зубчасте колесо.

Мета роботи – розробити технологічного процесу виготовлення деталі «Зубчасте колесо».

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Зубчасте колесо», розраховано економічний ефект від впровадження верстатів з ЧПК, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму на операцію з ЧПК, спроєктовано 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 Службового призначення деталі.....	9
1.2 Вибір типу виробництва.....	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки.....	11
1.4 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	14
1.5 Вибір технологічних баз.....	17
1.6 Розробка маршруту виготовлення деталі.....	17
1.7 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	18
1.8 Розрахунок режимів різання та норм часу.....	23
1.8.1 Операція токарна №30.....	23
1.8.2 Операція свердлильна №35.....	26
1.8.3 Операція круглошліфувальна №70.....	30
1.9 Розробка керуючої програми на свердлильну операцію з ЧПК.....	34
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	37
2.1 Проектування робочого пристосування.....	37
2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування.....	37
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	37
2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу.....	39
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	42
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	42
2.3 Розрахунок на міцність зубчастого колеса.....	43
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ.....	47
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ.....	50
5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	62

ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	65
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	67
Додаток Б. Технологічні карти.....	69

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

Сучасний рівень розвитку машинобудування неможливо уявити без широкого застосування зубчастих передач, які забезпечують ефективну передачу обертального моменту та стабільну роботу механізмів. Одним з основних елементів таких передач є зубчасте колесо, яке відіграє ключову роль у трансмісійних системах промислового обладнання, транспортних засобів та інших механізмів.

Процес виготовлення зубчастих коліс потребує високої точності, раціонального використання матеріалів і оптимального вибору технологічних операцій. Від правильності проектування технологічного процесу значною мірою залежить довговічність, надійність та ефективність роботи кінцевого виробу.

Метою даної дипломної роботи є розробка раціонального технологічного процесу виготовлення зубчастого колеса, що відповідає вимогам сучасного виробництва, забезпечує високу якість деталі, економічність та безпеку в експлуатації. У роботі розглянуто особливості конструкції деталі, аналіз можливих методів обробки, вибір обладнання, інструментів і режимів різання. Також досліджено питання контролю якості, технологічної точності та економічної доцільності обраного процесу.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Службове призначення деталі

Зубчасте колесо (рис. 1.1) – це основна деталь зубчастої передачі у вигляді диска із зубами на циліндричній поверхні ($m=2,5$; $z=52$), що входять у зачеплення із зубами іншого зубчастого колеса. Вона виконує наступні функції:

1) Передача крутного моменту – зубчасте колесо приймає обертовий рух від внутрішнього механізму редуктора та передає його на виконавчий механізм (вал-шестерню).

2) Зниження швидкості обертання – змінює кутову швидкість відповідно до передавального числа редуктора.

3) Підвищення крутного моменту – завдяки редукції збільшує силу, що передається на навантажений механізм.

4) Стабілізація роботи приводу – забезпечує плавність і рівномірність руху виконавчого механізму.

5) Забезпечення довговічності редуктора – виготовлена з міцних матеріалів, що забезпечують стійкість до зношування, ударів і навантажень.

Зубці зубчастого колеса піддаються азотуванню, що покращує їхню твердість, зносостійкість і стійкість до втомного руйнування. Зубчасте колесо виконана з сталі 30ХГСА (таблиця 1.1), після термічної обробки поверхня має твердість $HV \geq 80$, а серцевина 30...35 HRC.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 30ХГСА [1]

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu	Fe
0,28...0,34	0,9...1,2	0,8...1,1	до 0,3	до 0,025	до 0,025	0,8...1,1	до 0,3	основа

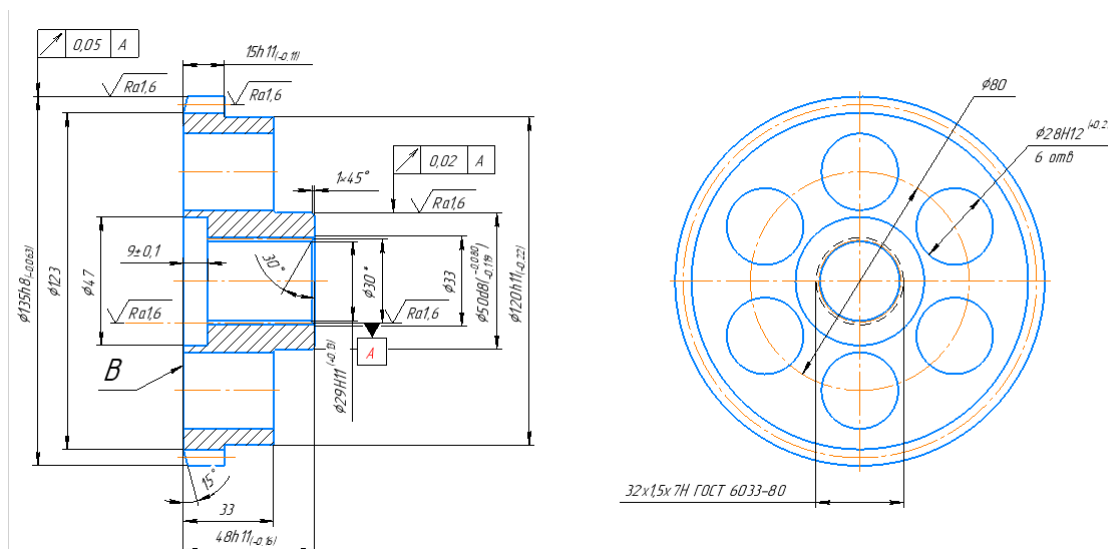


Рисунок 1.1 – Зубчасте колесо

1.2 Вибір типу виробництва

З урахуванням масштабів випуску, конструктивних особливостей, а також технічних та економічних чинників виготовлення деталі «Зубчасте колесо», виробничий процес віднесено до серійного типу [2]. Відповідно до вимог ГОСТ 14312-74, технологічний процес організований у форматі змінно-потокowego виробництва.

Кількість деталей у виробничій партії визначається за формулою:

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

де N – річна програма випуску, $N=5000$ шт;

a – періодичність запуску партій деталей в виробництво, $a=5$ днів;

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

$$n = \frac{5 \cdot 5000}{250} = 100 \text{ шт}$$

1.3 Вибір методу отримання заготовки

Для виготовлення заготовки використовуємо такі методи обробки деталей тиском:

- 1) Метод штампування на кривошипно-гарячештампувальному пресі (КГШП);
- 2) Метод штампування за допомогою молота.

Вага заготовок вищезгаданими методами була визначена за допомогою програми NX (рис. 1.2, 1.3).

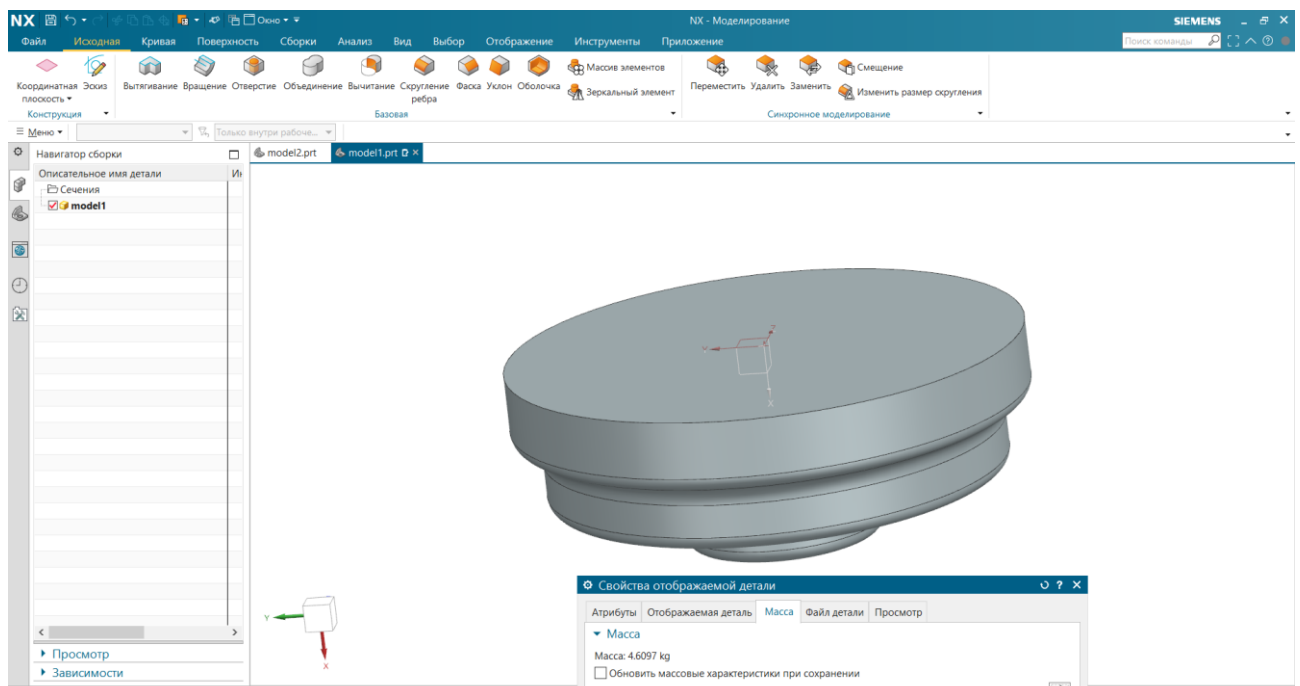


Рисунок 1.2 – Розрахунок маси штамповки

Розрахунок собівартості заготовки здійснюється за формулою [3]:

$$C = \frac{C_6}{1000} \cdot Q_{заг} \cdot K_m \cdot K_M \cdot K_c \cdot K_v \cdot K_n - \frac{(Q_{заг} - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.2)$$

де C_6 – базова ціна 1 т заготовок;

$Q_{заг}$ – маса заготовки;

K_T – коефіцієнт, враховуючий точність заготовки [3];

K_M – коефіцієнт, враховуючий матеріал [3];

K_C – коефіцієнт, враховуючий складність заготовки [3];

K_B – коефіцієнт, враховуючий масу заготовки [3];

K_{II} – коефіцієнт, враховуючий програму випуску [3];

q – маса деталі;

S – вартість 1 т стружки [3]

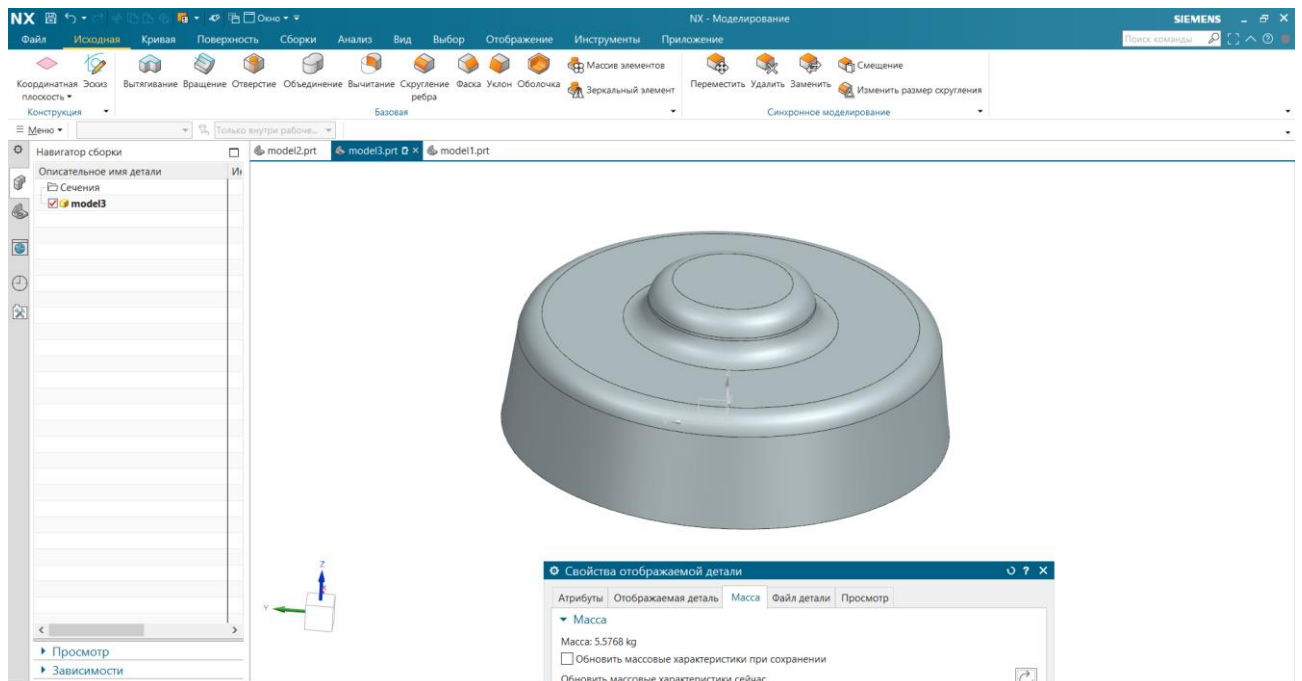


Рисунок 1.3 – Розрахунок маси поковки

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) [3]:

$$\eta = q/Q \quad (1.3)$$

Розрахунок для методу штамповки на пресі:

$$C_1 = \frac{3150}{1000} \cdot 4,6 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1 - \frac{(4,6-2)}{1000} \cdot 140 = 12,87 \text{ грн}$$

$$\eta_1 = 2/4,6 = 0,43$$

Розрахунок для методу штамповки на молоті:

$$C_2 = \frac{3500}{1000} \cdot 5,6 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1 - \frac{(5,6-2)}{1000} \cdot 140 = 17,4 \text{ грн}$$

$$\eta_2 = 2/5,6 = 0,35$$

Всі розрахунки наведено в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 – Параметри заготовок

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіант заготовки	
			1	2
Маса	Q	кг	4,6	5,6
Базова ціна 1 т заготовок	c_b	грн	3150	3500
Коефіцієнти	K_T	–	1,05	1,05
	K_M	–	1	1
	K_B	–	1	1
	K_3	–	0,87	0,87
	K_{II}	–	1	1
Вартість стружки	S	грн	140	140
Собівартість	c	грн	12,87	17,4
КВМ	η	–	0,43	0,35

Економічний ефект [3]:

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N \quad (1.4)$$

$$E_B = (17,4 - 12,87) \cdot 5000 = 22650 \text{ грн}$$

З урахуванням економічної доцільності для виготовлення заготовки обираємо метод штампування на КГШП. Це зумовлено нижчою собівартістю

процесу та вищим коефіцієнтом використання металу, що робить виробництво більш ефективним.

1.4 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхонь (МОП) — це встановлена послідовність технологічних операцій, які забезпечують обробку заготовки до необхідних параметрів якості готової деталі. Розрізняють загальне уточнення та уточнення, що стосується окремих технологічних переходів.

Загальне уточнення визначається за наступною формулою:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.5)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.6)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.7)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Уточнення для поверхні $\varnothing 50_{-0,119}^{-0,08}$

Розраховуємо загальні уточнення:

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,039} = 55,4,$$

$$\varepsilon_d = \frac{0,5}{0,02} = 25,$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{1,6} = 31,2$$

Основним показником якості цієї поверхні є шорсткість, яка вимагає найбільшої точності. Виходячи з цього показника, визначаємо необхідну кількість переходів механічної обробки за формулою:

$$k \approx 2 \lg \varepsilon_d \quad (1.8)$$

$$k = 2 \lg 51,3 = 3,4$$

Приймаємо $k = 3$ переходи.

Призначаємо послідовність показників точності та якості (ППТЯ) для цієї поверхні:

1) Для допуску – IT17 → h12 → h10 → Термічна обробка (ТО) → d8.

2) Для шорсткості – Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2 → ТО → Ra1,6

Уточнення для точіння чорнового ($T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [4]):

$$\varepsilon_{d1} = \frac{2200}{250} = 8,8$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{50}{6,3} = 7,9$$

Уточнення для точіння чистового ($T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [4]):

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 8,8 \cdot 2,5 = 22 < \varepsilon_d = 56,4$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 7,9 \cdot 2 = 15,8 < \varepsilon_{Ra} = 31,2$$

Уточнення для шліфування ($T_{D4}=39$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [4]):

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 22 \cdot 2,5 = 55 < \varepsilon_d = 56,4$$

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

Аналогічним способом проводимо розрахунки для інших поверхонь.
Отримані результати фіксуємо в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – МОП

Характер поверхонь	МОП		Допуски, мкм			Уточнення		
	IT	Метод оброб.	Розм.	Шор-ть	↑	Розм.	Шор-ть	↑
1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\varnothing 50_{-0,119}^{-0,08}$ $Ra=1,6$ $\uparrow=0,02$	17	Загот.	2200	50	500	-	-	-
	12	Точін. чорн.	250	6,3	100	8	8,8	5
	10	Точін. чист.	100	3,2	40	2,5	2,5	2
	8	Шліфування	-	-	-	-	-	-
$\varnothing 135_{-0,063}$ $Ra=1,6$ $\uparrow=0,05$	17	Загот.	2000	50	500	-	-	-
	12	Точін. чорн.	400	6,3	200	5	7,9	2,5
	10	Точін. чист.	160	3,2	100	2,5	2	2
	8	Шліфування	-	-	-	-	-	-
			63	1,6	50	2,5	2	2

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ø120-0,22 Ra=3,2	17	Загот.	2000	50	500	-	-	-
	12	Точін. чорн.	350	6,3	200	5,7	7,9	2,5
	11	Точін. чист.	220	3,2	100	1,6	2	2
		ТО	-	-	-	-	-	-
48-0,16 Ra=3,2	17	Загот.	1600	50	500	-	-	-
	12	Точін. чорн.	250	6,3	200	6,4	7,9	2,5
	11	Точін. чист.	160	3,2	100	1,6	2	2
		ТО	-	-	-	-	-	-

1.5 Вибір технологічних баз

Щоб мінімізувати похибку встановлення та забезпечити високу точність обробки на першій токарній операції в якості баз використовується зовнішня циліндрична поверхня Ø135 та крайній торець. Для чистових токарних операціях базування здійснюється по вже механічно оброблених поверхнях – зовнішній циліндричній поверхні Ø120, Ø135 та крайньому торцю. Під час зубофрезерної, круглошліфувальної, свердлильної та зубошліфувальної операцій як бази використовуються шліцевий отвір і крайній торець. При протягуванні шліців базування виконується по зовнішній циліндричній поверхні Ø50 і крайньому торцю.

1.6 Розробка маршруту виготовлення деталі

Складаємо загальну етапну схему виготовлення деталі – маршрут виготовлення деталі (МВД):

- 1) штампування на КГШП, ТО;

- 2) механічна обробка:
 - чорнова токарна обробка;
 - чистова токарна обробка;
 - зубофрезерна обробка;
 - протягування шліців;
 - свердління отворів;
- 3) мийка, контроль;
- 4) ТО;
- 5) шліфування;
 - кругле шліфування;
 - шліфування зубців;
- б) мийка, контроль.

1.7 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахуємо припуск для поверхні $\varnothing 50_{-0,119}^{0,08}$ розрахунково-аналітичним методом. Значення шорсткості та глибини дефектного шару для заготовки: $Rz_1=200$ мкм та $h_1=250$ мкм [4]. Просторові відхилення знаходять за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.9)$$

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності, $\rho_{зм} = 0,8$ мм [4];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення, $\rho_{кор} = 0,5$ мм [4].

$$\rho_1 = \sqrt{0,8^2 + 0,5^2} = 0,94 \text{ мм}$$

Для чорнового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_2=20$ мкм та $h_2=20$ мкм [4]. Просторова похибка для механічних переходів розраховується за формулою:

$$\rho_j = K_{\text{ут}} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.10)$$

де $K_{\text{ут}}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [4].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 0,94 = 56 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення: $\varepsilon_2 = 0,5 \text{ мм}$ [4].

Для чистового точіння значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_3=10 \text{ мкм}$ та $h_3=15 \text{ мкм}$ [4]. Просторова похибка:

$$\rho_3 = 0,06 \cdot 56 = 3,3 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_j = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_i, \text{ мм} \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_3 = 0,06 \cdot 500 = 30 \text{ мкм}$$

Просторова похибка для ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.12)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО, $\Delta_{\text{кор}}=0,1 \text{ мм}$ [6].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 48 = 4,8 \text{ мкм}$$

Для шліфування значення шорсткості та глибини дефектного шару призначаємо: $Rz_5=6,3 \text{ мкм}$ та $h_5=10 \text{ мкм}$ [4].

Просторова похибка:

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (3,3 + 4,8) = 0,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 30 = 0,9 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.13)$$

$$2z_2^{\min} = 2(200 + 250 + \sqrt{940^2 + 500^2}) = 3030 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{56^2 + 30^2}) = 207 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{3,3^2 + 0,9^2}) = 56 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_5^{\max} = d_6^{\min} + ES_{d_6} \quad (1.14)$$

$$d_5^{\max} = 50 - 0,08 = 49,92 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.15)$$

$$d_3^{\max} = 49,92 + 0,039 + 0,056 = 50,076 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 50,076 + 0,1 + 0,207 = 50,533 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 50,533 + 2,2 + 3,03 = 55,7 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.16)$$

$$d_5^{\min} = 348 - 0,089 = 347,911 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 348,296 - 0,23 = 348,066 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 349,186 - 0,57 = 348,616 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 55,7 - 2,2 = 53,5 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.17)$$

$$2z_2^{\max} = 55,763 - 50,283 = 5,48 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 50,533 - 49,976 = 0,557 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 50,076 - 49,881 = 0,195 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{зар}} + TD_{\text{дет}} \quad (1.18)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (1.19)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (1.20)$$

$$2z_0^{\max} = 55,763 - 49,881 = 5,882 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 53,563 - 49,92 = 3,643 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 2,2 + 0,039 = 2,239 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 5,882 - 3,643 = 2,239 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 54,1_{-0,6}^{+1,6}$ мм.

Результати розрахунку припусків та технологічних розмірів наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Розрахунок припусків на обробку та технологічні операційні розміри по технологічним переходам.

Характеристики поверхонь	МОП		Складові припуску				До- пуск Td, мм	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки	R _{zi}	h _i	ρ _i	ε _i		d _i ^{max} , мм	d _i ^{min} , мм	2z _i ^{max} мкм	2z _i ^{min} мкм	
Ø50 ^{-0,08} _{-0,119} Ra=1,6 ↑=0,02	17	Заготовка	200	250	940	-	2,2	55,763	53,563	-	-	Ø54,1 ^{+1,6} _{-0,6}
	12	Точіння чорнове	20	20	56	500	0,25	50,533	50,283	5480	3030	Ø 50,5 _{-0,25}
	10	Точіння чистове	10	15	3,3	30	0,1	50,076	49,976	557	207	Ø 50,07 _{-0,1}
	-	ТО	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-
	8	Шліфування	6,3	10	0,2	0,9	0,039	49,92	49,881	195	56	Ø50 ^{-0,08} _{-0,119}
							5,882-3,643=2,2+0,039					
							2,239=2,239		5,882		3,643	

1.8 Розрахунок режимів різання та норм часу

1.8.1 Операція токарна №30

Чистове точіння ведеться на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) моделі СКЕ 6163 (рис. 1.4).

Технічні характеристики верстата:

- 1) Максимальний діаметр обробки над станиною – 630 мм;
- 2) Максимальний діаметр обробки над супортом – 320 мм;
- 3) Діаметр патрона – 315 мм
- 4) Максимальна довжина обробки – 1000мм;
- 5) Діапазон швидкостей обертання шпинделя – 10-2000 об/хв
- 6) Переміщення по осі X – 320 мм;
- 7) Переміщення по осі Z – 785 мм;
- 8) Точність позиціонування – ± 5 мкм;
- 9) Потужність головного приводу електропривода – 11 кВт.

Вибираємо різальний інструмент:

- 1) Різець токарний підрізний ГОСТ 18880-73, державка 25x16x140, Т15К6 [5];
- 2) Різець токарний розточний ГОСТ 18883-73, державка 25x16x140, Т15К6 [5].

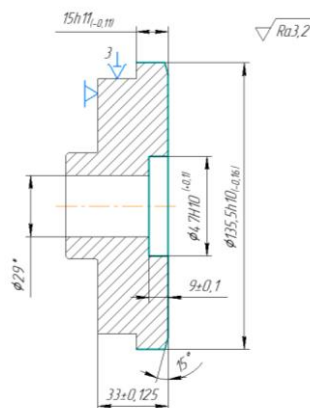


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз деталі

Довідкове значення подачі $S_T = 0,144$ мм/об [5]. Приймаємо за верстатом $S=0,1$ мм/об.

Розраховуємо швидкість головного руху різання:

$$v = \frac{C_v}{T^m t^x S^y} K_v \quad (1.21)$$

$$K_v = K_{v\varphi} \cdot K_{v\varphi 1} \cdot K_{vr} \quad (1.22)$$

де C_v, q, y, m – коефіцієнти, $C_v=420, x=0,15, y=0,2, m=0,2$ [5];

$K_{v\varphi}$ – коефіцієнт головного кута в плані, $K_{v\varphi}=0,7$ [5];

$K_{v\varphi 1}$ – коефіцієнт допоміжного кута в плані, $K_{v\varphi 1}=1$ [5].

K_{vr} – коефіцієнт головного кута в плані, $K_{vr}=1$ [5].

K_{vM} – коефіцієнт оброблюваного матеріалу,

$$K_{vM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{0,9} \quad (1.23)$$

σ_B – межа міцності, $\sigma_B = 740$ [5];

$$K_{vM} = \left(\frac{750}{740} \right)^{0,9} = 1,01$$

$$K_v = 1,01 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,7$$

$$v = \frac{420}{180^{0,2} 0,5^{0,15} 0,1^{0,2}} 0,7 = 185 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} \quad (1.24)$$

$$n_{135} = \frac{1000 \cdot 185}{3,14 \cdot 135} = 436 \text{ об/хв}$$

$$n_{47} = \frac{1000 \cdot 185}{3,14 \cdot 47} = 1253 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по верстату: $n_{135}=400$ об/хв, $n_{47}=1200$ об/хв.

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \quad (1.25)$$

$$V_{d135} = \frac{3,14 \cdot 135 \cdot 400}{1000} = 169 \text{ м/хв}$$

$$V_{d47} = \frac{3,14 \cdot 47 \cdot 1200}{1000} = 177 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо основний машинний час:

$$t_o = \frac{(l+l_{вр}+l_{пер}) \cdot i}{s \cdot n}, \text{ хв} \quad (1.26)$$

де l – довжина різання, мм;

$l_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання, мм;

i – кількість проходів.

$$t_o = \frac{2 + 60 + 2}{400 \cdot 0,1} \cdot 2 + \frac{2 + 18 + 2}{1200 \cdot 0,1} \cdot 2 = 3,56 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$$t_{доп} = t_{в.у} + t_{м.в} \quad (1.27)$$

де $t_{в.у}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{в.у}=0,5$ хв [6];

$t_{м.в}$ – час допоміжних ходів верстата, $t_{м.в} = 0,25$ хв [6].

$$t_{доп} = 0,5 + 0,5 + 0,25 = 1,25 \text{ хв};$$

Оперативний час:

$$t_{оп} = t_o + t_{доп} \quad (1.28)$$

$$t_{оп} = 3,56 + 1,25 = 4,81 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час:

$$t_{шт} = t_{оп} + \frac{(\alpha_{обсл} + \alpha_{отд}) \cdot t_{оп}}{100} \quad (1.29)$$

де $\alpha_{обсл}$, $\alpha_{отд}$ – відсоток часу від оперативного обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби, $\alpha_{обсл} + \alpha_{отд} = 8\%$ [6].

$$t_{шт} = 4,81 + \frac{8 \cdot 4,81}{100} = 5,19 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{T_{п.з}}{n} \quad (1.30)$$

де $T_{п.з}$ – підготовчо-заклучний час, $T_{п.з} = 30$ хв.

$$t_{шт-к} = 5,19 + \frac{30}{100} = 5,49 \text{ хв}$$

1.8.2 Операція свердлильна №35

Для свердління восьми отворів (рис. 1.5) обираємо фрезерний верстат з ЧПК моделі MAST MM 855 S24. Технічні характеристики верстата:

- 1) Розмір столу – 1000x550 мм;
- 2) Переміщення по осям X/Y/Z – 850x550x550 мм;
- 3) Потужність двигуна шпинделя – 7,5 кВт;
- 4) Габарити – 2800x2300x2700 мм;
- 5) Тип приєднання інструменту – BT40;
- 6) Точність позиціонування – $\pm 0,003$ мм;
- 7) Точність повторюваності позиціонування – $\pm 0,005$ мм;
- 8) Оберти шпинделя – 1...10 000 об/хв;
- 9) Відстань шпинделя від поверхні столу – 120...670 мм.

В якості інструменту використовуємо:

- 1) свердло центральне 2317-0164 ГОСТ 14952-75

2) свердло спіральне діаметром 15 мм 2300-6411 ГОСТ 10902-77 [5].

3) свердло спіральне діаметром 28 мм 2301-3665 ГОСТ 10903-77 [5].

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{D_{CB}}{2} \quad (1.31)$$

$$t_1 = \frac{3,15}{2} = 1,6 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{15}{2} = 7,5 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{28 - 15}{2} = 6,5 \text{ мм}$$

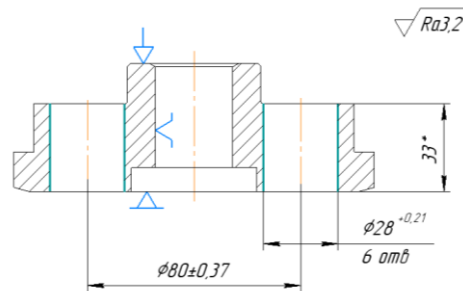


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Подача розраховується за формулою:

$$S = S_T \cdot K_S \quad (1.32)$$

$$K_S = K_{Sl} \cdot K_{So} \cdot K_{Sж} \cdot K_{Si} \quad (1.33)$$

де S_T – табличне значення подачі, $S_{T3,15} = 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$; $S_{T15} = 0,28 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$,

$S_{T28} = 0,43 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ [5];

K_{Si} – коефіцієнт матеріалу свердла, $K_{Si} = 1$ [5];

K_{Sl} – коефіцієнт довжини отвору, $K_{Sl} = 0,9$ [5];

K_{So} – коефіцієнт якості поверхні, $K_{So} = 1$ [5];

$K_{Sж}$ – коефіцієнт жорсткості свердла, $K_{Sж} = 0,75$ [5].

$$K_S = 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 0,675$$

$$S_{3,15} = 0,1 \cdot 0,675 = 0,07 \text{ мм/об}$$

$$S_{15} = 0,28 \cdot 0,675 = 0,19 \text{ мм/об}$$

$$S_{28} = 0,43 \cdot 0,675 = 0,29 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S_{3,15} = 0,07$ мм/об, $S_{15} = 0,2$ мм/об, $S_{28} = 0,3$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання:

$$v = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S^y} K_v \quad (1.34)$$

$$K_v = K_{vM} \cdot K_{vИ} \cdot K_{vI} \quad (1.35)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 35$ м/хв [5];

K_{vI} – коефіцієнт довжини отвору, $K_{vI} = 1$ [5];

$K_{vИ}$ – коефіцієнт ріжучого матеріалу, $K_{vИ} = 1$ [5];

C_v, q, y, m – коефіцієнти, $C_v=9,8, q=0,4, y=0,5, m=0,2$ [5];

K_{vM} – коефіцієнт оброблюваного матеріалу,

$$K_{vM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^{0,9}$$

σ_B – межа міцності, $\sigma_B = 740$ [8];

$$K_{vM} = \left(\frac{750}{740} \right)^{0,9} = 1,01$$

$$K_v = 1,01 \cdot 1 \cdot 1 = 1$$

$$v_{3,15} = \frac{9,8 \cdot 3,15^{0,4}}{60^{0,2} 1,6^{0,2} 0,07^{0,5}} 1 = 24 \text{ м/хв}$$

$$v_{15} = \frac{9,8 \cdot 15^{0,4}}{60^{0,2} 7,5^{0,2} 0,2^{0,5}} 1 = 20 \text{ м/хв}$$

$$v_{28} = \frac{9,8 \cdot 28^{0,4}}{60^{0,2} 6,5^{0,2} 0,3^{0,5}} 1 = 18 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.24):

$$n_{3,15} = \frac{1000 \cdot 24}{3,14 \cdot 3,15} = 2426 \text{ об/хв}$$

$$n_{15} = \frac{1000 \cdot 20}{3,14 \cdot 15} = 424,6 \text{ об/хв}$$

$$n_{28} = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 28} = 204,5 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{д3,15}=2200$ об/хв, $n_{д15}=400$ об/хв, $n_{д28}=200$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.25):

$$V_{д3,15} = \frac{3,14 \cdot 3,15 \cdot 2200}{1000} = 21,7 \text{ м/хв}$$

$$V_{д15} = \frac{3,14 \cdot 15 \cdot 400}{1000} = 19 \text{ м/хв}$$

$$V_{д28} = \frac{3,14 \cdot 28 \cdot 200}{1000} = 17 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_2+l_1}{nS} \cdot n, \text{ хв} \quad (1.36)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

l_1 – величина перебігу, мм;

l_2 – величина врізання, мм;

n – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{св}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (1.37)$$

$$l_{13,15} = \frac{3,15}{2tg60} = 0,9 \text{ мм};$$

$$l_{115} = \frac{15}{2tg60} = 4,4 \text{ мм};$$

$$l_{128} = \frac{28}{2tg60} = 8,2 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{3+0,9}{0,07 \cdot 2200} \cdot 6 + \frac{33+4,4+2}{0,2 \cdot 400} \cdot 6 + \frac{33+8,2+2}{0,3 \cdot 200} \cdot 6 = 7,9 \text{ хв.}$$

Допоміжний час за формулою (1.27):

де $t_{в.у}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{в.у}=0,4$ хв [6];

$t_{м.в}$ – час допоміжних ходів верстата, $t_{м.в}=0,3$ хв [6].

$$t_{доп} = 0,4 + 0,4 + 0,3 = 1,1 \text{ хв}$$

Оперативний час за формулою (1.28):

$$t_{оп} = 1,1 + 7,9 = 9 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.29):

де $\alpha_{обсл}$, $\alpha_{отд}$ – відсоток часу від оперативного обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби, $\alpha_{обсл} + \alpha_{отд} = 8\%$ [6].

$$t_{шт} = 9 + \frac{8 \cdot 9}{100} = 9,7 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою (1.30):

де $T_{п.з}$ – підготовчо-заклучний час, $T_{п.з}=22$ хв.

$$t_{шт-к} = 9,7 + \frac{22}{100} = 9,95 \text{ хв}$$

1.8.3 Операція круглошліфувальна №70

Шліфування (рис. 1.6) виконуємо на круглошліфувальному верстаті Bernardo URS500N. Шліфувальний круг 1 400x40x127 15A 40H СТ1 6 K8 A 50 м/с ГОСТ 2424-83 [5] використовується в якості інструмента.

Технічні характеристики верстата:

- 1) Відстань між центрами – 500 мм;
- 2) Висота центру – 135 мм;
- 3) Поздовжнє переміщення столу – 600 мм;

Приймаємо за паспортом верстату $n_{ш.кр.50}=190$ об/хв, $n_{дет.135}=70$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулами (1.25):

$$V_{ш.кр.} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000 \cdot 60} \quad (1.39)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 50 \cdot 190}{1000} = 29 \text{ м/хв}$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 135 \cdot 70}{1000} = 29 \text{ м/хв}$$

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 1670}{1000 \cdot 60} = 35 \text{ м/с}$$

Визначаємо основний час:

$$t_o = \frac{z_1 \cdot k}{n_{дет} \cdot S_{поп}} + \frac{z_2 \cdot k}{n_{дет} \cdot S_{поп}}, \text{ хв} \quad (1.40)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

$$t_o = \frac{0,1 \cdot 1,7}{190 \cdot 0,0025} + \frac{0,25 \cdot 1,7}{70 \cdot 0,0025} = 2,4 \text{ хв}$$

Допоміжний час за формулою (1.27):

де $t_{в.у}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{в.у}=0,15$ хв [6];

$t_{м.в}$ – час допоміжних ходів верстата, $t_{м.в}=0,2$ хв [6].

$$t_{доп} = 0,15 + 0,15 + 0,2 = 0,5 \text{ хв}$$

Оперативний час за формулою (1.28):

$$t_{оп} = 2,4 + 0,5 = 2,9 \text{ хв}$$

Визначаємо штучний час за формулою (1.29):

де $\alpha_{обсл}$, $\alpha_{отд}$ – відсоток часу від оперативного обслуговування робочого місця, відпочинок і природні потреби, $\alpha_{обсл} + \alpha_{отд} = 8\%$ [6].

$$t_{шт} = 2,9 + \frac{8 \cdot 2,9}{100} = 3,1 \text{ хв}$$

Визначаємо штучно-калькуляційний час за формулою (1.30):

де $T_{п.з}$ – підготовчо-заклучний час, $T_{п.з}=25$ хв.

$$t_{шт-к} = 3,1 + \frac{25}{100} = 3,35 \text{ хв}$$

Таблиця 1.5 – 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
015 Токарна	01	1	2	0,2	150	500
	01	10	1	0,2	20	700
020 Токарна	01	1	2	0,2	150	500
	01	10	1	0,2	20	700
025 Токарна	01	0,5	2	0,1	150	500
	01	0,5	2	0,1	150	900
030 Токарна	0,1	0,5	2	0,1	169	400
	02	0,5	2	0,1	177	1200
035 Свердлильна	01	1,6	6	0,07	21,7	2200
	02	7,5	6	0,2	19	400
	03	6,5	6	0,3	17	200
040 Протяжна	01	2	1	0,05	5	
045 Зубофрезерна	01	5,5	3	50	25	500
070 Круглошліфувальна	01	0,1	1	0,0025	29/35	190/1670
	02	0,25	1	0,0025	29/35	190/1670
095 Зубошліфувальна	01	0,1	3	0,02	35/40	200/1500

Таблиця 1.6 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_0 , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{доп}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{п.з}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Токарна	15	1,2	1,62	17,82	30	18,12
020 Токарна	12	1,2	1,32	14,52	30	14,82
025 Токарна	8	1,2	0,92	10,12	30	10,42
030 Токарна	3,56	1,2	0,48	5,19	30	5,49
035 Свердлильна	7,9	1,1	0,90	9,70	25	9,95
040 Протяжна	2	0,8	0,28	3,08	20	3,28
045 Зубофрезерна	45	0,8	4,58	50,38	20	50,58
070 Круглошліфувальна	2,4	0,5	0,29	3,10	25	3,35
075 Зубошліфувальна	36	0,5	3,65	40,15	22	40,37

1.9 Розробка керуючої програми на свердлильну операцію з ЧПК

Для свердлильної операції №035 з ЧПК, на якій свердлять шість отворів, розробимо керуючу програму (КП) в програмі NX CAM. Для цього створено 3D-моделі деталі на даній операції (рис. 1.7).

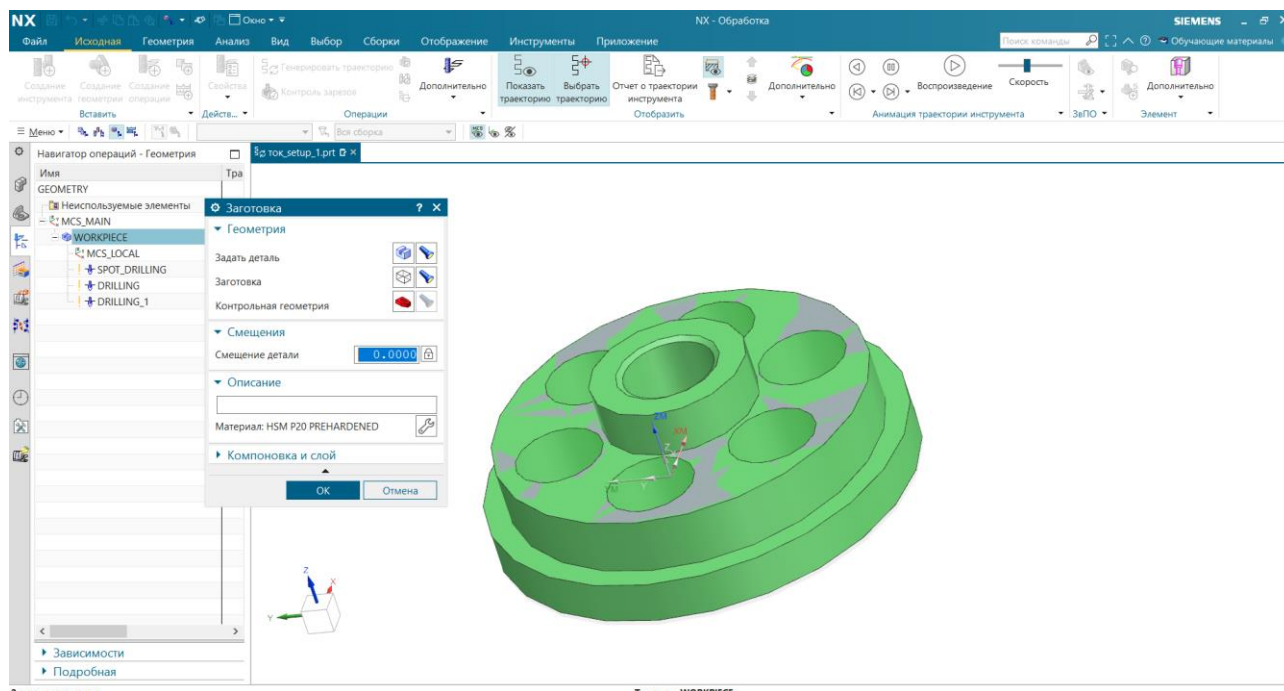


Рисунок 1.7 – Поєднання 3D-моделей

Створюємо необхідний інструмент (рис. 1.8): центральне свердло та спіральне свердло.

Створюємо три переходи свердлильної операції, зазначаємо необхідні параметри різання та умови обробки. Визначаємо положення системи координат та генеруємо траєкторію (рис. 1.9).

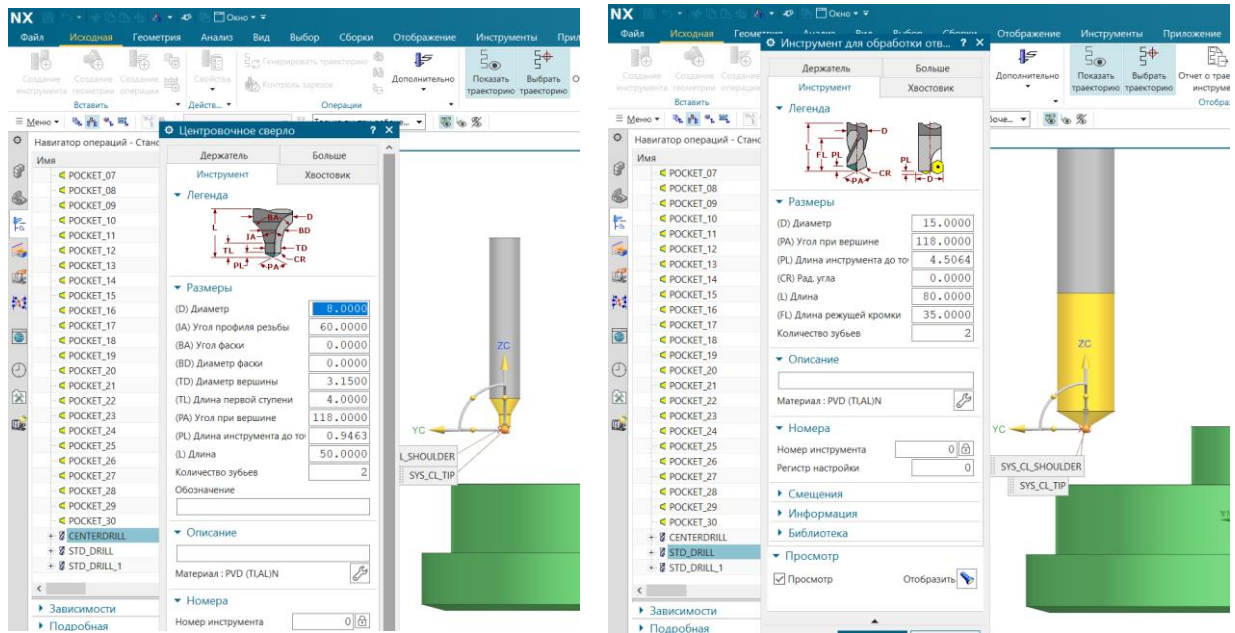


Рисунок 1.8 – Вибір параметрів фрези

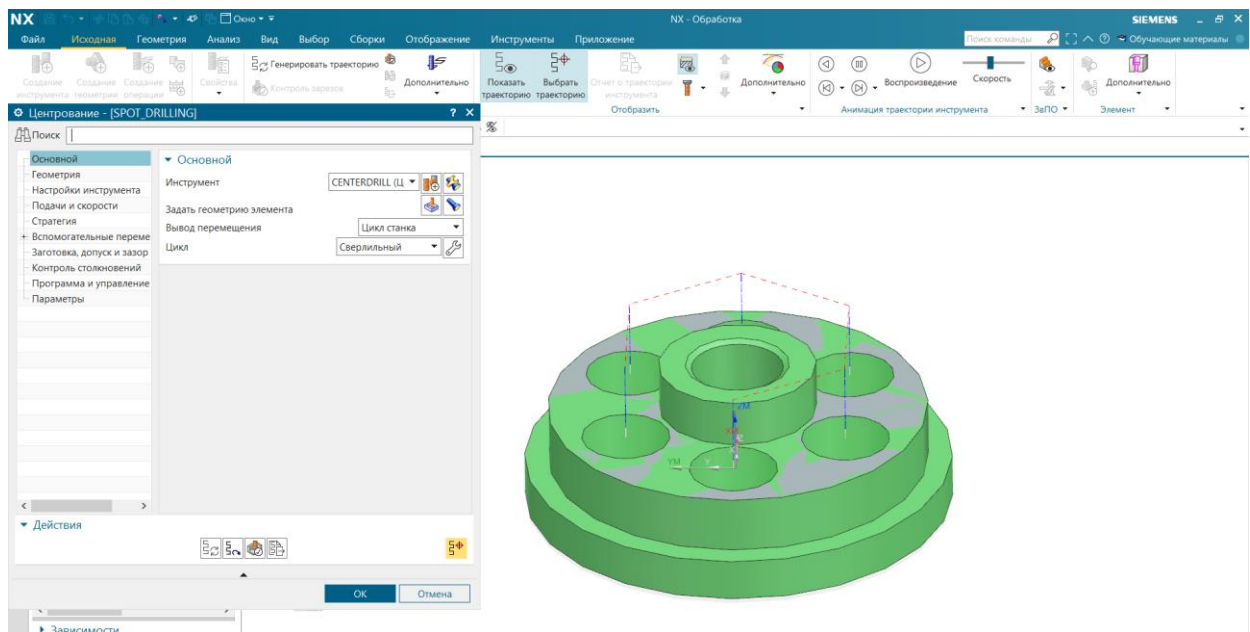


Рисунок 1.9 – Траекторія

Після перевірки траєкторій була проведена симуляція свердління (рис. 1.10).

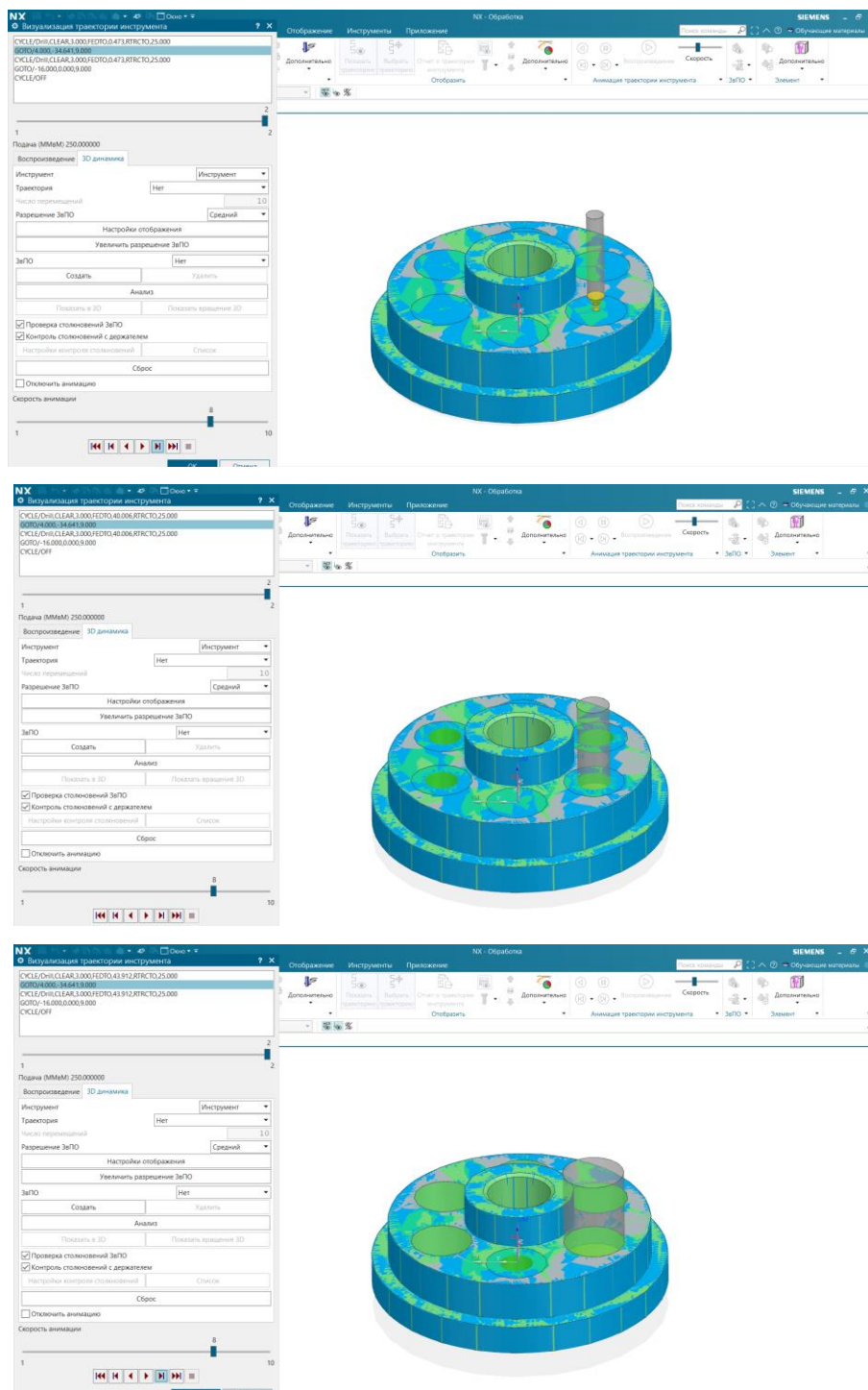


Рисунок 1.10 – Симуляція

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Зубофрезерне пристосування (рис. 2.1) призначено для фіксації деталі «Зубчасте колесо» під час зубофрезерування. Закріплення здійснюється шляхом встановлення деталі на оправку 2 діаметром 29 мм, при цьому вона впирається в торець. Потім на шток 12 встановлюється шайба 11. Після цього у пневмоциліндр подається стиснене повітря. Поршень 5 тягне шток 12, який притискає деталь. Після завершення обробки подача повітря припиняється, шток 12 піднімається під дією пружини 9.

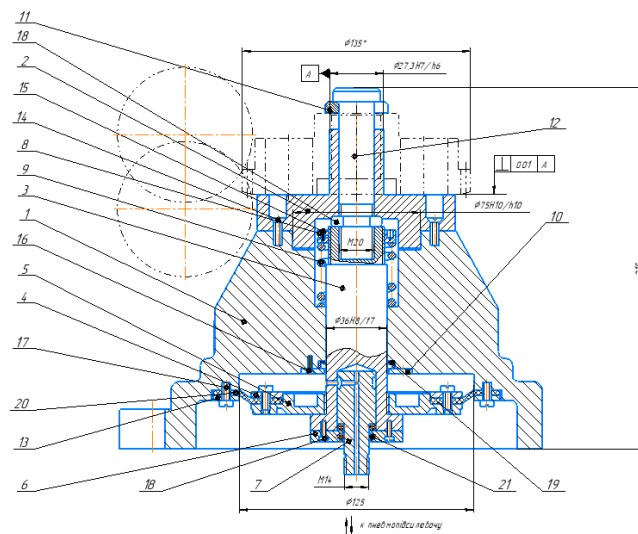


Рисунок 2.1 – Пристрій для зубофрезерування

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

Похибка встановлення виражає похибку положення заготовки і

розраховується за формулою [7]:

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

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

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

Деталь встановлюється по отвору $\text{Ø}29^{+0,13}$ (рис. 2.2).

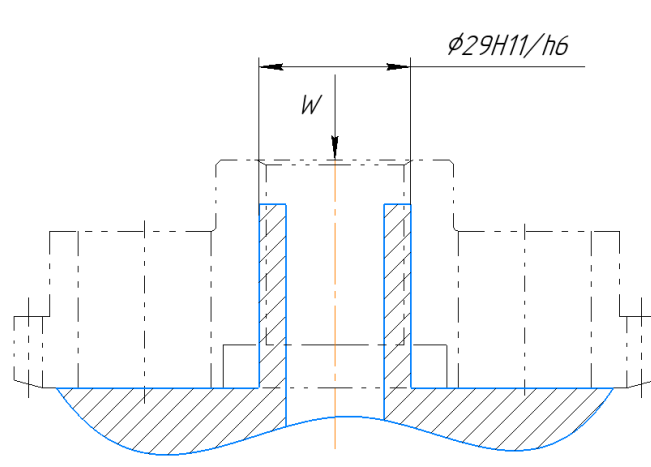


Рисунок 2.2 – Схема базування

Максимальний зазор у з'єднанні:

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (2.2)$$

де D_{max} , d_{min} – розміри з'єднання.

$$29,13 - 28,987 = 0,143 \text{ мм}$$

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}} / 2 \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,143 / 2 = 0,071 \text{ мм}$$

Похибку закріплення визначаємо залежно від напрямку сили закріплення.

Так як напрямок розміру обробки та сили закріплення взаємоперпендикулярні, то $\varepsilon_{\text{зак}}=0$.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,071^2 + 0} = 0,071 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність пристосування полягає у визначенні виконавчих розмірів та допусків на установчу шийку оправки верстатного пристосування.

Умова точності:

$$\frac{S_{\text{max}}}{2} \leq F \quad (2.4)$$

де F – допустиме биття, $F=0,1$ мм.

$$\frac{0,143}{2} = 0,071 \text{ мм} \leq 0,1 \text{ мм}$$

Базування при нарізуванні зубчастого колеса відповідає допустимому биттю.

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Згідно схеми базування (рис. 2.3) визначимо статичну сили затиску:

$$W_{\text{ст}} = \frac{3M_P(D_1^2 - d_2^2)}{f(D_4^3 - d_3^3)} \quad (2.5)$$

Силу різання визначимо згідно формули:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y B^n z_\phi}{D_\phi^q n^w} K_{mp}, \quad (2.6)$$

де x, y, q, w, n, C_p – значення коефіцієнтів сили різання [5];

K_{mp} – поправочний коефіцієнт оброблюемого матеріалу.

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_6}{750} \right)^{0,3}; \quad (2.7)$$

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

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 5,5^{0,86} \cdot 0,022^{0,72} \cdot 7,8^1 \cdot 12}{100^{0,86} \cdot 100^0} \cdot 0,95 = 320,5H$$

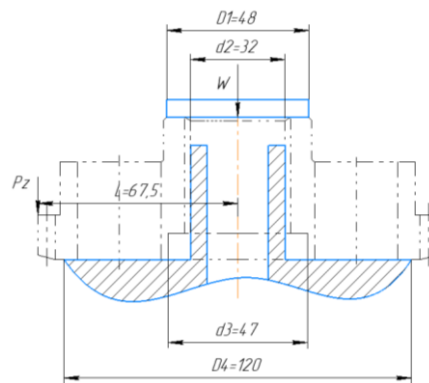


Рисунок 2.3 – Схема закріплення

Момент різання:

$$M_p = P_z \cdot l, \quad (2.8)$$

де l – плече прикладання сили.

$$M = 320,5 \cdot 0,0675 = 21,6 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Згідно формули (2.5) статична сила закріплення дорівнює:

$$W_{ст} = \frac{3 \cdot 21,6 \cdot (0,048^2 - 0,032^2)}{0,15 \cdot (0,120^3 - 0,047^3)} = 285,1H$$

Сила на штоці розраховується згідно формули:

$$Q = k \cdot W_{\text{ст}} \quad (2.9)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення;

$$k = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (2.10)$$

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $K_0 = 0,5$ [7];

K_1 – враховує зміни (коливання) сил різання у процесі обробки через нерівномірність припусків, $K_1 = 1,2$ [7];

K_3 – коефіцієнт залежить від виду обробки, оброблювального матеріалу, $K_3 = 1$ [7];

K_4 – характеризує затискний пристрій з погляду постійності сил затиску, $K_4 = 1$ [7];

K_5 – характеризує затискачі з погляду зручності закріплення деталі, $K_5 = 1$ [7];

K_6 – враховується, коли розрахунок сил затиску здійснюється з урахуванням моментів різання і від виду опорної поверхні, $K_6 = 1$ [7].

$$K = 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,16;$$

$$Q = 285,1 \cdot 2,16 = 685,8 \text{ Н.}$$

Мінімальний діаметр штока:

$$d = \sqrt{\frac{4\alpha Q}{\pi[\sigma]}} \quad (2.11)$$

де $[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг, $[\sigma] = 100 \text{ МПа}$;

p – тиск повітря, $p = 0,4 \dots 0,6 \text{ МПа}$ [7];

α – коефіцієнт затяжки, $\alpha = 2,25$ [7].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 685,8}{3,14 \cdot 100}} = 4,4 \text{ мм}$$

Приймаємо 36 мм.

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{p\eta\pi} + d^2} \quad (2.12)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя, $\eta = 0,85 \dots 0,9$ [7].

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 685,8}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,9} + 36^2} = 106,9 \text{ мм}$$

Приймаємо згідно з ГОСТ 15608-81 найближче більше значення діаметра поршня 125 мм і штока 36 мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування для контролю биття 0,05 мм (рис. 2.4) зовнішньої циліндричної поверхні. Воно складається з корпусу 5, на якому встановлені два центри 1 та 2. Деталь встановлюється в центри через спеціальну оправку. Вимірювання биття здійснюється за допомогою індикаторного годинника, закріпленого на штанзі. При вимірюванні ніжка індикаторного годинника встановлюється на контрольований діаметр, деталь прокручується та вимірюється биття.

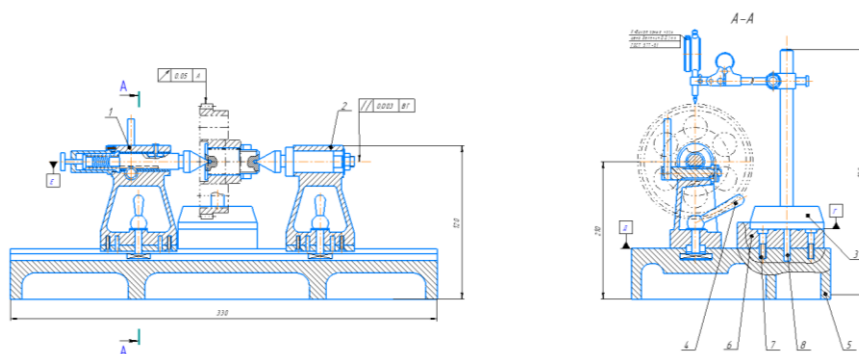


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

2.3 Розрахунок на міцність зубчастого колеса

Аналіз міцності зубчастого колеса здійснюватиметься, виходячи з максимальних навантажень, що виникають у критичному перерізі. Оцінку надійності деталі проведемо шляхом зіставлення розрахованого коефіцієнта запасу міцності.

Величина коефіцієнта запасу міцності розраховується за такою формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} = 1,5 \dots 3 \quad (2.13)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності сталі 30ХГСА, $[\sigma]=830$ МПа [1];

σ_{max} – максимальне напруження, яке виникає в деталі.

У процесі роботи зубчасте колесо зазнає згинальних навантажень, спричинених дією сил у зоні зачеплення зубців. Окрім цього, передача крутного моменту через шліци призводить до виникнення крутильних навантажень. Найбільш вразливими елементами конструкції є шліцеві з'єднання та зубчасті елементи. Для аналізу напружено-деформованого стану використовується програмний модуль NX САМ.

Було створено 3D-модель зубчастого колеса в програмі NX CAD (рис. 2.5). Далі 3D-модель було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 2.6).

Оскільки під час роботи в зачепленні постійно знаходиться лише один зубець, до нього прикладаються сили: радіальна – 750 Н та колова – 2550 Н. У той же час шпонковий паз, який служить для передачі обертового моменту, фіксується нерухомо (рис. 2.7).

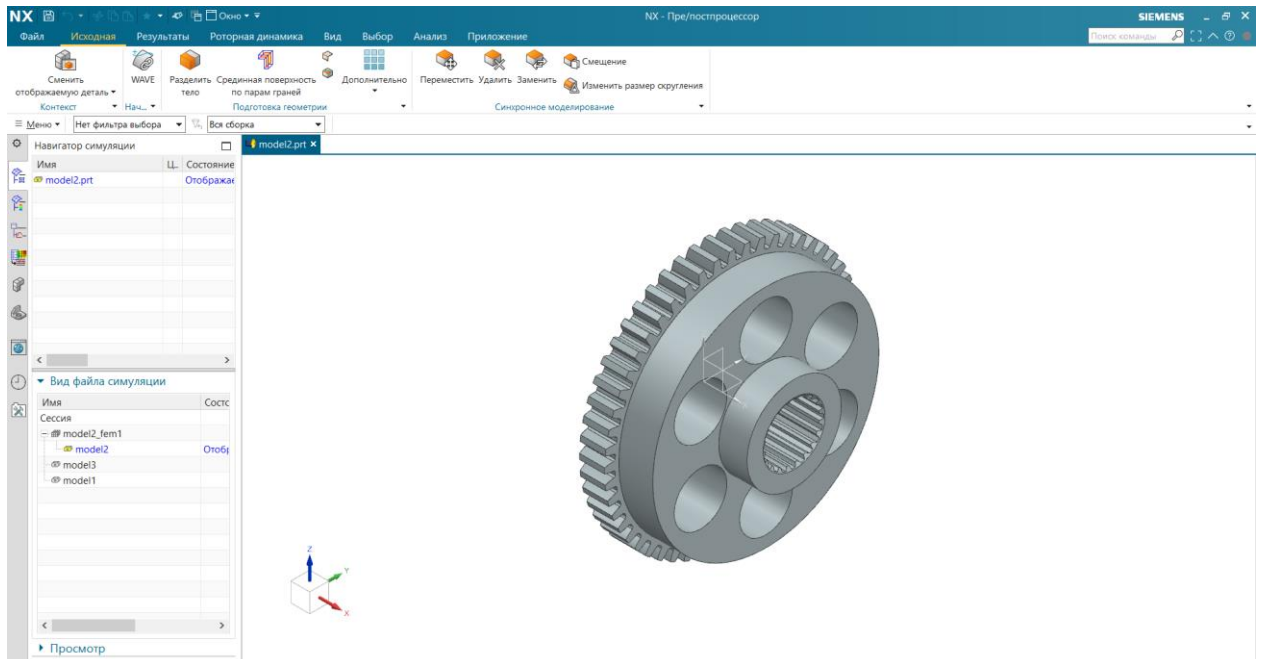


Рисунок 2.5 – 3D-модель для розрахунку

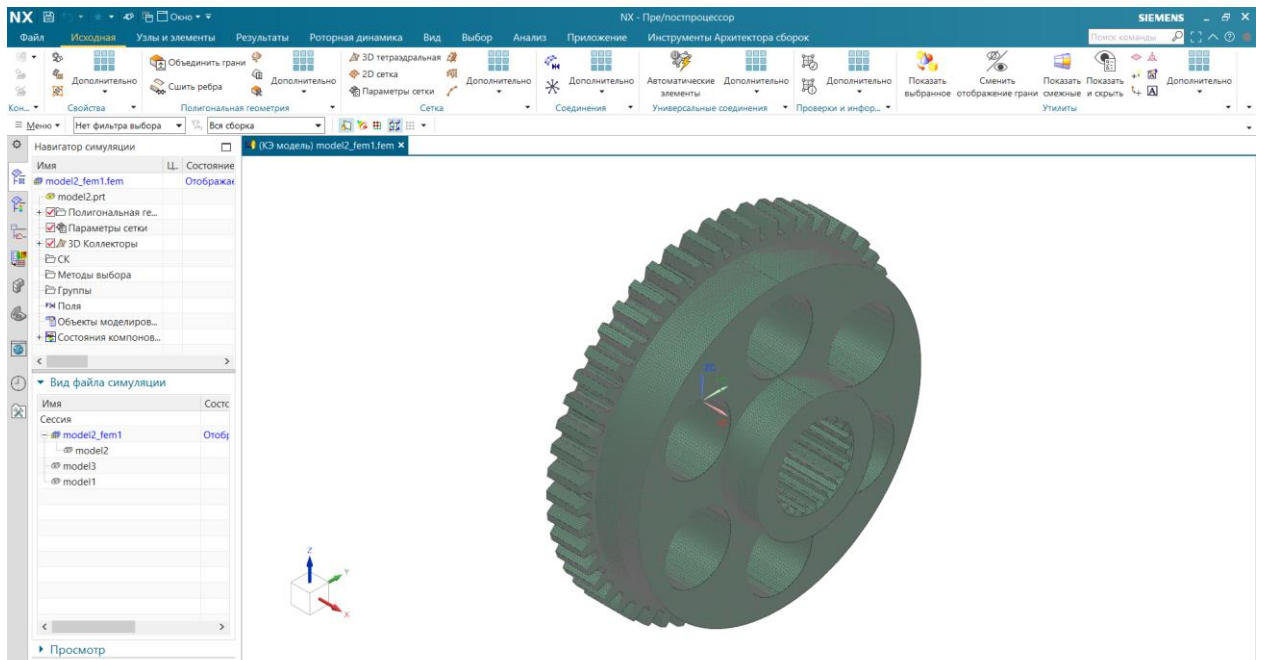


Рисунок 2.6 – 3D-модель, розбита на сітку

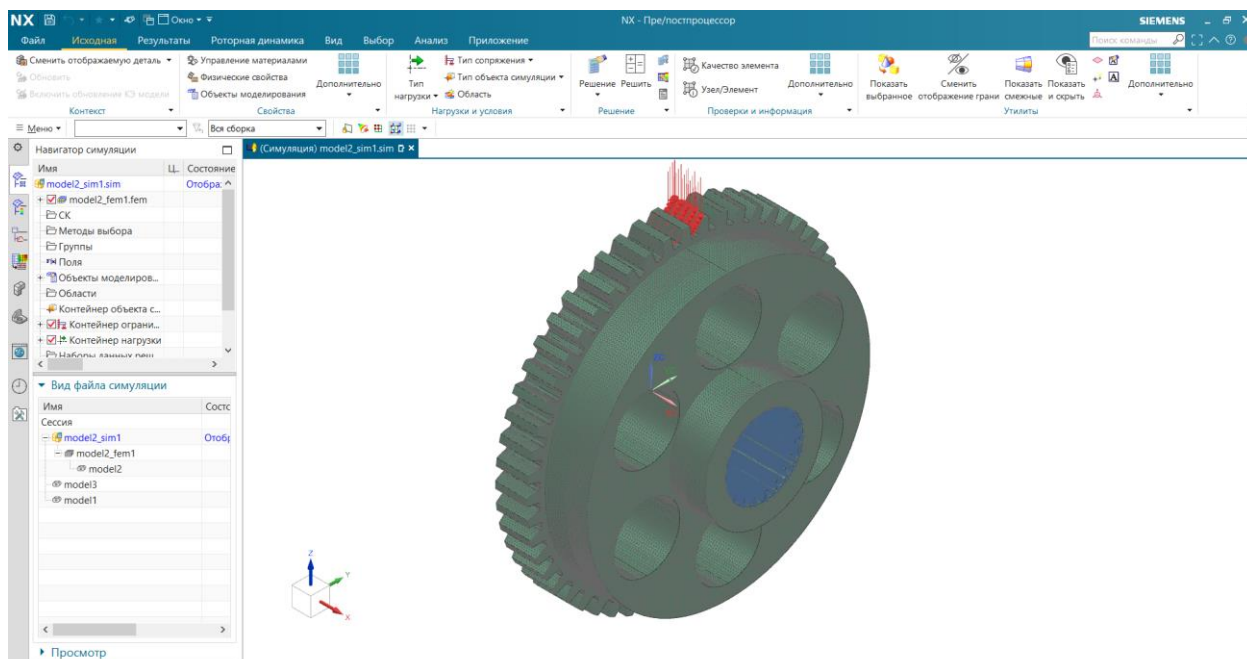


Рисунок 2.7 – 3D-модель з силами

Після проведення розрахунку напружено-деформованого стану отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.8).

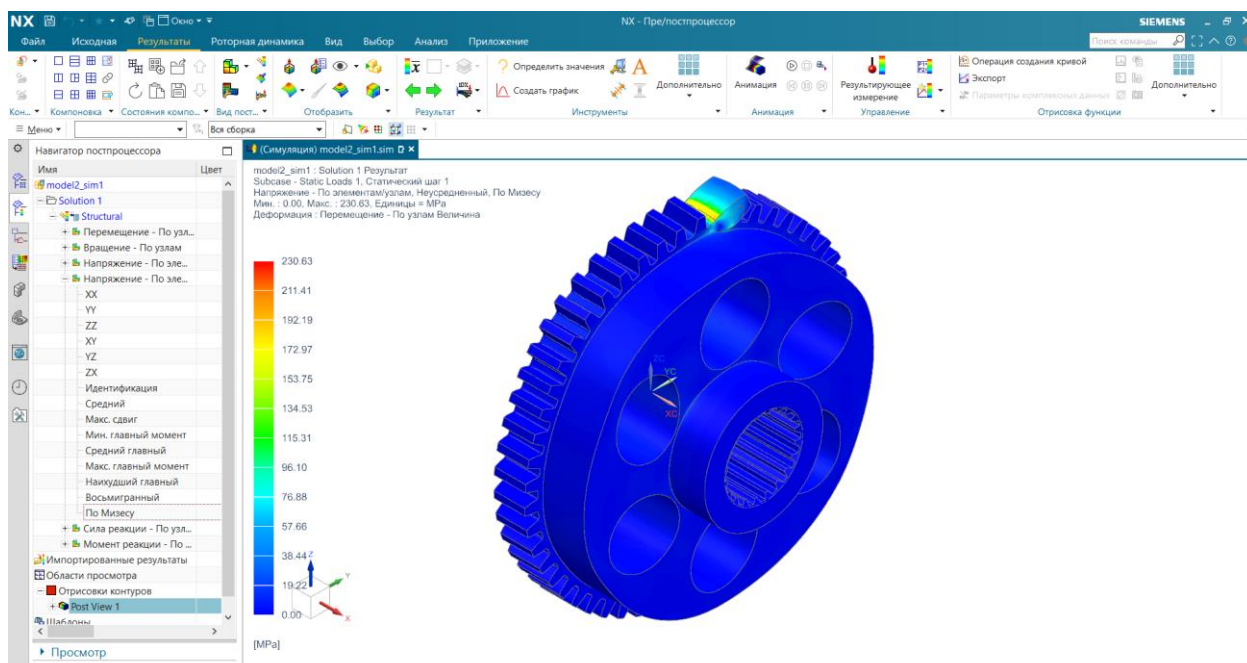


Рисунок 2.8 – Розподіл напружень

Максимальне значення напружень знаходиться у нізці зубців 230,63 МПа. Згідно формули (2.13) розрахуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{830}{230,63} = 3,6$$

Результати розрахунку виявили більше ніж в 3 рази запас міцності зубчастого колеса.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

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

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

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

Річна верстатоемність розраховуємо для кожної операції за формулою:

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

Результати розрахунку за формулою (3.1) приведено в табл. 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:

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

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

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

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

$$\overline{K_3} = \frac{3,26}{9} = 0,36$$

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку

Номер операції	Модель верстата	$t_{ш-к}$, хв	T, хв	S_p , шт	S_n , шт	K_3
015	СКЕ 6163	18,12	90600	0,38	1	0,38
020	СКЕ 6163	14,82	74100	0,31	1	0,31
025	СКЕ 6163	10,42	52100	0,22	1	0,22
030	СКЕ 6163	5,49	27450	0,11	1	0,11
035	MAST MM855 S24	9,95	49750	0,21	1	0,21
040	7HBM20	3,28	16400	0,07	1	0,07
045	Y31125E	50,58	252900	1,05	1	1,05
070	Bernardo URS500N	3,35	16750	0,07	1	0,07
075	Карт КХ 1	40,37	201850	0,84	1	0,84

Розрахована кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей дорівнює $O=9$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів (операції 015...030). Токарній операції №15 відповідає максимальний основний час токарної групи – 15 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;

$t_{\text{пер}}=0,15$ хв – час на перехід від верстата до верстата.

$$m_s = \frac{15 + 1,2}{1,65 + 0,15} = 9$$

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 9 верстатів необхідно $M=6$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

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

$$K_{30} = \frac{9}{6} = 1,5$$

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

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При розробці технологічного процесу виготовлення деталі «Зубчасте колесо» було запропоновано використати замість обробки на універсальних токарно-гвинторізних верстатах обробку на токарних верстатах з ЧПК згідно таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Перша технологія						Друга технологія			
	1К62Д	1К62Д	1К62Д	1К62Д	1К62Д	1К62Д	СКЕ 6163	СКЕ 6163	СКЕ 6163	СКЕ 6163
Модель верстата										
Штучний час $t_{шт}$, хв	27,5	26,3	15,8	18,3	8,4	5,3	18,12	14,82	10,42	5,49
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	247800						2862281			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань H_a , %	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11,5	11	11	11	11

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [8]:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_6 \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (4.1)$$

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_{ϕ} – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERSTATному обслуговуванні, $K_{\phi}=0,39$;

$k_{доп}$ – 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	27,5	76,6	1,2	1,4	58,98
015	Токарна	26,3	76,6	1,2	1,4	56,41
020	Токарна	15,8	76,6	1,2	1,4	33,89
025	Токарна	18,3	76,6	1,2	1,4	39,25
030	Токарна	8,4	76,6	1,2	1,4	18,02
035	Токарна	5,3	76,6	1,2	1,4	11,37
					Σ	217,91

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
015	Токарна	18,12	57,5	1,2	1,4	29,17
020	Токарна	14,82	57,5	1,2	1,4	23,86
025	Токарна	10,42	57,5	1,2	1,4	16,78
030	Токарна	5,49	57,5	1,2	1,4	8,84
					Σ	78,65

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [8]:

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

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

Ч_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	Ч_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 [8]:

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

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 [8]:

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

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 $t_{маш}/t_{ум}$;

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

$n_{ин}$ – 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	27,5	247800	12,2	4015	3,45
015	Токарна	26,3	247800	12,2	4015	3,30
020	Токарна	15,8	247800	12,2	4015	1,98
025	Токарна	18,3	247800	12,2	4015	2,30
030	Токарна	8,4	247800	12,2	4015	1,05
035	Токарна	5,3	247800	12,2	4015	0,67
					Σ	12,75

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	18,12	2862281	12,2	4015	26,27
020	Токарна	14,82	2862281	12,2	4015	21,48
025	Токарна	10,42	2862281	12,2	4015	15,10
030	Токарна	5,49	2862281	12,2	4015	7,96
					Σ	70,81

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	27,5	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	3,01
015	Токарна	26,3	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	2,88
020	Токарна	15,8	Різець розточ.	350	2	80	15	0,4	1,73
025	Токарна	18,3	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	2,00
030	Токарна	8,4	Різець розт.	350	2	80	15	0,4	0,92
030	Токарна	5,3	Різець підріз.	350	2	80	15	0,4	0,58
								Σ	11,11

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	18,12	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	1,09
			Свердло	150	2	80	15	0,4	0,38
025	Токарна	14,82	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	1,09
			Свердло	150	2	80	15	0,4	0,19
030	Токарна	10,42	Різець прохід.	350	2	80	15	0,4	0,55
			Різець розточ.	250	2	80	15	0,4	0,39
035	Токарна	5,49	Різець прохід.	300	2	60	15	0,4	0,63
			Різець розточ.	350	2	80	15	0,4	1,09
								Σ	4,32

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [8]:

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

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_c – 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_c	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
010	Токарна	27,5	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,71
015	Токарна	26,3	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	5,46
020	Токарна	15,8	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,28
025	Токарна	18,3	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,80
030	Токарна	8,4	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,75
035	Токарна	5,3	3,45	11,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,10
										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_c	$k_{од}$	k_w	η_e	k_B	S_e , грн
020	Токарна	18,12	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	8,86
025	Токарна	14,82	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	7,25
030	Токарна	10,42	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	5,10
035	Токарна	5,49	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,68
										Σ	23,89

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [8]:

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

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	247800	0,02	0,64	0,63
015	Токарна	247800	0,02	0,64	0,63
020	Токарна	247800	0,02	0,64	0,63
025	Токарна	247800	0,02	0,64	0,63
030	Токарна	247800	0,02	0,64	0,63
035	Токарна	247800	0,02	0,64	0,63
				Σ	9,52

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	2862281	0,02	0,64	7,33
025	Токарна	2862281	0,02	0,64	7,33
030	Токарна	2862281	0,02	0,64	7,33
035	Токарна	2862281	0,02	0,64	7,33
				Σ	29,31

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [8]:

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

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

$C_{\text{ГН}}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{\text{ін}} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{\text{ін}} = 5$ 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	$C_{\text{ГН}}$, грн/год	n_i	$t_{\text{ін}}$, хв	K_T	T_M	m	S_H , грн
020	Токарна	Різець прохід	18,12	50,9	6	4	0,9	120	2	0,17
		свердло		50,9	6	1	0,9	60	1	0,13
025	Токарна	Різець прохід	14,82	50,9	6	4	0,9	120	2	0,17
		свердло		50,9	6	1	0,9	60	1	0,08
030	Токарна	Різець прохід.	10,42	50,9	6	4	0,9	120	2	0,08
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,09
035	Токарна	Різець прохід.	5,49	50,9	6	4	0,9	120	2	0,03
		Різець розт.		50,9	6	4	0,9	120	2	0,06
									Σ	0,81

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [8]:

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

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

$$I_{H1} = 217,91 \cdot 0,2 = 43,58 \text{ грн}$$

$$I_{H2} = 78,65 \cdot 0,2 = 15,73 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [10]:

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

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

Таблиця 4.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Заробітна плата верстатника	Z_o	217,91	78,73
Заробітна плата наладчика	Z_H		40,64
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	12,75	70,81
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	11,11	4,32
Витрати на електроенергію	S_e	21,11	23,89
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	3,81	29,31
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_H		0,81
Витрати інші	I_H	43,58	15,73
Технологічна собівартість	C_T	310,27	264,24

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [8]:

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

$$E_{yp} = (310,27 - 264,24) \cdot 5000 = 230150 \text{ грн}$$

Таким чином, річна економія від впровадження другого ТП за статтею собівартість може становити 230150 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 табл. 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	27,5	247800	4015	28,29
015	Токарна	26,3	247800	4015	27,05
020	Токарна	15,8	247800	4015	16,25
025	Токарна	18,3	247800	4015	18,82
030	Токарна	8,4	247800	4015	8,64
035	Токарна	5,3	247800	4015	5,45
		Σ	1239000	Σ	104,51

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	18,12	2862281	4015	215,29
020	Токарна	14,82	2862281	4015	176,09
025	Токарна	10,42	2862281	4015	123,81
030	Токарна	5,49	2862281	4015	65,23
		Σ	11449124	Σ	580,42

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 табл. 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	310,27	264,24
Капітальні витрати на деталь	K_o	104,51	580,42
Наведені витрати на деталь	W_o	414,78	875,92
Собівартість річної програми	C_p	1239000	11449124
Капітальні витрати на програму	$K_{\text{оріч}}$	522550	2902100
Наведені витрати на програму	$W_{\text{річ}}$	2073900	4379600
Річна економія (збиток), грн	ΔW	-2149400	

Аналіз табл. 4.17 показує, що більш вигідний перший варіант ТП.

Розрахуємо критичний обсяг виробництва, при якому наведені витрати за варіантами рівні за формулою:

$$N_{\text{кр}} = \frac{(C_{2\text{пост}} - C_{1\text{пост}}) + 0,15 \cdot (K_2 - K_1)}{C_{13\text{м}} - C_{23\text{м}}} \quad (4.13)$$

де $N_{\text{кр}}$ – критичний обсяг діяльності;

$C_{1\text{пост}}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

$C_{2\text{пост}}$ - умовно-постійні витрати на річний обсяг виробництва;

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності;

K_1 – капітальні витрати за першим варіантом;

K_2 – капітальні витрати за другим варіантом;

$C_{1зм}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за першим варіантом;

$C_{2зм}$ - умовно-змінні витрати на 1 деталь за другим варіантом.

$$N_{кр} = \frac{(11449124 - 1239000) + 0,15 \cdot (580,42 - 104,51)}{310,27 - 264,24} = 221816,1 \text{ шт}$$

Таким чином, якщо програма випуску менше $N_{кр}$, то більш вигідний базовий варіант ТП. Якщо більше – 221816,1 шт, то більш вигідний новий варіант ТП.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності працівників у процесі трудової діяльності. У процесі виготовлення деталі «Зубчасте колесо» важливо забезпечити безпечні умови праці на всіх етапах технологічного процесу.

Виготовлення зубчастого колеса передбачає виконання токарних, фрезерних, шліфувальних та інших операцій. Основні небезпеки:

- 1) обертальні частини обладнання (токарні та фрезерні верстати);
- 2) підвищений рівень шуму та вібрацій;
- 3) металеві стружки, які можуть викликати травмування;
- 4) високий рівень запиленості повітря при шліфуванні.

Рівень освітлення має відповідати вимогам ДБН В.2.5-28-2006. На робочих місцях слід дотримуватися температурного режиму, передбаченого ДСанПіН 3.3.6.042-99.

Працівники повинні бути забезпечені:

- 1) захисними окулярами для захисту очей від стружки;
- 2) робочими рукавицями;
- 3) спецодягом;
- 4) засобами захисту органів слуху при роботі з шумними агрегатами;
- 5) респіраторами при виконанні шліфувальних робіт.

У виробничому приміщенні мають бути передбачені:

- 1) вогнегасники відповідно до вимог ДСТУ 4297:2004;
- 2) плани евакуації у разі пожежі;
- 3) пожежна сигналізація;
- 4) навчання персоналу діям при виникненні пожежі.

Все обладнання повинно мати справне заземлення. Роботи з електрообладнанням мають виконуватись тільки кваліфікованим персоналом з відповідною групою допуску. Проводка повинна відповідати вимогам ПУЕ (Правила улаштування електроустановок).

Перед початком роботи всі працівники повинні пройти:

- 1) вступний інструктаж;
- 2) первинний інструктаж на робочому місці;
- 3) періодичні перевірки знань з охорони праці.

Також необхідно забезпечити регулярні медичні огляди для персоналу, задіяного у фізично складних або шкідливих умовах праці.

ВИСНОВКИ

Було розроблено технологічний процес виготовлення деталі «Зубчасте колесо». Було економічно обґрунтовано отримання заготовки штампуванням на КГШП, розраховано масу заготовки 4,6 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,43. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням на КГШП становив 22650 грн.

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

Для операції свердління шести отворів була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX CAM.

Було спроектовано пристосування для фрезерування зубців. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний пневмоциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю радіального биття зовнішньої циліндричної поверхні.

Розроблено планування дільниці з виробництва деталі «Зубчасте колесо». Було визначено кількість технологічного обладнання – 9 верстатів, чисельність основних виробничих робітників – 6 чоловік.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь 30ХГСА URL: <https://metinvestholding.com/ua/products/steel-grades/30khgsa>. (дата звернення: 11.05.2025).
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. 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.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
6. Справочник нормировщика машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.
7. Богуслаєв В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаєв, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Січ», 2000. – 430 с.
8. 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 293426.006	Складальне креслення			
	Справ. №				<u>Детали</u>		
			1		Корпус	1	
			2		Оправка	1	
			3		Шток	1	
			4		Кільце	1	
			5		Поршень	1	
			6		Кришка	1	
			7		Штуцер	1	
			8		Гайка	1	
			9		Пружина	1	
			10		Кришка	1	
		11		Шайба різзна	1		
		12		Шток	1		
	13		Кришка	1			
Взам. инв. №				<u>Стандартные изделия</u>			
Подп. и дата		14		Гвинт М5х15 ГОСТ 174.75-80	5		
		15		Гвинт М3х5 ГОСТ 174.75-80	1		
НУЗП 293426.006							
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
	Разраб.	Мобчан				Лист	
	Проб.	Тришин				1	
	Нконтр.	Дядя				Листов	
Утв.	Дядя					2	
				Пристосування для зубофрезерування		НУЗП М-112сп	

ДОДАТОК Б
Технологічні карти

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

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

НУЗП 0214.1.25006 1 1

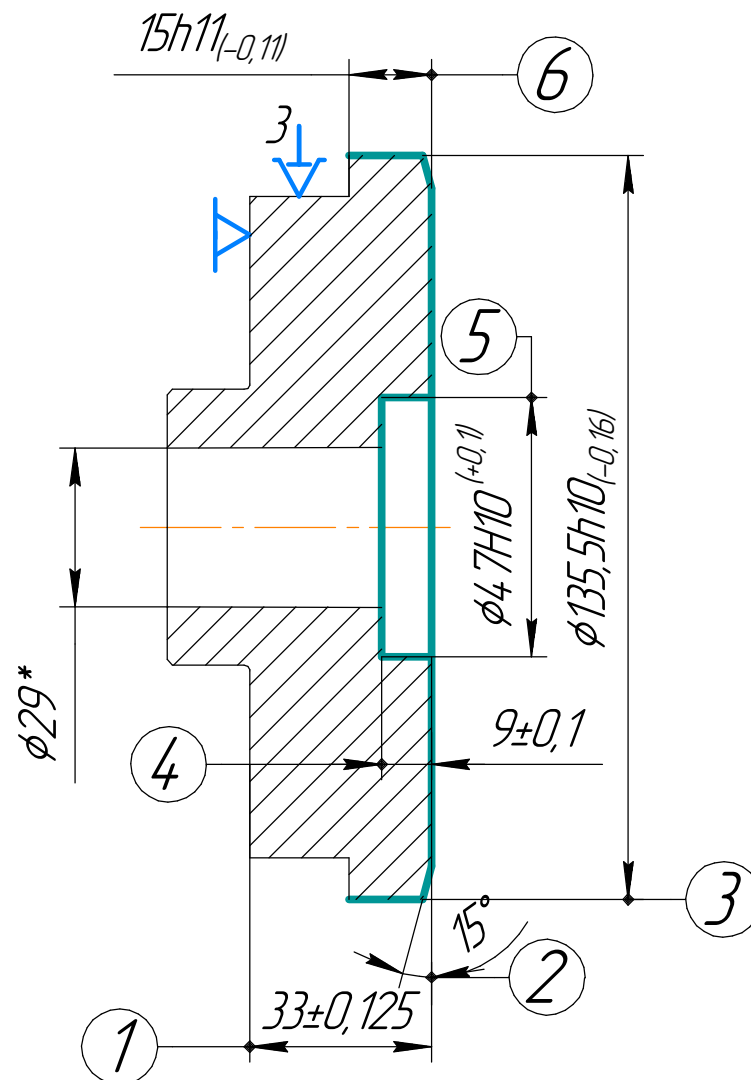
Розроб.	Мовчан		
Перевір.	Тришин		
Н. контр.	Дядя		

НУЗП НУЗП 721322.006

М-112сп.2014.1.00030

Зубчасте колесо

030



* Розмір для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підл.			

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

НУЗП 0214.125006

Листів 1

Лист 1

Розроб.	Мавчан			НУЗП	НУЗП 721322.006			М-112сп.6014.1.00030				
Перевір.	Тришин											
Н.контр.	Дядя											030

Зубчасте колесо

Найменування операції		Матеріал		Твердість		ОВ	МД	Проф. і розм.		МЗ	КВЗ
Токарна з ЧПК		Сталь 30ХГСА ГОСТ 4543-71		180...220 НВ		к2	2			4,6	0,43
Устаткування, пристрій ЧПК		Позначення програми		То	Тдоп	Тп.з.	Тш-к	30ТС			
Токарний з ЧПК СКЕ 6163		-		3,56	1,25	30	5,49	5% емульсія "Українол-1" ТУ-38-101197-76			

Р		П	Д,В	L	t	i	S	п	V
0 01	1. Встановити та закріпити деталь								$t_{вст}=0,25 \times \delta$
Т 02	ПР Патрон трьохкулачковий 7100-0009 ГОСТ 2675-80								
03									
0 04	2. Точити поверхні витримуючи розміри 1, 2, 3								
Т 05	ВИ Інструментальний блок								
06	РИ Різець підрізний 2112-0006 Т15К6 ГОСТ 18880-73								
07	СИ Калібр-скода спеціальна $\phi 135,5h10$, шаблон спеціальний.								
Р 08		01	135,5	60	0,5	2	0,1	400	169
09									
0 10	3. Розточити отвір витримуючи розмір 4, 5.								
Т 11	ВИ Інструментальний блок								
12	РИ Різець розточний 2141-0006 Т15К6 ГОСТ 18883-73								
13	СИ Калібр-пробка 8140-0960/002 $\phi 4.7H10$ ГОСТ 14.810-69								
Р 14		02	47	18	0,5	2	0,1	1200	177
0 15	4. Зняти деталь								$t_{зн}=0,25 \times \delta$

ОК

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

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

НУЗП 0214.1.25006 1 1

Розроб.	Мовчан		
Перевір.	Тришин		
Н. контр.	Дядя		

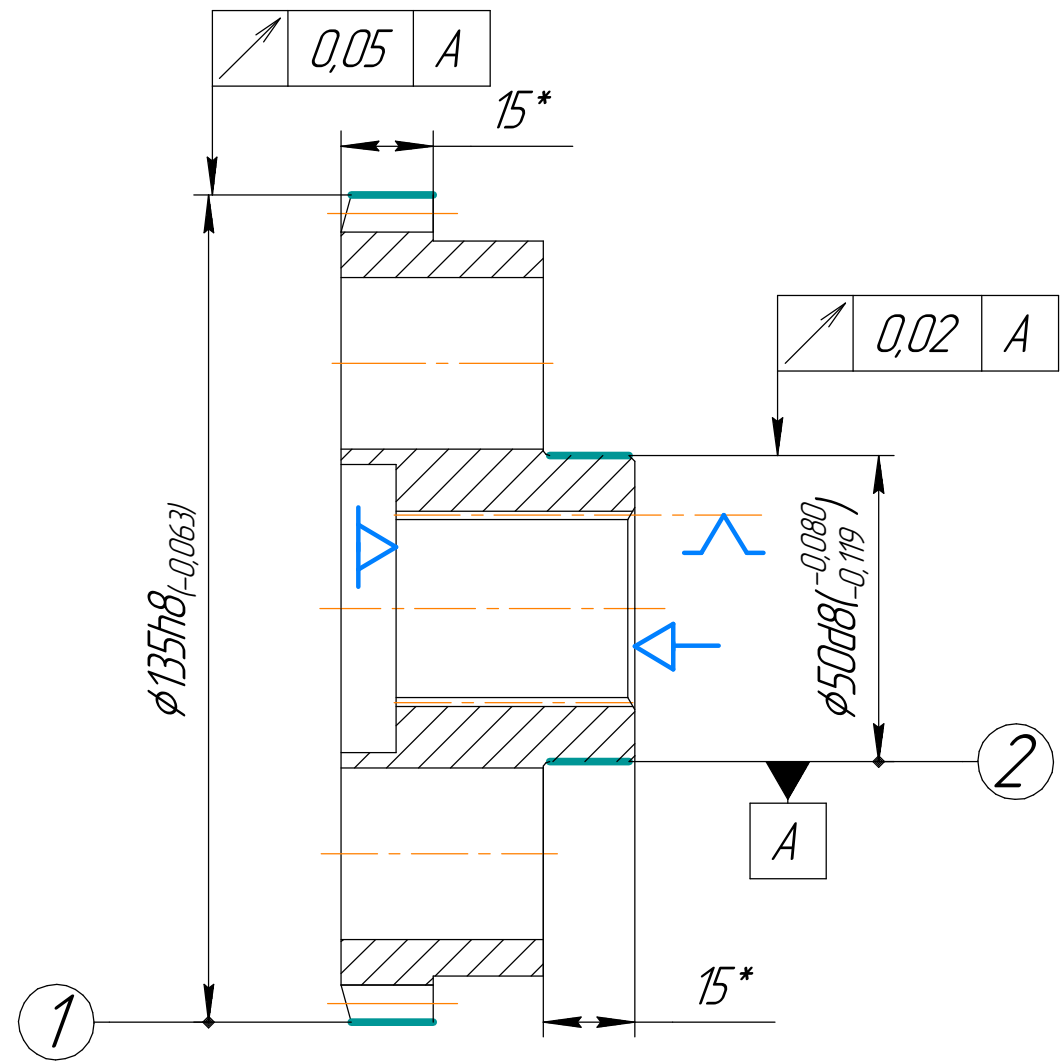
НУЗП НУЗП 721322.006

М-112сп.2014.1.00070

Зубчасте колесо

070

$\sqrt{Ra1,6}$



* Розмір для довідок

