

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

перший (бакалаврський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розроблення технологічного процесу виготовлення центрального
зубчастого колеса мастильної системи авіадвигуна»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи М-113сп

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

САВОСТЬЯНОВ М.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ГОНЧАР Н.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ШИРОКОБОКОВ В.В.

(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

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

САВОСТЬЯНОВ Микита Юрійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення центрального зубчастого колеса мастильної системи авіадвигуна

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ГОНЧАР Наталя Вікторівна
 (науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «12» травня 2026 року №233

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; 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 заходів; 5. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів)

Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; креслення робочого пристосування; плакат розрахунку деталі на міцність. Кількість слайдів - 10

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	ГОНЧАР Н.В., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 01.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Технологічна частина</i>	11.05.2026	
2	<i>Розрахунок режимів різання</i>	13.05.2026	
3	<i>Розробка керуючої програми</i>	15.05.2026	
4	<i>Розрахунок на міцність</i>	18.05.2026	
5	<i>Конструкторська частина</i>	20.05.2026	
6	<i>Оцінка очікуваної економічної ефективності</i>	22.05.2026	
7	<i>Охорона праці</i>	25.05.2026	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	27.05.2026	
9	<i>Нормоконтроль і рецензія</i>	29.05.2026	
10	<i>Захист дипломного проекту</i>	02.06.2026	

Студент

_____ (підпис)

Микита САВОСТЬЯНОВ
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Наталя ГОНЧАР
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 83 с., 18 рис., 27 табл., 1 додаток, 10 джерел.

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

Об'єкт дослідження – зубчасте колесо.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення центрального зубчастого колеса мастильної системи авіадвигуна

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення центрального зубчастого колеса, розраховано режими різання, норми часу, розроблено керуючу програму для 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 позначки	7
Вступ.....	7
1 Технологічна частина	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	10
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	12
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	12
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі	15
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	15
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	16
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	19
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	19
1.6 Розрахунок режимів різання	25
1.6.1 Операція 015 – токарна з ЧПК.....	25
1.6.2 Операція 045 – свердлильна.....	28
1.6.3 Операція 080 – шліфувальна.....	31
1.7 Технічне нормування операцій.....	35
1.7.1 Технічне нормування токарної операції 015	35
1.7.2 Технічне нормування свердлильної операції 045.....	35
1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 080.....	38
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК	40
2 Конструкторська частина	43
2.1 Проектування свердлильного пристосування.....	43
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	43
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	44
2.1.3 Визначення необхідної 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	50
3 Розробка планування ділянки	53
4 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки	55
5 Охорона праці	66
Висновки	69
Перелік джерел посилання	70
Додаток А. Технологічні карти.....	72

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Сучасне авіадвигунобудування є однією з найбільш наукоємних і технологічно складних галузей машинобудування, де до надійності, довговічності та точності виготовлення деталей висуваються підвищені вимоги. Безперебійна робота авіаційного двигуна значною мірою визначається ефективністю функціонування його допоміжних систем, зокрема мастильної системи, яка забезпечує зменшення тертя, відведення тепла та захист вузлів від зношування. Одним із ключових елементів цієї системи є зубчасті передачі, що забезпечують передавання крутного моменту до насосів та інших агрегатів.

Центральне зубчасте колесо мастильної системи виконує відповідальну функцію передачі руху від шліцевого вала до ведучої шестерні. В умовах високих швидкостей обертання, змінних навантажень і підвищених вимог до ресурсу роботи деталей повинна мати високу точність профілю зубців, зносостійкість та достатню контактну і вигинну міцність. Це обумовлює необхідність застосування високоякісних легованих сталей, таких як 16ХЗНВФМБ-Ш, а також використання ефективних методів хіміко-термічної обробки, зокрема цементації.

Розробка технологічного процесу виготовлення зубчастих коліс є складною інженерною задачею, яка включає вибір заготовки, визначення раціональних припусків, вибір методів обробки та обладнання, розрахунок режимів різання, проектування технологічного оснащення, а також забезпечення необхідної точності та якості поверхонь. Особливу увагу приділяють також питанням технічного нормування, автоматизації виробництва та забезпечення безпечних умов праці.

Метою даної дипломної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення центрального зубчастого колеса мастильної системи авіаційного двигуна, що забезпечує задані експлуатаційні характеристики деталі при мінімальних витратах виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні завдання:

- проаналізувати конструкцію та службове призначення деталі;
- обґрунтувати вибір матеріалу та виду заготовки;
- розробити маршрутний і операційний технологічний процес;
- визначити припуски та режими різання;
- виконати розрахунок технічного нормування;
- спроектувати технологічне оснащення;
- розробити керуючу програму для верстатів з ЧПК;
- розглянути питання охорони праці та безпеки виробництва.

Актуальність роботи полягає у необхідності підвищення ефективності виробництва відповідальних деталей авіаційної техніки за рахунок оптимізації технологічних процесів, впровадження сучасного обладнання та забезпечення високої якості виготовлення виробів.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Центральне зубчасте колесо (рис. 1.1) мастильної системи авіаційного двигуна є відповідальною деталлю трансмісійного вузла, призначеною для передавання крутного моменту між елементами приводу насосів та допоміжних агрегатів. Деталь працює в умовах змінних навантажень, підвищених швидкостей обертання та обмеженого змащування, що висуває підвищені вимоги до її міцності, зносостійкості та точності виготовлення.

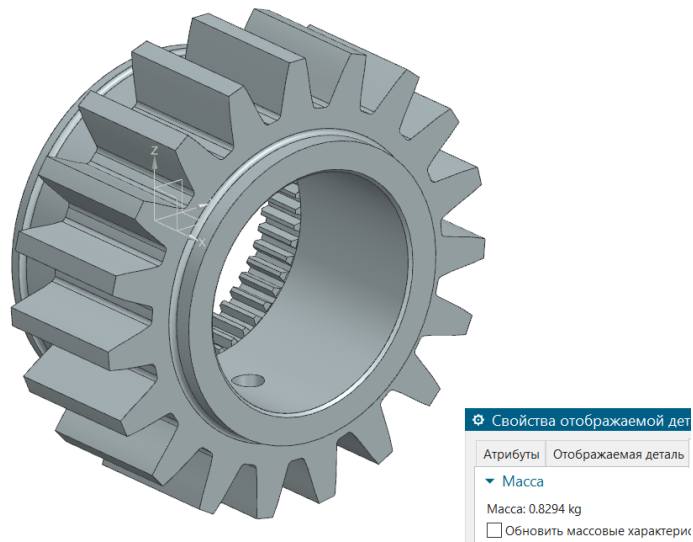


Рисунок 1.1 – 3Д-модель деталі «Центральне зубчасте колесо»

Деталь має форму диска з вінцем зовнішніх зубців та центральним отвором, у якому виконані евольвентні шліци. Основні конструктивні елементи:

- зовнішній зубчастий вінець із модулем $m = 4$ мм та кількістю зубців $z = 19$, призначений для зачеплення з ведучою шестернею;
- центральний отвір із евольвентними шліцами модулем $m = 1$ та кількістю зубців $z = 52$, який забезпечує з'єднання деталі зі шліцевим валом;
- торцеві поверхні та отвір 46Н6, що забезпечують правильне базування та фіксацію колеса у вузлі.

Передавання крутного моменту здійснюється таким чином: колесо встановлюється на шліцевий вал, і через евольвентні шліци відбувається передача моменту від вала до центрального зубчастого колеса. Далі через зовнішні зубці цей момент передається на шестерню, забезпечуючи роботу мастильної системи.

Матеріалом деталі є легована конструкційна сталь 16ХЗНВФМБ-Ш (таблиця 1.1), яка характеризується високою міцністю, в'язкістю та високим термічним прокалюванням. Для забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей застосовується хіміко-термічна обробка – цементація зубців на глибину $h = 1,2 \dots 1,4$ мм з наступним гартуванням і відпуском до твердості поверхневого шару 35...43,5 HRC. Така обробка забезпечує високу зносостійкість робочих поверхонь зубців при збереженні в'язкої серцевини, що важливо для сприйняття динамічних навантажень.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 16ХЗНВФМБ-Ш [1]

Fe	C	Si	Mn	Cr	Ni	W	V	Mo
основа	0,13... 0,18	0,17... 0,37	0,3... 0,6	2,8... 3,3	0,9... 1,2	0,8... 1,2	0,1... 0,2	0,3... 0,5

Маса деталі становить 0,8 кг, що відповідає середнім габаритам зубчастих коліс даного типу та дозволяє віднести її по масі до легких деталей. Конструкція деталі має середню технологічність, оскільки передбачає можливість обробки на сучасному токарному та шліфувальному обладнанні з ЧПК, забезпечуючи необхідну точність і якість поверхонь. Знижує технологічність її тонкостінність, що вимагає «полегшених» режимів різання, але без додаткових упорів та зажимів, та точні зубці з додатковими фінішними операціями.

Таким чином, центральне зубчасте колесо виконує ключову функцію в передачі крутного моменту в мастильній системі авіаційного двигуна, забезпечуючи надійну та стабільну роботу агрегатів при високих експлуатаційних навантаженнях.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Попередньо тип виробництва вибираємо за [2], враховуючи масу деталі $m=0,8$ кг та річну програму випуску $N=2500$ штук, тип виробництва можна вважати серійним. Форма організації технологічних процесів (ТП) відповідно до ГОСТ 14312-74 залежить від встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу, розташування технологічного обладнання, кількості виробів. Для обробки колеса обираємо змінно-потоківу форму організації робіт, яка є представником непотокової форми, коли деталі обробляються і передаються з верстата на верстат партіями в тарі.

Кількість партії оброблюваних деталей розраховується за формулою:

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

де N – річна програма випуску, шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво, днів;

A – кількість робочих днів на рік, днів.

$$n = \frac{3 \cdot 2500}{250} = 30 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Враховуючи масу деталі 0,8 кг, річну програму випуску виготовлення деталей 2500 штук та матеріал – високолеговану сталь 16ХЗНВФМБ-Ш, обираємо для порівняння наступні методи отримання заготовок: прокат та гаряче штампування у закритому штампі. Маса заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення (рис. 1.2, 1.3).

Собівартість виготовлення однієї заготовки B , грн, розраховується за формулою [3]:

$$B_{\text{ш}} = \frac{B_{\text{б}}}{1000} \cdot Q \cdot K_{\text{Т}} \cdot K_{\text{М}} \cdot K_{\text{С}} \cdot K_{\text{З}} \cdot K_{\text{П}} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

$$B_{\text{п}} = \frac{B_{\text{б}}}{1000} \cdot Q - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.3)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

$B_{\text{б}}$ – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн [3];

$K_{\text{Т}}$ – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [3];

$K_{\text{М}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [3];

$K_{\text{С}}$ – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [3];

$K_{\text{З}}$ – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [3];

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [3];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [3].

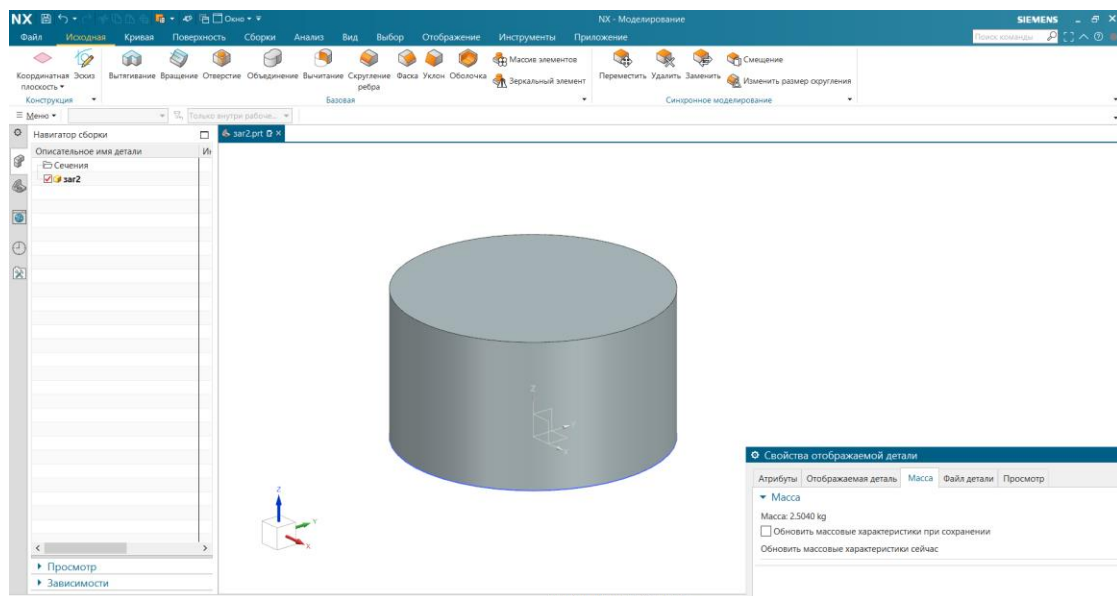


Рисунок 1.2 – Заготовка, отримана з прокату

$$B_{\text{ш}} = \frac{50000}{1000} \cdot 2 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,8 \cdot 1 - (2 - 0,8) \cdot \frac{6500}{1000} = 55,2 \text{ грн}$$

$$B_{\text{п}} = \frac{35000}{1000} \cdot 2,5 \cdot 1 - (2,5 - 0,8) \cdot \frac{6500}{1000} = 76,45 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) [3]:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.4)$$

$$\eta_{\text{Ш}} = \frac{0,8}{2} = 0,4$$

$$\eta_{\text{П}} = \frac{0,8}{2,5} = 0,32$$

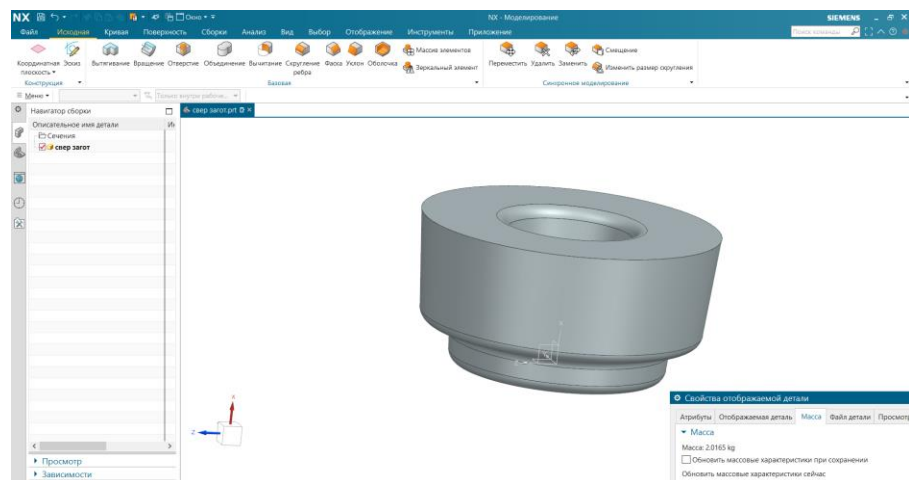


Рисунок 1.3 – Заготовка, отримана штампуванням

Порівняльні показники обраних методів виготовлення заготовок заносяться в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			Штамповка	Прокат
Вага заготовки	Q	кг	2	2,5
Базова вартість 1 т заготовки	В _Б	грн	50000	35000
Коефіцієнти	K _Т		1	-
	K _М		1,51	-
	K _С		0,77	-
	K _З		1,27	-
	K _П		1	-
Вартість 1 т стружки	В _{відх}	грн	6500	6500
Собівартість заготовки	В _з	грн	55,2	76,45
КВМ	η		0,4	0,3

Раціональнішим є метод штампування через вищий КВМ і нижчу собівартість.

Економія матеріалу при отриманні заготовки штампуванням:

$$M_{\Pi} = \frac{q(\eta_{\text{ш}} - \eta_{\text{п}})}{\eta_{\text{ш}} \cdot \eta_{\text{п}}} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_{\Pi} = \frac{0,8 \cdot (0,4 - 0,32)}{0,4 \cdot 0,32} \cdot 2500 = 1250 \text{ кг}$$

Річне заощадження знаходимо за формулою:

$$E_p = (B_{\text{п}} - B_{\text{ш}})N \quad (1.6)$$

$$E_p = (76,45 - 55,2) \cdot 2500 = 53125 \text{ грн}$$

Розрахунок собівартості показав, що більш економічним методом отримання заготовок цієї деталі є штампування.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Через те, що оброблювана заготовка отримана штампуванням, тому необроблені поверхні як «чорнові» бази використовуються тільки на першій операції механічної обробки. Для токарних операцій в якості баз використовується зовнішні циліндричні поверхні 67 мм, 88,5 мм та крайній торець. Для свердлильної, зубофрезерної, довбальної операцій як бази будемо використовувати крайній торець і центральний отвір. При внутрішньому шліфуванні в якості баз використовується зовнішня циліндрична поверхня 88,5 мм та крайній торець. При зовнішньому шліфуванні, зубошліфуванні та хонінгуванні зубців як бази будемо використовувати крайній торець і

центральный отвір. При виробництві деталі на всіх операціях механічної обробки забезпечується використання одних і тих самих базових поверхонь, тобто забезпечується принцип єдності баз. Прийняті бази та методи базування забезпечують просте та надійне закріплення. При цьому забезпечується зручність встановлення та зняття деталі в пристосуванні.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) складається з послідовності способів обробки поверхонь (переходів).

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

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.7)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.8)$$

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.9)$$

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні $\varnothing 46H6(^{+0,016})$:

$$\varepsilon_d = \frac{2,2}{0,016} = 137,5$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{25}{0,8} = 31,2$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,025} = 20$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.10)$$

$$k = 2 \cdot \lg 137,5 = 4,2$$

Приймаємо $k=4$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=4$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=IT17-H6=11=5+2+2+2$.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) для допуску – $IT17 \rightarrow H12 \rightarrow H10 \rightarrow TO \rightarrow H8 \rightarrow H6$;
- 2) для шорсткості – $Ra25 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$.

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

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [4].

Уточнення:

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

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

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [4].

Уточнення:

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 8,8 \cdot 2,5 = 22 < \varepsilon_d = 137,5$$

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

Третій перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=39$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [4].

Уточнення:

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 22 \cdot 2,5 = 55 < \varepsilon_d = 137,5$$

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

Четвертий перехід – шліфування чистове: $T_{D4}=16$ мкм; $T_{Ra4}=0,8$ мкм [4].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{39}{16} = 2,4$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{1,6}{0,8} = 2$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 55 \cdot 2,4 = 132 < \varepsilon_d = 137,5$$

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

Розрахунок МОП інших поверхонь занесено до таблиці 1.3.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення центрального зубчастого колеса складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки,
- 2) II термічна обробка – нормалізація – відпал (ТО);
- 3) III етап – механічна обробка - формоутворювальна:
 - токарна обробка (чорнова, чистова);
 - свердлильна обробка;
 - довбальна обробка;
 - зубофрезерна обробка;
 - слюсарна обробка.
- 4) Мийка
- 5) Контроль (проміжний контроль зубців і шліців)
- 6) ТО - гартування
- 7) IV етап – механічна обробка + фінішінг:
 - шліфування внутрішнє (чорнова, чистова);
 - шліфування кругле;
 - зубошліфування;
 - зубохонінгування.
- 8) V етап – мийка, контроль

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
Ø46 ^{+0,016} Ra=0,8	Td	137,5	4,2	4	Δ IT = IT17 – H6 = 11	1	Заготовка	2200	25	-	-
	Ra	31,2			IT17 → H12 → H10 →	2	Точіння чорнове	-	-	-	-
					(TO)→ H8→ H6	3	Точіння чистове	250	6,3	8,8	3,9
					Ra25 → Ra6,3→ Ra3,2 →	4	Термічна обробка	100	3,2	2,5	2
					(TO)→ Ra1,6 → Ra0,8	5	Шліфування чорнове	39	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чистове	16	0,8	2,4	2
Ø88,5 _{-0,054} Ra=1,6	Td	46,2	3,1	3	Δ IT = IT17 – h8= 9	1	Заготовка	2500	25	-	-
	Ra	15,6			IT17→ h12 → h10 →	2	Точіння чорнове	-	-	-	-
					(TO)→ h8	3	Точіння чистове	350	6,3	7,1	4
					Ra25 →Ra6,3 → Ra3,2 →	4	Термічна обробка	140	3,2	2,5	2
					(TO)→ Ra1,6	5	Шліфування	54	1,6	2,5	2

1.5 Розрахунок припусків

Розрахунково-аналітичним методом визначаємо припуски для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 46^{+0,016}$. Для цього призначаємо наступні параметри за переходами:

- 1) для заготовки $Rz_1 = 200$ мкм та $h_1 = 250$ мкм [4];
- 2) для чорнового точіння $Rz_2 = 50$ мкм та $h_2 = 50$ мкм [4];
- 3) для чистового точіння $Rz_3 = 25$ мкм та $h_3 = 25$ мкм [4];
- 4) для чорнового шліфування $Rz_5 = 15$ мкм та $h_5 = 15$ мкм [4];
- 5) для чистового шліфування $Rz_6 = 5$ мкм та $h_6 = 5$ мкм [4];

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{\text{пар}}^2 + \rho_{\text{кор}}^2}, \quad (1.11)$$

де $\rho_{\text{кор}}$ – похибка від короблення,

$\rho_{\text{пар}}$ – похибка паралельності

$$\rho_{\text{кор}} = \Delta_{\text{кор}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.12)$$

$$\rho_{\text{пар}} = \Delta_{\text{п}} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.13)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – похибка короблення, $\Delta_{\text{кор}} = 1,5$ мкм/мм [4];

$\Delta_{\text{п}}$ – перекис центрального отвору, $\Delta_{\text{п}} = 5$ мкм/мм [4].

$$\rho_{\text{кор}} = 1,5 \cdot 45,5 = 68 \text{ мкм}$$

$$\rho_{\text{пар}} = 5 \cdot 45,5 = 227 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,068^2 + 0,227^2} = 0,236 \text{ мм}$$

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються за формулою:

$$\rho_j = K_{\text{ут}} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.14)$$

де K_{yt} – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки [4].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 236 = 14 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 14 = 0,56 \text{ мкм}$$

Просторова похибка після ТО:

$$\rho_4 = \Delta_k \cdot L \quad (1.15)$$

де $\Delta_{кор}$ – кривизна після ТО, $\Delta_{кор}=0,1\text{мм}$ [4].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 45,5 = 4,5 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (4,5 + 0,56) = 0,1 \text{ мкм}$$

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

Похибка закріплення за переходами розраховуємо за формулою:

$$\varepsilon_i = K_{yt} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.16)$$

де ε_2 – похибка закріплення, $\varepsilon_2=0,45 \text{ мм}$ [13].

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 450 = 18 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_4 = 0,03 \cdot 18 = 0,54 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,02 \cdot 0,54 = 0 \text{ мкм}$$

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

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.17)$$

$$2z_2^{\min} = 2(200 + 250 + \sqrt{236^2 + 450^2}) = 1916 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(50 + 50 + \sqrt{14^2 + 18^2}) = 245 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2(25 + 25 + \sqrt{0,5^2 + 0,5^2}) = 101 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2 \left(15 + 15 + \sqrt{0,1^2 + 0^2} \right) = 60 \text{ мкм};$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} D_3^{\max} &= D_3^{\min} + ES_{D_3} \\ D_6^{\max} &= 46 + 0,016 = 46,016 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.18)$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} D_i^{\max} &= D_{i+1}^{\max} - 2z_{i+1}^{\min} - TD_{i+1} \\ D_5^{\max} &= 46,016 - 0,06 - 0,016 = 45,94 \text{ мкм} \\ D_3^{\max} &= 45,94 - 0,101 - 0,039 = 45,8 \text{ мкм} \\ D_2^{\max} &= 45,8 - 0,245 - 0,10 = 45,455 \text{ мкм} \\ D_1^{\max} &= 45,455 - 1,916 - 0,25 = 43,289 = 43,3 \text{ мкм} \end{aligned} \quad (1.19)$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned} D_i^{\min} &= D_i^{\max} - TD_i \\ D_1^{\min} &= 43,3 - 2,2 = 41,1 \text{ мм} \\ D_2^{\min} &= 45,455 - 0,25 = 45,205 \text{ мм} \\ D_3^{\min} &= 45,8 - 0,1 = 45,7 \text{ мм} \\ D_5^{\min} &= 45,94 - 0,039 = 45,901 \text{ мм} \\ D_6^{\min} &= 46,016 - 0,016 = 46 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.20)$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = D_i^{\max} - D_{i-1}^{\min} \quad (1.21)$$

$$2z_2^{\max} = 45,455 - 41,1 = 4,355 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 45,8 - 45,205 = 0,595 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 45,94 - 45,7 = 0,24 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 46,016 - 45,901 = 0,115 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}} = TD_0 \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\max} = D_6^{\max} - D_1^{\min} \quad (1.23)$$

$$2z_0^{\min} = D_6^{\min} - D_1^{\max} \quad (1.24)$$

$$2z_0^{\max} = 46,016 - 41,1 = 4,916 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 46 - 43,3 = 2,7 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 2,2 + 0,016 = 2,216 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,916 - 2,7 = 2,216 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 42,5^{+0,8}_{-1,4}$ мм.

Розрахунки припусків зведено до таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуска		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки	TD, мм	$D_i^{\max}$, мм	$D_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
$\varnothing 46^{+0,016}$ Ra=0,8	17	Заготовка	2,2	43,3	41,1	-	-	$\varnothing 42,5^{+0,8}_{-1,4}$
	-	Точін. чорн.	0,25	45,455	45,205	4,355	1,916	$\varnothing 45,45^{+0,25}$
	12	Точін. чист.	0,1	45,8	45,7	0,595	0,245	$\varnothing 45,8^{+0,1}$
	10	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф. чорн.	0,039	45,94	45,901	0,24	0,101	$\varnothing 45,94^{+0,039}$
	6	Шліф. чист.	0,016	46,016	46	0,115	0,060	$\varnothing 46^{+0,016}$
			4,916-2,7=2,2+0,016	2,216=2,216		4,916	2,7	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 015 – токарна з ЧПК

Обробка виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) CORMAK 360x750. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.5. Операційний ескіз токарної операції наведений на рис. 1.4. В якості верстатного пристосування використовується патрон трикулачковий.

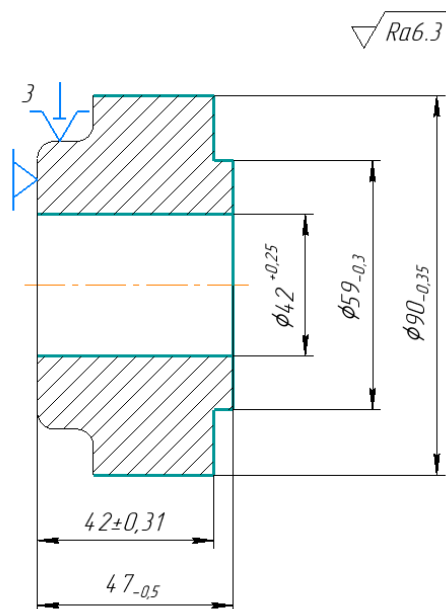


Рисунок 1.4 – Операційний ескіз токарної операції

Використовується для цього інструменти:

- 1) різець підрізний правий $\varphi=105^\circ$, $\alpha=10^\circ$, $\gamma=8^\circ$; $r=0,8\text{мм}$, $25\times16\times140$, T15K6 ГОСТ 18880-73 [5];
- 2) свердло $\varnothing 42\text{ мм}$ P6M5 ГОСТ 10903-77 [5].

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика верстата

Характеристика	Значення
Кількість інструментів	8
Максимальний діаметр обточування над станиною	Ø360 мм
Максимальний діаметр обточування над супортом	Ø15мм
Відстань між центрами	750 мм
Діаметр отвору шпинделя	Ø52 мм
Частота обертання шпинделя	100...2000 об/хв
Потужність шпиндельного двигуна	3,7 кВт
Габаритні розміри верстата	1820 мм × 1300 мм × 1600 мм

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{z}{i}, \quad (1.25)$$

де i – кількість проходів,

z – припуск.

$$t_1 = \frac{1,5}{2} = 0,75 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{42}{2} = 21 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\varphi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM}, \text{ мм/об} \quad (1.26)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі, [6];

K_{SK} – коефіцієнт, що враховує квалітет обробки [6];

K_{Sr} – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця [6];

$K_{S\varphi}$ – коефіцієнт, що враховує кінематичний кут в плані [6];

K_{Sy} – коефіцієнт, що враховує схему встановлення заготовки [6];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [6].

$$S_1 = 0,43 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,83 = 0,28 \text{ мм/об}$$

$$S_2 = 0,55 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,83 = 0,32 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_1 = 0,3 \text{ мм/об}$, $S_2 = 0,3 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_{Vm} \cdot K_{Vi} \cdot K_{Vj} \cdot K_{Vo} \cdot K_{VT} \cdot K_{Vc} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{Vж} \quad (1.27)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання [6];

K_{Vc} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал [6];

K_{Vi} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини [6];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата [6];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує вид обробки [6];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента [6];

K_{Vm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [6];

$K_{V\phi}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [6];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням [6].

$$V_1 = 284 \cdot 0,52 \cdot 0,81 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 93 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = 33 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 17 \text{ м/хв}$$

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

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.28)$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 93}{3,14 \cdot 90} = 329 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 17}{3,14 \cdot 42} = 128 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно

до паспортних даних $n_{д1}=350$ об/хв, $n_{д2}=150$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.29)$$

$$V_{д1} = \frac{350 \cdot 3,14 \cdot 90}{1000} = 99 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{150 \cdot 3,14 \cdot 42}{1000} = 20 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу $L_{рх}$, мм розраховується за формулою:

$$L_{рх} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.30)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання;

$l_{пер}$ – перебігу.

$$L_{рх1} = 2 + 28 + 15,2 + 4,5 + 12,5 + 2 = 64,2 \text{ мм}$$

$$L_{рх2} = 25 + 47 + 4 = 76 \text{ мм}$$

Машинний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{рх}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.31)$$

$$t_o = \frac{64,2}{0,3 \cdot 350} \cdot 2 + \frac{76}{0,3 \cdot 150} \cdot 1 = 2,9 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 045 – свердлильна

Для свердління отвору $\varnothing 6$ мм обираємо фрезерний верстат з ЧПК моделі MAST MM 640 S16 (таблиця 1.6). Операційний ескіз зображено на рис. 1.5.

Операція складається з двох переходів: центрування отвору, свердління отвору.

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики верстата

Параметри	Значення
Розмір столу	900×400 мм
Частота обертів шпинделя	10000 об/хв
Гарантія	12 місяців
Вага	2650 кг
Габаритні розміри	2250 мм × 1850 мм × 2250 мм
Конус шпинделя	BT40
Точність позиціонування	0,005 мм
Потужність двигуна	5,5 кВт
X/Y/Z подачі	600/380/450 мм
Пришвидшена подача X/Y/Z	30/30/24 м/хв
Максимальне навантаження на стіл	350 кг
Відстань від шпинделя до робочого столу	100...550 мм
Відстань від шпинделя до колони	420 мм

Для операції обираємо свердло спіральне діаметром $D=6$ мм з матеріалу Р6М5 за ГОСТ 10902-77 та центровочне свердло $D=2$ мм з матеріалу Р6М5 за ГОСТ 14952-75 [5].

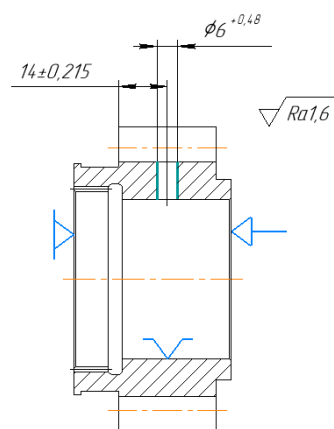


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Глибина різання t , мм розраховується за формулою:

$$t = \frac{D_{\text{св}}}{2} \quad (1.32)$$

$$t_1 = \frac{1}{2} = 1 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{6}{2} = 3 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою (1.26):

де $S_{\text{табл}}$ – табличне значення, $S_{\text{табл}} = 0,5$ мм/об [6];

K_{S1} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{S1} = 1,0$ [6];

$K_{Sж}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість системи, $K_{Sж} = 1,0$ [6];

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

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір, $K_{Sd} = 1,0$ [6];

K_{SM} – коефіцієнт властивостей оброблюваного матеріалу, $K_{SM} = 0,33$ [6].

$$S_1 = 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,33 = 0,12 \text{ мм/об}$$

$$S_2 = 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,33 = 0,12 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S_1 = 0,1$ мм/об, $S_2 = 0,1$ мм/об.

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.27):

де $V_{\text{табл}}$ – табличне значення, $V_{\text{табл}} = 45$ м/хв [6];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу, $K_{VM} = 0,8$ [6];

K_{VI} – коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу різальної частини інструменту, $K_{VI} = 0,9$ [6];

K_{Vd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір, $K_{Vd} = 0,9$ [6];

K_{Vl} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління, $K_{Vl} = 1,0$ [6];

K_{VO} – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОТС, $K_{VO} = 1,0$ [6].

$$V_1 = 45 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 29 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = 45 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 29 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.28):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 2} = 4617 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 6} = 1539 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_{д1}=4000$ об/хв, $n_{д2}=1500$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.29):

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 2 \cdot 4000}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{3,14 \cdot 6 \cdot 1500}{1000} = 28 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу по формулі (1.30):

де l – довжина свердління, мм;

$l_2=2$ мм – величина перебігу, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

$$l_1 = 0,5 \cdot D_{св} \cdot ctg60, \text{ мм} \quad (1.33)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 2 \cdot ctg60 = 0,6 \text{ мм};$$

$$l_2 = 0,5 \cdot 6 \cdot ctg60 = 1,7 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{2+0,6}{0,1 \cdot 4000} \cdot 1 + \frac{1,7+11+2}{1500 \cdot 0,1} \cdot 1 = 0,1 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 080 – шліфувальна

На операції 080 (рис. 1.6) виконується остаточне шліфування шийки 88,5 мм. Призначаємо для виконання шліфування круглошліфувальний верстат CG 500 (таблиця 1.7). Інструмент призначаємо: шліфувальний круг 1 400×40×203

15A 40H CT1 6 K8 A 50 м/с ГОСТ 2424-83.

Поздовжня подача (1.23):

де S_T – табличне значення подачі, $S_T=0,025$ мм/об [6];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга, $K_D=0,5$ [6];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі, $K_R=0,8$ [6];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга, $K_T=1,0$ [6];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку, $K_h=1,0$ [6];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру, $K_{IT}=0,5$ [6];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі, $K_M=1,0$ [6].

$$S_{\text{поп}} = 0,025 \cdot 0,5 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,005 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S=0,005$ мм/об.

Таблиця 1.7 – Характеристика верстата

Зовнішній діаметр шліфування	200 мм
Внутрішній діаметр шліфування	100 мм
Довжина зовнішньої шліфувальної частини	500 мм
Висота центру	135 мм
Швидкість обертання шпинделя	0...1650 об/хв
Кулачковий патрон	Ø200 мм
Шліфувальне коло зовні макс.	Ø400 мм
Внутрішнє шліфувальне коло	Ø203 мм
Ширина шліфувального кола	50 мм
Довжина заготівлі	600 мм
Швидкість поздовжньої подачі макс.	4 м/хв
Швидкість обертання внутрішнього шліфувального інструменту	16000 об/хв
Потужність двигуна шліфувального блоку	5,6 кВт

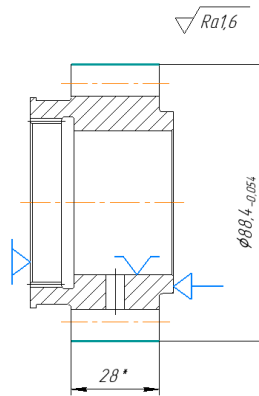


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Швидкість різання приймаємо:

- для шліфувального круга – $V_{ш.кр.}=50$ м/с [5];
- для деталі – $V_{ш.дет.}=50$ м/хв [5].

Частота обертання шліфувального круга визначається за формулами:

$$n_{ш.кр.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.кр.} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.34)$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot V_{ш.дет.}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.35)$$

$$n_{ш.кр.}^p = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 60}{3,14 \cdot 400} = 2388 \text{ об/хв};$$

$$n_{дет.}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 88,5} = 179,9 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n_{ш.кр.}=2300$ об/хв, $n_{дет.}=150$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot D \cdot n}{1000 \cdot 60}; \quad (1.36)$$

$$V_{ш.кр.} = \frac{3,14 \cdot 400 \cdot 2300}{1000 \cdot 60} = 48 \text{ м/с};$$

$$V_{дет.} = \frac{3,14 \cdot D \cdot n}{1000}; \quad (1.37)$$

$$V_{дет.} = \frac{3,14 \cdot 88,5 \cdot 150}{1000} = 41 \text{ м/с.}$$

Визначаємо основний час:

$$t_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.38)$$

де k – коефіцієнт уточнення.

z – припуск під шліфування, мм.

$$t_o = \frac{0,25 \cdot 1,7}{150 \cdot 0,005} = 0,56 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кіль- кість прохо- дів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
015 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,3	99	350
	02	21	1	0,3	30	150
020 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	115	400
	02	1,5	2	0,2	120	400
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	115	400
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	115	300
	02	0,5	2	0,1	116	400
	03	0,5	2	0,1	120	400
035 Зубодовбальна	01	2	52	0,05 мм/зуб	20	100
040 Зубофрезерна	02	8,8	19	50 мм/хв	35	300
045 Свердлильна з ЧПК	01	1	1	0,1	25	4000
	02	3	1	0,1	28	1500
070 Внутрішньошліфувальна	01	01	0,2	3	0,005/5	45/45
075 Плоскошліфувальна	01	01	0,2	3	0,005	5
080 Круглошліфувальна	01	01	0,25	3	0,005	48/41
085 Внутрішньошліфувальна	01	01	0,1	3	0,005/5	45/45
090 Зубошліфувальна	01	01	0,25	19	0,005	45/45
095 Зубохонінгувальна	01	01	0,05	19	0,005	45/25

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції 015

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, $t_{\text{вст}} = 0,4$ хв [7];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,65$ хв [7];

$t_{\text{контр}}$ – 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 [7];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ [7].

$$t_{\text{контр}} = 0,2 \cdot 0,4 = 0,05 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,65 + 0,05 = 1,1 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

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

$$t_{\text{оп}} = 2,9 + 1,1 = 4 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

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

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 4 \cdot 0,1 = 0,4 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

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

$$t_{шт} = 4 + 0,4 = 4,4 \text{ хв}$$

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

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} + t_{пз3} \quad (1.44)$$

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 7 \text{ хв}$ [7];

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

$t_{пз3}$ – час на отримання та здачу інструменту, $t_{пз3} = 5 \text{ хв}$ [7].

$$t_{пз} = 8 + 7 + 5 = 20 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

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

де n – розмір партії деталей, що запускаються у виробництво (п. 1.2).

$$t_{шт-к} = 4,4 + \frac{20}{30} = 5,06 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування свердлильної операції 045

Допоміжний час на операцію розраховується за формулами (1.39),(1.40):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,2 \text{ хв}$ [7];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,4 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 2 \text{ хв}$ [7];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ [7].

$$t_{\text{контр}} = 2 \cdot 0,4 = 0,8 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 2 \cdot 0,2 + 0,4 + 0,8 = 1,6 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{\text{оп}} = 0,1 + 1,6 = 1,7 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.42):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 1,7 \cdot 0,1 = 0,17 \text{ хв}$$

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

$$t_{\text{шт}} = 1,7 + 0,17 = 1,87 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний 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, $t_{\text{пз1}} = 10 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс, $t_{\text{пз2}} = 10 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$ [7].

$$t_{\text{пз}} = 10 + 10 + 5 = 25 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.45):

$$t_{\text{шт-к}} = 1,87 + \frac{25}{30} = 2,7 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 080

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.39, 1.40):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,5 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,2 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,03 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{упр}}$ – час на включення та вимикання верстата, $t_{\text{упр}} = 0,03 \text{ хв}$ [7];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 1$ [7].

$$t_{\text{контр}} = 0,03 \cdot 1 = 0,03 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 2 \cdot 0,5 + 0,03 + 0,2 + 0,03 = 1,26 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{\text{оп}} = 0,56 + 1,26 = 1,82 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.42):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [7].

$$t_{\text{дод}} = 1,82 \cdot 0,1 = 0,18 \text{ хв}$$

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

$$t_{\text{шт}} = 1,82 + 0,18 = 2,0 \text{ хв}$$

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

де $t_{пз1}$ – нормативний час на налагодження верстата, інструменту, пристосування, $t_{пз1} = 7$ хв [7];

$t_{пз2}$ – нормативний час отримання інструменту, пристосування, здачу їх після роботи, $t_{пз2} = 8$ хв [7];

$$t_{пз} = 7 + 8 = 15 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.45):

$$t_{шт-к} = 2,0 + \frac{15}{30} = 2,5 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.9.

Таблиця 1.9 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{доп}$, хв	$t_{дод}$, хв	$t_{шт}$, хв	$t_{пз}$, хв	$t_{шт-к}$, хв
015 Токарна з ЧПК	2,9	1,1	0,40	4,40	20	5,06
020 Токарна з ЧПК	5	1,1	0,61	6,71	20	7,38
025 Токарна з ЧПК	6	1,1	0,71	7,81	20	8,48
030 Токарна з ЧПК	8	1,1	0,91	10,01	20	10,68
035 Зубодовбальна	45	0,65	4,57	50,22	25	51,05
040 Зубофрезерна	47	1,4	4,84	53,24	27	54,14
045 Свердлильна з ЧПК	0,1	1,6	0,17	1,87	25	2,70
070 Внутрішньошліфувальна	3	1,95	0,50	5,45	21	6,15
075 Плоскошліфувальна	4	1,95	0,60	6,55	21	7,25
080 Круглошліфувальна	0,56	1,26	0,18	2,00	15	2,50
085 Внутрішньошліфувальна	2	0,85	0,29	3,14	21	3,84
090 Зубошліфувальна	35	1,95	3,70	40,65	25	41,48
095 Зубохонінгувальна	25	1,5	2,65	29,15	15	29,65

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

Для свердлильної операції 045 (операційний ескіз для цієї операції показано на рис. 1.5) розроблюємо керуючу програму (КП) в програмному забезпеченні NX CAM. Створюємо 3D-модель деталі для свердління отвору в западині між зубцями (рис. 1.7).

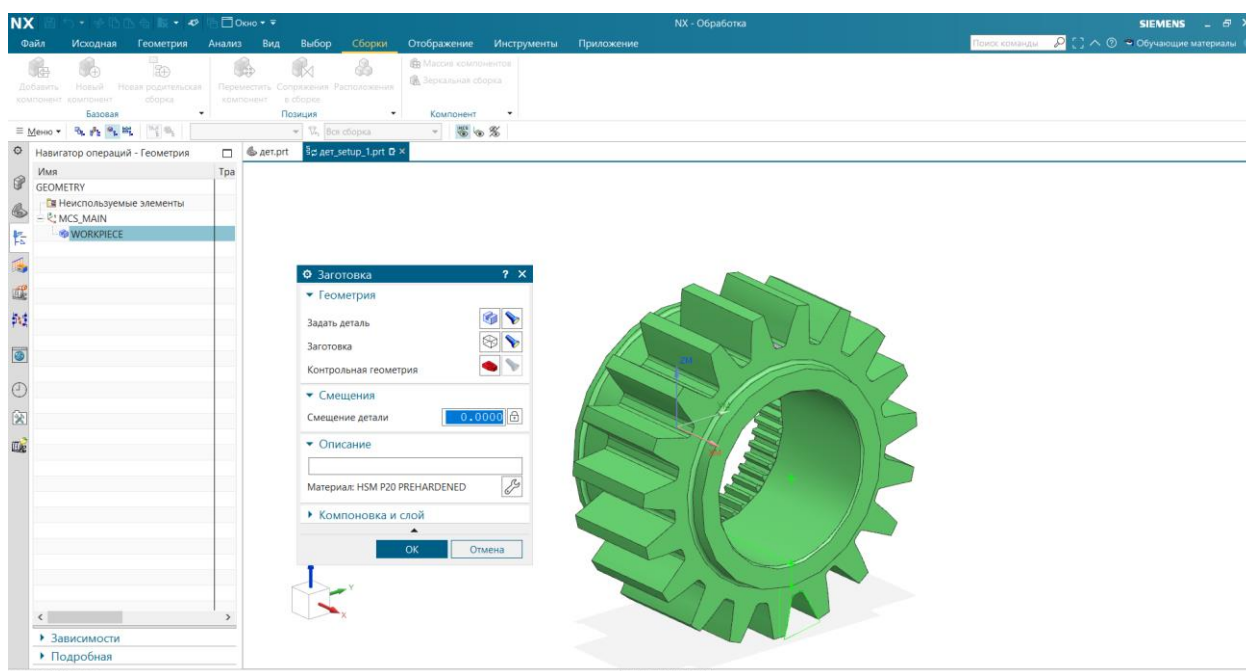


Рисунок 1.7 – 3D-модель деталі

Розташовуємо деталь таким чином, щоб вісь свердла проходила посередині западини між зубцями. Далі створюємо в програмі необхідний ріжучий інструмент (рис. 1.8).

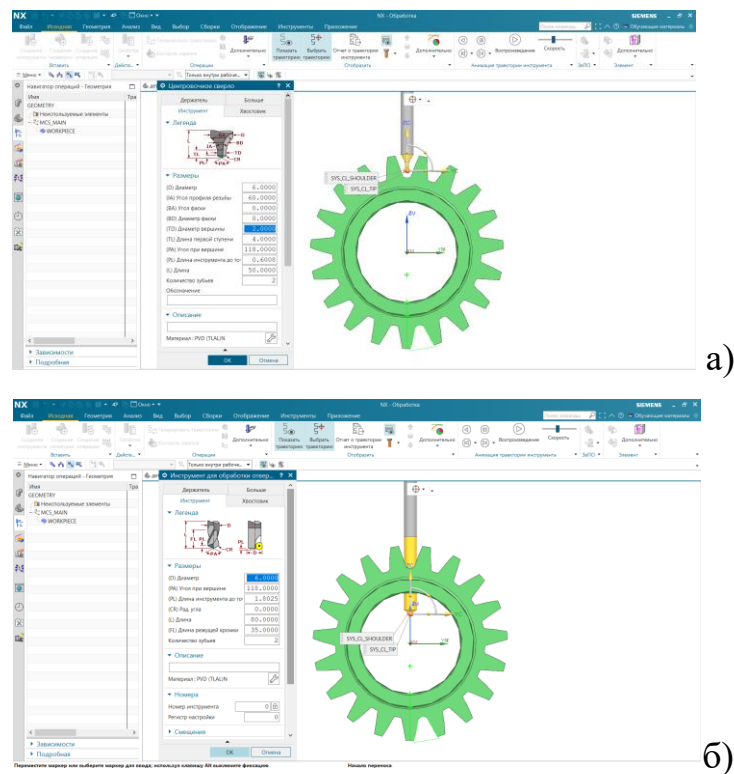


Рисунок 1.8 – Інструменти: центровочне свердло (а) і спіральне свердло (б)

Визначаємо положення системи координат, деталь та заготовку. Створюємо перший перехід – «Центрування отвору» та налаштовуємо всі необхідні параметри. Потім створюємо другий перехід – «Свердління отвору». Після цього генеруємо траєкторію (рис. 1.9) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.10).

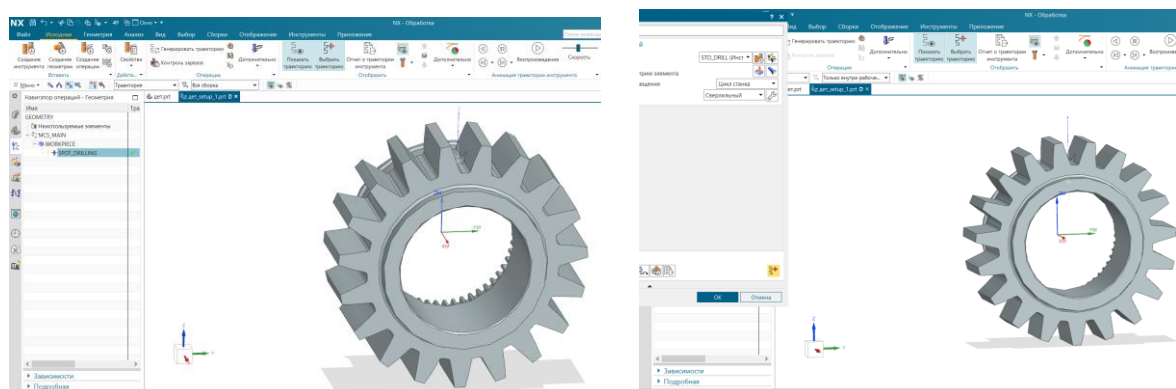


Рисунок 1.9 – Генерування траєкторії переходів свердлення

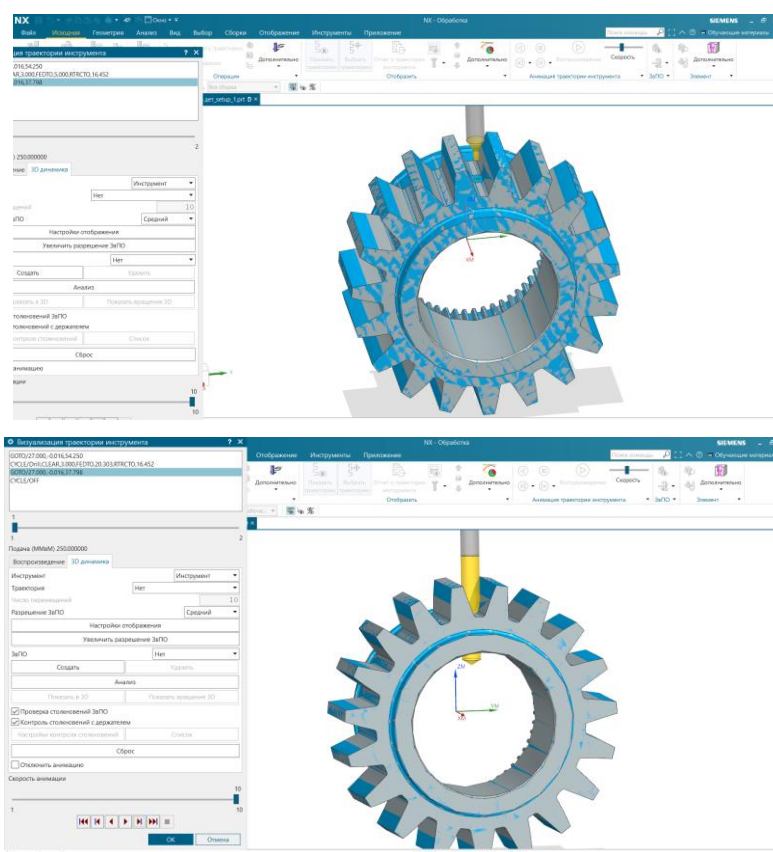


Рисунок 1.10 – Візуалізація

По закінченню, перевіряємо обробку в цілому, тобто проводимо етап симуляції свердлильної операції. Після цього проводимо останній етап – генеруємо керуючу програму в G-кодах (рис.1.11).

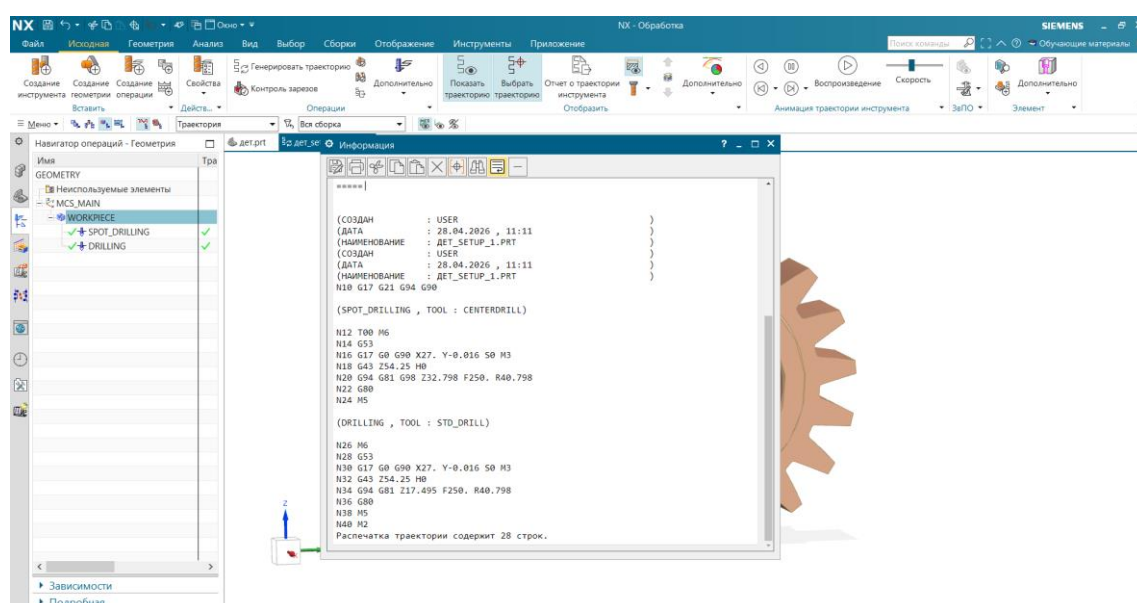


Рисунок 1.11 – Керуюча програма

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування робоче призначене для фрезерування зубців в деталі «Центральне зубчасте колесо». Його конструкція забезпечує точне базування, швидке закріплення та зняття деталі (рис. 2.1).

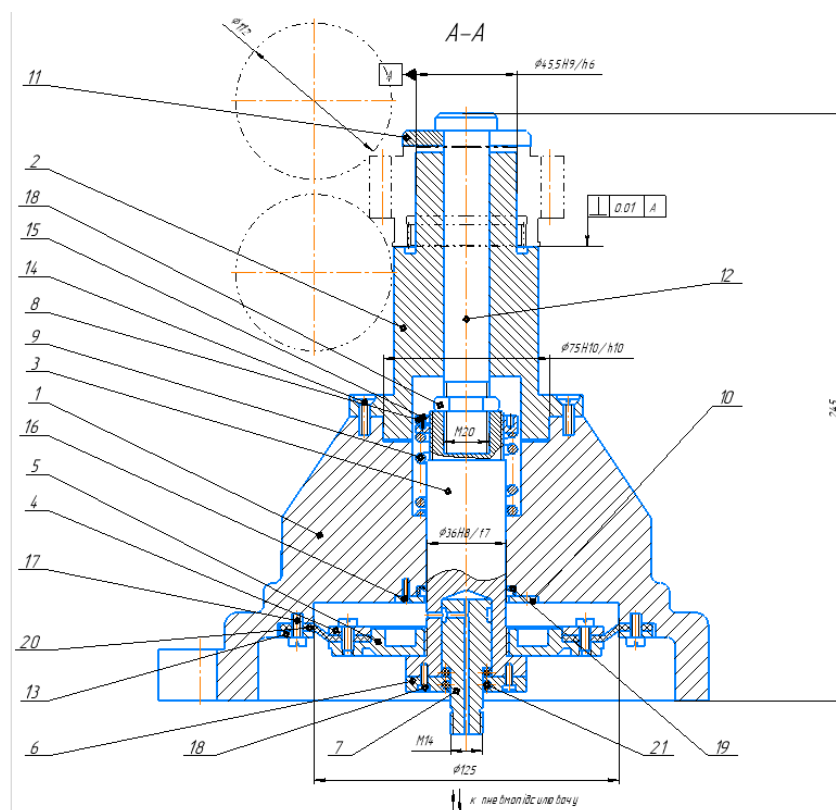


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

Деталь при обробці встановлюється на оправку, зверху одягається розрізна шайба. Після чого подається повітря під тиском в циліндр, поршень разом зі штоком опускаються вниз та через розрізну шайбу виконується притискання деталі. Після обробки тиск повітря вимикається, шток під дією пружини підіймається та деталь звільняється, якщо зняти розрізну шайбу.

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 по отвору $\varnothing 45,5\text{H}10$ (рис. 2.2).

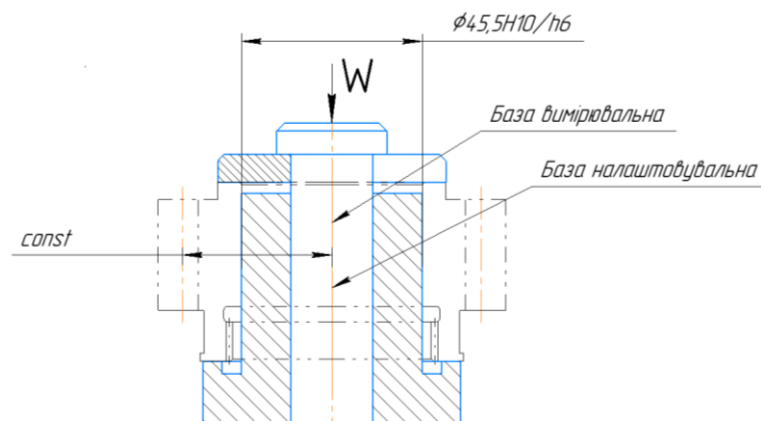


Рисунок 2.2 – Схема установки

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = S_{\text{max}}/2 \quad (2.2)$$

де S_{max} – максимальний зазор у з'єднанні.

$$S_{\text{max}} = D_{\text{max}} - d_{\text{min}} \quad (2.3)$$

$$S_{\text{max}} = 45,6 - 45,484 = 0,116 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,116/2 = 0,058 \text{ мм}$$

Похибка закріплення залежить від напрямку прикладення сили затиску відносно напрямку контрольованого розміру. У даному випадку сила

закріплення спрямована вздовж осі деталі, тоді як розмір, що формується при зубофрезеруванні, визначається в радіальному напрямку. Таким чином, напрямки сили закріплення та розміру обробки є взаємно перпендикулярними. У такому випадку похибка закріплення приймається рівною нулю.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,058^2 + 0} = 0,058 \text{ мм}$$

Розрахунок точності пристосування полягає у визначенні виконавчих розмірів та допусків на установчу шийку оправки, що забезпечують необхідну точність обробки деталі. Основною умовою є забезпечення такого співвідношення допусків, при якому максимальне радіальне биття деталі на оправці не перевищує допустимого значення для зубофрезерної операції.

Для даної операції допустиме радіальне биття зубчастого вінця приймається рівним $F=0,08$ мм.

Биття зубчастого вінця дорівнює: $\delta = 2e = S_{\text{max}}$.

Фактичне биття зубчастого вінця визначається величиною зазору між отвором деталі та установчою шийкою оправки, тобто посадкою.

Отвір деталі має розмір $\varnothing 45,5\text{H}10$ з допуском $+0,100$ мм. Для забезпечення підвищеної точності базування приймаємо установчу шийку оправки на 4 квалітети точніше, тобто з полем допуску $\text{h}6$, що відповідає розміру $\varnothing 45,5\text{h}6$ з відхиленням $-0,016$ мм. Максимальний зазор у посадці дорівнює $S_{\text{max}}=0,116$ мм.

Максимальне можливе радіальне биття деталі на оправці визначається як половина максимального зазору:

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

$$\frac{S_{\text{max}}}{2} = \frac{0,116}{2} = 0,058 \text{ мм} \leq 0,08 \text{ мм}$$

Прийнята посадка $\text{Ø}45,5\text{H}10/\text{h}6$ забезпечує необхідну точність базування деталі.

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу

Сила затиску:

$$W_{cm} = \frac{3M_p(D^2 - d^2)}{f(D^3 - d^3)} \quad (2.5)$$

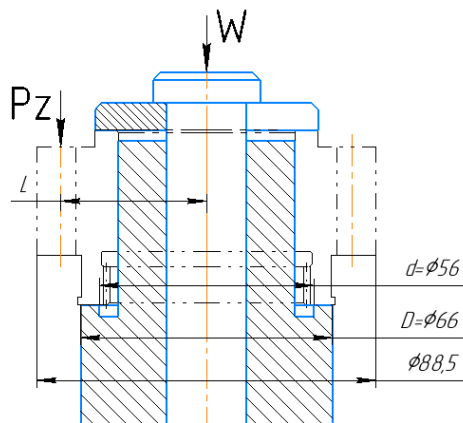


Рисунок 2.3 – Схема до визначення сили закріплення [8]

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 [5]

K_{mp} – поправочний коефіцієнт оброблюваного матеріалу.

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

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

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 8,8^{0,86} \cdot 0,02^{0,72} \cdot 6,28^1 \cdot 12}{112^{0,86} \cdot 100^0} \cdot 0,95 = 346,7 \text{ Н}$$

Момент різання визначимо згідно формули:

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

де l – плече прикладання сили.

$$M_p = 346,7 \cdot 0,038 = 13,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Згідно формули (2.5) сила закріплення дорівнює:

$$W_{ст} = \frac{3 \cdot 13,1 \cdot (0,066^2 - 0,056^2)}{0,15 \cdot (0,066^3 - 0,056^3)} = 2874,2 \text{ Н}$$

Дійсна сила затиску:

$$Q = k \cdot W_{ст} \quad (2.9)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення;

Q – сила на штоці.

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

де K_0 – гарантований коефіцієнт запасу [8];

K_1 – враховує зміни (коливання) сил різання у процесі обробки через нерівномірність припусків [8];

K_3 – коефіцієнт залежить від виду обробки, оброблювального матеріалу [8];

K_4 – характеризує затискний пристрій з погляду постійності сил затиску [8];

K_5 – характеризує затискачі з погляду зручності закріплення деталі [8];

K_6 – враховується, коли розрахунок сил затиску здійснюється з урахуванням моментів різання і від виду опорної поверхні [8].

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

$$Q = 2874,2 \cdot 2,16 = 6208,4 \text{ Н.}$$

Мінімальний діаметр штока:

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

де $[\sigma]$ – допустиме напруження на розтяг, МПа;

α – коефіцієнт затяжки [8].

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 6208,4}{3,14 \cdot 100}} = 13,3 \text{ мм}$$

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 [8].

p – тиск повітря [8];

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 6208,4}{3,14 \cdot 0,7 \cdot 0,9}} + 36^2 = 117,6 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметра поршня 125 мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Під час контролю перевіряють радіальне биття шийки 88,5 мм. Що дорівнює 0,025 мм відносно бази А та Б. Пристосування контрольне (рис.2.4) представляє собою корпус на якому встановлені два центри, один з яких рухомий. Деталь встановлюється в оправку по отвору 46мм, а потім встановлюється в центри пристосування. На корпусі встановлено штангу з індикаторним годинником. Вона має можливість повороту навколо осі на 360°. А також є можливість перезакріплення штанги з індикаторним годинником на необхідну поверхню по висоті. Дані особливості пристрою дозволяють легко здійснювати його переналадження.

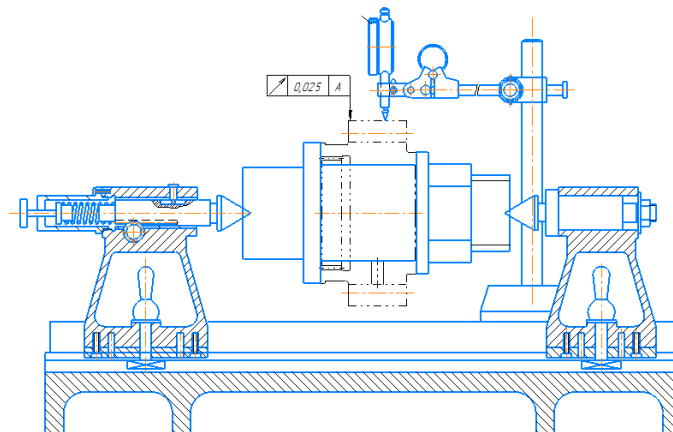


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

Ніжка (щуп) індикаторного годинника встановлюється на діаметр, що контролюється, по вершинам зубців з натягом 1 мм. Шляхом обертання деталі та ручного відведення та опускання ніжки індикаторного годинника міряють радіальне биття.

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Перевірку деталі «Центральне зубчасте колесо» на міцність виконаємо на основі аналізу максимальних навантажень в програмі NX модуль CAE. Оцінку міцності виконаємо на основі порівняння розрахункового граничного напруження, яке залежить від коефіцієнту запасу міцності, з довідниковим значенням границі міцності для матеріалу деталі.

Коефіцієнт запасу міцності за напруженням:

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

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі міцності матеріалу деталі, МПа;

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

Розрахункове значення граничного напруження, яке виникає в деталі має відповідати наступній вимозі:

$$\sigma_{max} \leq \frac{[\sigma]}{k} \quad (2.14)$$

Для розрахунку напружено-деформованого стану деталі було виконано 3D-модель та розбито її на сітку кінцевих елементів (рис. 2.5).

У вузлі центральне зубчасте колесо встановлюється по діаметру 46мм через підшипник на вал. Через шліці передається крутний момент на зовнішні зубці. Тому по шліцам було виконано закріплення деталі, а на зубець прикладено радіальну та тангенційну сили (рис. 2.6).

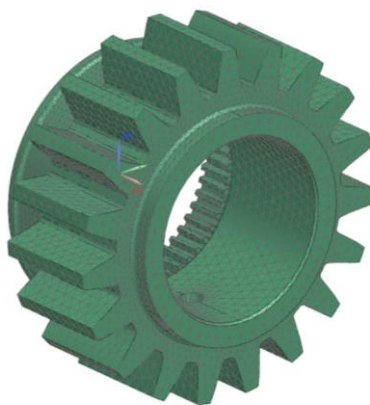


Рисунок 2.5 – 3D-модель, розбита на сітку кінцевих елементів

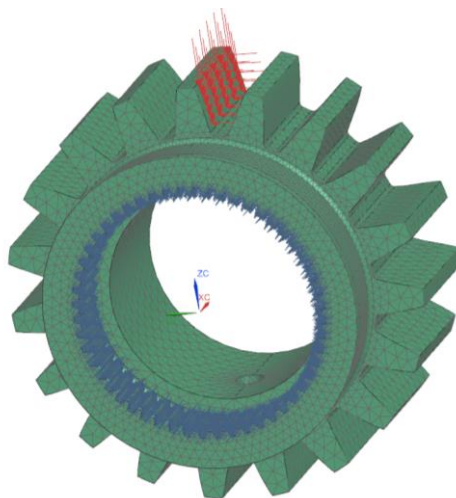


Рисунок 2.6 – 3D-модель центрального зубчастого колеса з накладеними обмеженнями

Далі був виконаний розрахунок напружено-деформованого стану колеса при навантаженні зубця та отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 2.7) в деталі. За результатами розрахунків визначено, що максимальне значення напруження знаходиться на ніжці зубця та становить 233 МПа.

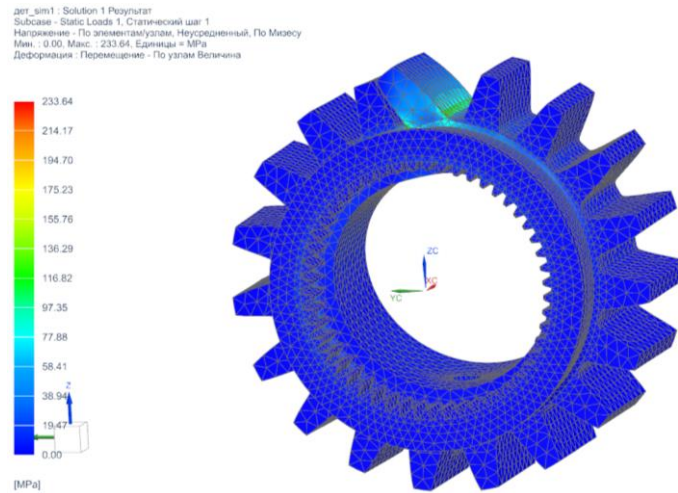


Рисунок 2.7 – Розподіл напружень

Згідно формули (2.13) зробимо перевірки максимального напруження:

$$\sigma_{max} = 233 \text{ МПа} \leq \frac{840}{2} = 420 \text{ МПа}$$

Результати розрахунку виявили майже 2 рази більший запас міцності деталі «Центральне зубчасте колесо», що говорить про те, що конструкцію та розміри можна вважати прийнятими.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Річну верстатоемність розрахуємо для кожної операції за формулою:

$$T_j = t_{ш-к_j} \cdot N \quad (3.1)$$

де N – річна програма випуску.

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

Розраховуємо кількість верстатів, необхідних для виконання операцій за формулою:

$$S_{pj} = \frac{\sum_{j=1} t_{ш-к_j} \cdot N_j}{F_g \cdot m \cdot 60} \quad (3.2)$$

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

Результати розрахунку за формулою (3.2) 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:

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

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

Визначаємо середній коефіцієнт завантаження верстатів за формулою:

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

$$\overline{K_3} = \frac{2,4}{13} = 0,18$$

Таблиця 3.1 – Вихідні дані та результати розрахунку необхідної кількості технологічного обладнання та його завантаження

Номер операції	Модель верстата	$t_{ш-к}$, хв	T, хв	S_p , шт	S_n , шт	K_3
015	CORMAK	5,07	12666,67	0,05	1	0,05
020	CORMAK	7,38	18441,67	0,08	1	0,08
025	CORMAK	8,48	21191,67	0,09	1	0,09
030	CORMAK	10,68	26691,67	0,11	1	0,11
035	5140	51,05	127620,83	0,53	1	0,53
040	5K324A	54,14	135350,00	0,56	1	0,56
045	MAST	2,70	6758,33	0,03	1	0,03
070	3K228	6,15	15362,50	0,06	1	0,06
075	3Д711	7,25	18112,50	0,08	1	0,08
080	CG 500	2,50	6255,00	0,03	1	0,03
085	3K228	3,84	9587,50	0,04	1	0,04
090	5B833	41,48	103695,83	0,43	1	0,43
095	5A913	29,65	74125,00	0,31	1	0,31

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки для деталі «Центральне зубчасте колесо»: $O=13$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів з ЧПК (операції 015...030). Максимальне значення основного часу буде на операції 030 – 8 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.

$$m_s = \frac{8 + 1,1}{0,91 + 0,15} = 8,6$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

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

$$R_1 = \frac{4}{8,6} = 0,46$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування $O=13$ верстатів необхідно $M=10$ робітників-операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

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

$$K_{30} = \frac{13}{10} = 1,3$$

Так як $1 < K_{30} < 10$, то остаточно тип виробництва приймаємо як серійний, а форму організації виробництва на лінії обробки – змінно-потокову. Але через те, що середній коефіцієнт завантаження верстатів досить малий (0,18), то діляницю виробництва деталей «Центральне зубчасте колесо» необхідно завантажити типовими деталями (шестернями, зубчастими колесами, зубчастими вінцями тощо) до рівня $\overline{K_3} > 0,75$.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Оцінку очікуваної економічної ефективності заходів від розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Центральне зубчасте колесо» проведемо за рахунок порівняння токарної обробки на існуючих на підприємстві універсальних верстатах (перший варіант) та на сучасних верстатів з ЧПК, при їх придбанні, (другий варіант) згідно таблиці 4.1.

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників за формулою [9]:

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

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{шти}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

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

$K_{б}$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному 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.

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [9]:

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

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

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2096$ год;

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

Таблиця 4.1 – Вихідні дані для розрахунку

Розрахункові параметри	Перший варіант						Другий варіант			
Модель верстата	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750	CORMAK 360x750
Штучний час $t_{шт}$, хв	15	12	16	18	15	12	4,4	6,71	7,81	10,01
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	350000						1099010			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Потужність електродвигунів N , кВт	11	11	11	11	11	11	5,1	5,1	5,1	5,1

Результати розрахунків наведено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.2 – Заробітна плата верстатника за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
010	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
015	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
020	Токарна	16	76,6	1,2	1,4	34,32
025	Токарна	18	76,6	1,2	1,4	38,61
030	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
035	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
					Σ	188,74

Таблиця 4.3 – Заробітна плата верстатника за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	C _{тар} , грн	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	4,4	57,5	1,2	1,4	7,08
20	Токарна	6,71	57,5	1,2	1,4	10,80
25	Токарна	7,81	57,5	1,2	1,4	12,57
30	Токарна	10,01	57,5	1,2	1,4	16,12
					Σ	46,58

Таблиця 4.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ _р , год	C _{тар} , грн	Ч _н	k _{доп}	k _{соц}	З _о , грн
15	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	20,32
20	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	20,32
25	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	20,32
30	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	20,32
						Σ	81,27

Визначимо амортизацію на обладнання за формулою [9]:

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

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 4.5, 4.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [9]:

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

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;

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт машинного часу, що визначається як відношення $t_{\text{маш}}/t_{\text{шт}}$;

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

$n_{\text{ін}}$ – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	$t_{\text{шт}}$, хв	К, грн	На, %	$F_{\text{д}}$	$A_{\text{від}}$, грн
010	Токарна	15	350000	14,2	4015	3,09
015	Токарна	12	350000	14,2	4015	2,48
020	Токарна	16	350000	14,2	4015	3,30
025	Токарна	18	350000	14,2	4015	3,71
030	Токарна	15	350000	14,2	4015	3,09
035	Токарна	12	350000	14,2	4015	2,48
					Σ	18,16

Таблиця 4.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	К, грн	На, %	F _д	A _{від} , грн
15	Токарна	4,4	1099010	14,2	4015	2,85
20	Токарна	6,71	1099010	14,2	4015	4,35
25	Токарна	7,81	1099010	14,2	4015	5,06
30	Токарна	10,01	1099010	14,2	4015	6,48
					Σ	18,74

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	15	Різець прохід.	250	2	80	3	0,4	4,69
015	Токарна	12	Різець розт.	250	2	80	3	0,4	3,75
020	Токарна	16	Різець прохід.	250	2	80	1	0,4	103,75
025	Токарна	18	Різець розт.	250	2	80	3	0,4	5,63
030	Токарна	15	Різець прохід.	250	2	80	3	0,4	4,69
035	Токарна	12	Різець розт.	250	2	80	3	0,4	3,75
								Σ	126,25

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _i грн	n _{ін}	T, хв	n _j	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	Токарна	17,38	Різець прохід.	350	2	80	3	0,4	1,05
			Різець розт.	350	2	80	3	0,4	0,88
020	Токарна	18,48	Різець прохід.	350	2	80	1	0,4	3,25

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Різець розт.	350	2	80	3	0,4	1,31
025	Токарна	14,08	Різець прохід.	350	2	80	3	0,4	1,75
			Різець розт.	350	2	80	3	0,4	1,67
030	Токарна	12,98	Різець прохід.	350	2	80	3	0,4	2,19
			Різець розт.	350	2	80	3	0,4	2,19
								Σ	14,28

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [9]:

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

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_{od} – 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_B – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Це грн	N _e кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _e	k _в	S _e , грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
010	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
015	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
020	Токарна	16	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,18
025	Токарна	18	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,58
030	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
035	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
										Σ	17,49

Таблиця 4.10 – Витрати на електроенергію за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Це грн	N _e кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _e	k _в	S _e , грн
015	Токарна	4,4	3,45	5,1	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,00
020	Токарна	6,71	3,45	5,1	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,52
025	Токарна	7,81	3,45	5,1	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,77
030	Токарна	10,01	3,45	5,1	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,27
										Σ	6,56

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [9]:

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

де $C_{то}$ – 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 першим варіантом

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
015	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
020	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
025	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
030	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
035	Токарна	350000	0,02	0,64	1,79
				Σ	10,75

Таблиця 4.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
015	Токарна	1099010	0,02	0,78	6,86
020	Токарна	1099010	0,02	0,78	6,86
025	Токарна	1099010	0,02	0,78	6,86
030	Токарна	1099010	0,02	0,78	6,86
				Σ	27,43

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою [9]:

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

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

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

t_{in} – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{in} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{in} = 5$ 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_{in} , хв	K_T	T_M	m	S_n грн
015	Токарна	Різець прохід.	4,4	50,9	6	4	0,9	80	2	0,05
		Різець розточ		50,9	6	4	0,9	80	2	0,06
020	Токарна	Різець прохід.	6,71	50,9	6	4	0,9	80	2	0,07
		Різець розточ		50,9	6	4	0,9	80	2	0,09
025	Токарна	Різець прохід.	7,81	50,9	6	4	0,9	80	2	0,10
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	80	2	0,09
030	Токарна	Різець прохід.	10,01	50,9	6	4	0,9	80	2	0,12
		Різець розточ.		50,9	6	4	0,9	80	2	0,12
									Σ	0,72

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [9]:

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

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

$$I_{n1} = 188,74 \cdot 0,2 = 37,75 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 46,58 \cdot 0,2 = 9,31 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [9]:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (4.9)$$

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	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	188,74	46,58
Заробітна плата наладчика	Z_n		81,27
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	18,16	18,74
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	126,25	14,28
Витрати на електроенергію	S_e	17,49	6,56
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	10,75	27,43
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,72
Витрати інші	I_n	37,75	9,31
Технологічна собівартість	C_T	399,14	204,89

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [9]:

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

$$E_{\text{ур}} = (399,14 - 204,89) \cdot 2500 = 485625 \text{ грн}$$

Згідно розрахунків при використанні верстатів з ЧПК з річною партією 2500 шт економічний ефект від впровадження за статтею собівартість складає 485625 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

У механообробному цеху з виготовлення зубчастих коліс важливе значення має забезпечення безпечних і здорових умов праці, що досягається шляхом дотримання встановлених санітарно-гігієнічних норм виробничого середовища. Одним із основних шкідливих факторів є виробничий шум, який виникає під час роботи металорізальних верстатів, зубофрезерних і шліфувальних машин. Відповідно до чинних норм, допустимий рівень шуму при восьмигодинній тривалості робочої зміни не повинен перевищувати 80 дБА [10]. У випадках, коли рівень шуму досягає 80...85 дБА, працівникам рекомендується використовувати засоби індивідуального захисту органів слуху, такі як протишумові навушники або беруші. Якщо ж рівень шуму перевищує 85 дБА, обов'язковим є впровадження комплексних заходів шумозахисту, зокрема застосування звукоізоляційних кожухів, екранів та інших технічних рішень.

Суттєвий вплив на організм працівників також має вібрація, яка виникає під час роботи обладнання. У механообробному цеху можуть діяти як локальна вібрація, що передається через ручний інструмент, так і загальна – через підлогу та стаціонарне обладнання. Для локальної вібрації допустимий рівень вібраційного прискорення становить до 126 дБ, тоді як параметри загальної вібрації регламентуються відповідними санітарними нормами залежно від частотних характеристик. З метою зменшення шкідливого впливу вібрації застосовуються віброгасильні пристрої, амортизувальні прокладки, а також засоби індивідуального захисту, зокрема спеціальні рукавиці.

Важливим фактором виробничого середовища є раціональне освітлення робочих місць. У механообробному цеху передбачається як загальне, так і місцеве освітлення. Рівень загального освітлення повинен становити 300...500 лк, тоді як освітленість безпосередньо в робочій зоні верстатів має бути в межах 500...1000 лк [10]. Освітлення має бути рівномірним, без різких

тіней та сліпучої дії, що забезпечує точність обробки деталей і зменшує втому зору працівників.

Мікроклімат виробничих приміщень також підлягає нормуванню і включає показники температури, вологості та швидкості руху повітря. Для робіт середньої важкості, до яких належать операції механообробки, оптимальна температура повітря в холодний період року становить 16...18 °С, а в теплий період 18...22 °С. Відносна вологість повітря повинна підтримуватися в межах 40...60%, при цьому допустиме значення не повинно перевищувати 75%. Швидкість руху повітря в робочій зоні має бути в межах 0,2...0,5 м/с. Для забезпечення відповідних параметрів мікроклімату в цеху передбачається ефективна система вентиляції, зокрема локальні витяжні пристрої біля джерел виділення тепла та шкідливих речовин.

У механообробному цеху з виготовлення зубчастих коліс важливим елементом системи охорони праці є забезпечення працівників спеціальним одягом та засобами індивідуального захисту, які призначені для запобігання впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Спеціальний одяг має відповідати умовам праці та характеру виконуваних робіт, бути зручним, не обмежувати рухів і водночас забезпечувати належний рівень захисту. Для працівників механообробних дільниць зазвичай застосовується бавовняний або змішаний костюм (куртка та штани або комбінезон), який має підвищену зносостійкість і не накопичує статичну електрику. Одяг повинен щільно прилягати до тіла, не мати звисаючих елементів, які можуть потрапити в рухомі частини верстатів, а рукави повинні застібатися на манжети.

До обов'язкових засобів індивідуального захисту належить захисне взуття, яке повинно мати неслизьку підошву та укріплений носок для запобігання травмуванню при падінні важких предметів. Для захисту рук застосовуються рукавиці або рукавички, що підбираються залежно від характеру робіт: при обробці заготовок – міцні брезентові або комбіновані, а при точних роботах – тонші, що не знижують чутливість пальців. Водночас при роботі на обертових верстатах використання рукавиць може бути

обмежене з міркувань безпеки, щоб уникнути їх захоплення рухомими частинами.

З метою захисту органів зору від металевої стружки, пилу та бризок мастильно-охолоджувальних рідин працівники мають використовувати захисні окуляри або щитки. У випадках утворення пилу або аерозолів використовуються респіратори відповідного класу захисту.

Додатково можуть застосовуватися засоби захисту голови (каска або захисні шапки) у зонах підвищеної небезпеки, а також захисні фартухи при виконанні робіт, пов'язаних із можливим розбризкуванням рідин. Усі засоби індивідуального захисту повинні відповідати чинним стандартам, регулярно перевірятися, утримуватися в справному стані та своєчасно замінюватися у разі зносу.

Таким чином, дотримання встановлених норм щодо рівня шуму, освітлення та параметрів мікроклімату є необхідною умовою забезпечення безпечної праці у механообробному цеху з виготовлення зубчастих коліс, сприяє зниженню професійних ризиків і підвищенню продуктивності праці.

ВИСНОВКИ

Під час роботи над дипломним проєктом було розроблено технологічний процес виготовлення центрального зубчастого колеса мастильної системи авіадвигуна. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки гарячим штампуванням, розраховано масу заготовки 2 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,4. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 53125 грн.

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

Для свердлильної операції з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX CAM.

Було спроектовано робоче пристосування для зубофрезерної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний пневмоциліндр. Також було запропоноване контрольне пристосування для контролю радіального биття.

Визначені параметри планування дільниці з виробництва зубчастих коліс. Було визначено кількість технологічного обладнання – 13 верстатів, чисельність основних виробничих робітників – 10 осіб.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Характеристика матеріала 40Х. URL: https://www.splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=32#google_vignette (дата звернення : 25.05.2026).
2. Богуслаєв В.О., Ципак В.І., Яценко В.К. Основи технології машинобудування : навчальний посібник для студ. Машинобуд. спец. вищ. навч. закл. Запоріжжя : 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 «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Н.В. Гончар, Л.О. Тумарченко, В.М. Томілін. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2024. 74 с.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М. : Машиностроение, 1985. Т. 1. 694 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. / под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. М. : Машиностроение, 1985. Т. 2. 652 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 нормировщика – машиностроителя / под ред. Е.И. Стружестраха. М. : Машгиз, 1961. Т. 2. 890 с.
8. Богуслаев В.А., Леховицер В.А., Смирнов А.С. Станочные приспособления. Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. 430 с.
9. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності

131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / "Запорізька політехніка" нац. ун-т. Каф. теоретичної та прикладної механіки; уклад. : Г.В. Пухальська Н.В. Запоріжжя : НУ "Запорізька політехніка", 2023. 41 с.

10. Винокурова Л. Е., Васильчук М. В., Гаман М. В. Основи охорони праці : Підручн. для проф. -техн. навч. закладів. – 2-ге вид., допов., перероб. Київ : Вікторія, 2001. 192 с.

ДОДАТОК А
Технологічні карти

[illegible]

															НУЗП 02.14.146.030	Листів 4	Лист 4		
					НУЗП	НУЗП 723652.030					М-113сп.1014.1.000001								
А	Цех	Діл	РМ	Опер.	Код, найменування операції					Позначення документа									
Б	Код, найменування устаткування					СМ	Проф.	Р	УП	КП	КОВД	ОН	ОП	Кшт	Тп.з.	Тшт			
А 01				095	4151 Зубоохонінгувальна					ЮП №014									
Б 02	381561			Зубоохонінгувальний 5А913					2	12277	5	1	1	1	шт	30	1	15	29,15
03																			
А 04				100	0125 Мийна					ЮП №008									
Б 05	514230			Мийна машина ММ-3					2	11629	5	1	1	1	шт	30	1		
06																			
А 07					0200 Контрольна					ЮП №009									
Б 08	XXXXXX			Контрольний стіл					2	13063	5	1	1	1	шт	30	1		
09																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
МК																			

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.26030

1

1

Розроб. Савостьянов

НУЗП

НУЗП 723652.030

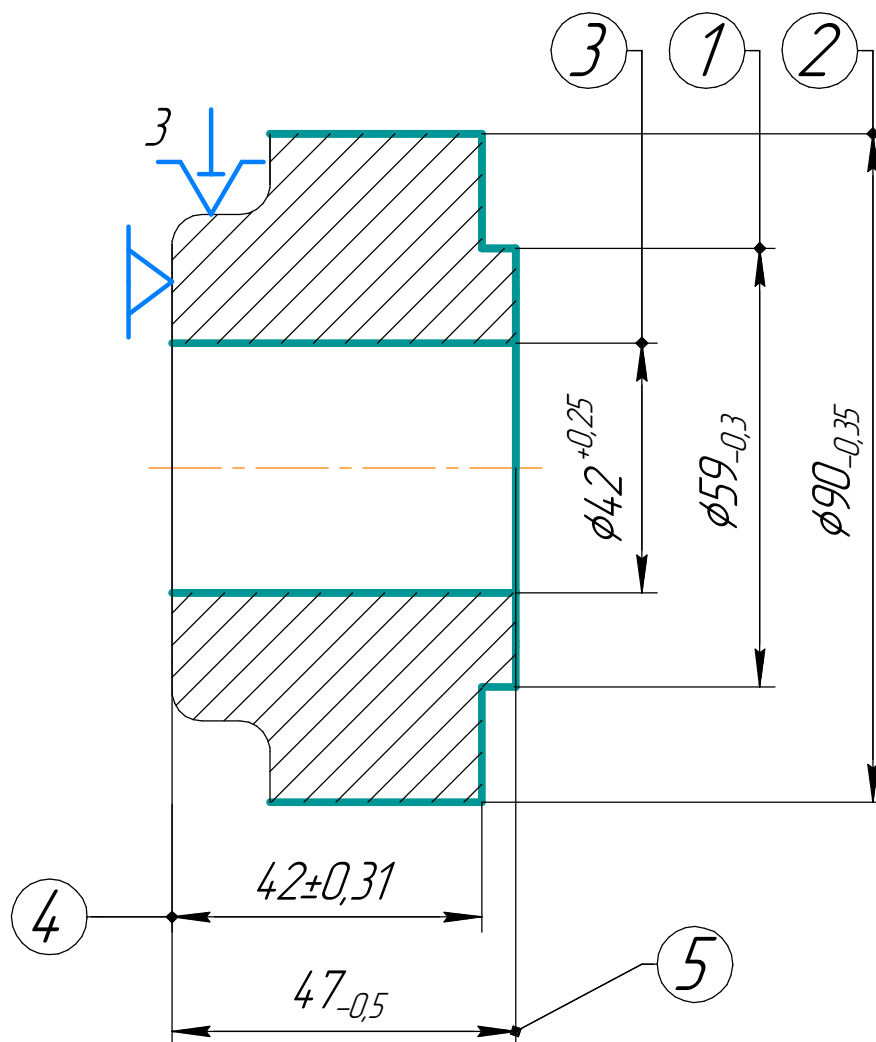
М-113сп.2014.1.00015

Перевір. Гончар

Н. контр. Дядя

Центральне зубчасте колесо

015

 $\sqrt{Ra6.3}$ 

* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.26.030

1

1

Розроб. Савостьянов

НУЗП

НУЗП 723652.030

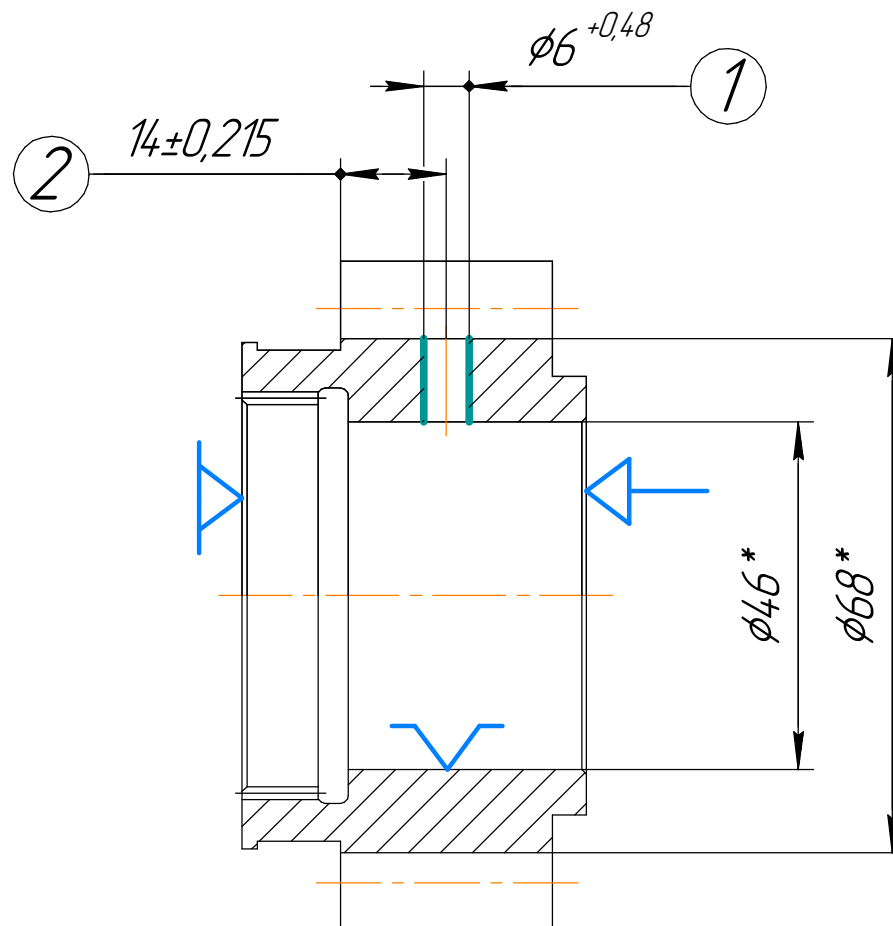
М-113сп.2014.1.00045

Перевір. Гончар

Н. контр. Дядя

Центральне зубчасте колесо

045



* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

НУЗП 0214.1.26030

1

1

Розроб. Савостьянов

НУЗП

НУЗП 723652.030

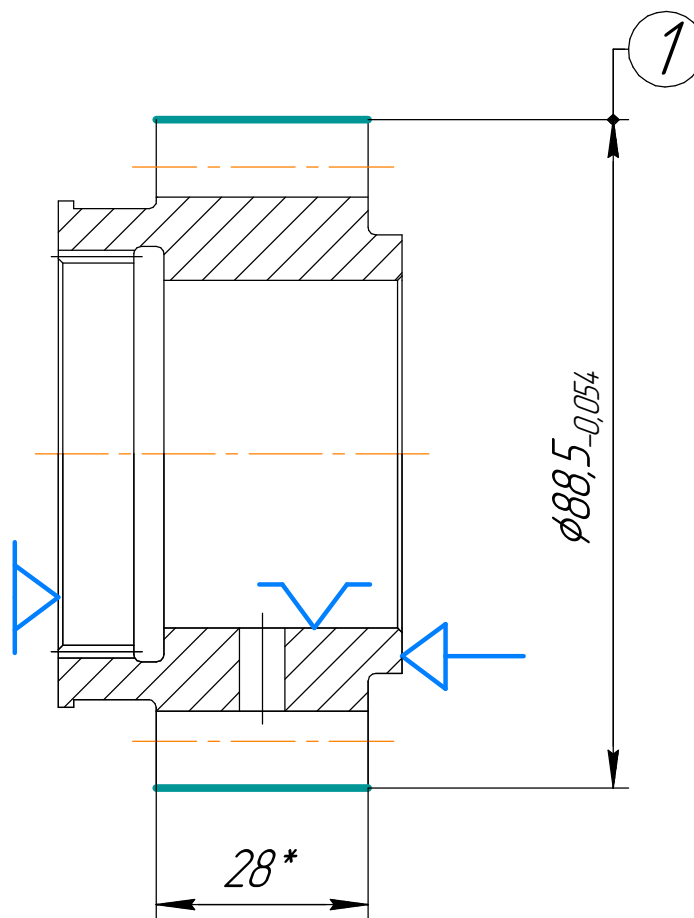
М-113сп.2014.1.00080

Перевір. Гончар

Н. контр. Дядя

Центральне зубчасте колесо

080



* розміри для довідок

