

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 шестерні ведучої»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КОЗАКОВСЬКИЙ С.С.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТРИШИН П.Р.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРІЗВИЩЕ 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)

КОЗАКОВСЬКИЙ Сергій Сергійович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Розроблення технологічного процесу виготовлення шестерні ведучої

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент, ТРИШИН Павло Романович
 (науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, 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 розробки або 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	ТРИШИН П.Р., к.т.н ., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., к.т.н ., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., к.т.н., доц.		

7. Дата видачі завдання 01.05.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Студент

_____ (підпис)

Сергій КОЗАКОВСЬКИЙ
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ (підпис)

Павло ТРИШИН
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 91 с., 18 рис., 23 табл., 1 додаток, 10 джерел.

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

Об'єкт дослідження – шестерня ведуча.

Мета роботи – розробити технологічний процес виготовлення шестерні ведучої.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В дипломному проєкті розроблено технологічний процес виготовлення шестерні, 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 ділянці, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КГШП – кривошипний горячештампований прес

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ.....	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	10
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням.....	13
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі	16
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	16
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	17
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	22
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	22
1.6 Розрахунок режимів різання	27
1.6.1 Зубофрезерна операція.....	27
1.6.2 Токарна операція з ЧПК.....	31
1.6.3 Шліфувальна операція.....	35
1.7 Технічне нормування операцій.....	38
1.7.1 Технічне нормування зубофрезерної операції 040.....	39
1.7.2 Технічне нормування токарної операції 025.....	41
1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 085.....	42
1.8 Розробка керуючої програми на фрезерну операцію з ЧПК.....	44
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	48
2.1 Проектування зубофрезерного пристосування	48
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	48
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	49
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	52
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	55
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	55

2.3 Розрахунок на міцність деталі	56
3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ	60
4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ	73
ВИСНОВКИ.....	76
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	78
Додаток А. Технологічні карти.....	80

ВСТУП

Сучасне машинобудування висуває підвищені вимоги до точності, надійності та довговічності деталей машин, зокрема елементів зубчастих передач, які є одними з найбільш відповідальних вузлів у механічних системах. Шестерні працюють в умовах значних змінних навантажень, високих контактних напружень та інтенсивного зношування, що обумовлює необхідність застосування раціональних конструктивних рішень і прогресивних технологій їх виготовлення.

В умовах серійного виробництва особливого значення набуває розробка оптимального технологічного процесу, який забезпечує високу якість продукції при мінімальних витратах матеріалів, енергії та часу. Вибір способу отримання заготовки, маршрут обробки, режимів різання, технологічного оснащення та засобів контролю безпосередньо впливає на собівартість виробу та стабільність його експлуатаційних характеристик.

Метою даної дипломної роботи є розробка технологічного процесу виготовлення шестерні ведучої з матеріалу 14ХГСН2МА-Ш в умовах серійного виробництва, з обґрунтуванням вибору заготовки, технологічного маршруту обробки, обладнання, пристосувань та засобів контролю.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання: проаналізувати конструкцію деталі та її службове призначення, обґрунтувати вибір типу виробництва, вибрати раціональний спосіб отримання заготовки, розробити маршрут механічної обробки, виконати розрахунки припусків і технологічних розмірів, спроектувати пристосування для основних операцій, а також розглянути питання охорони праці та електробезпеки.

У процесі виконання роботи використовуються сучасні методи проєктування технологічних процесів, зокрема CAD/CAM/CAE системи, що дозволяє підвищити точність розрахунків, скоротити час підготовки виробництва та забезпечити відповідність виробу вимогам конструкторської

документації.

Розробка даного технологічного процесу є актуальною, оскільки спрямована на підвищення ефективності виробництва зубчастих передач та зниження їх собівартості при збереженні високого рівня якості та надійності.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «шестерня ведуча» є складовою частиною редуктора та призначена для передачі крутного моменту від швидкохідного вала до тихохідного з одночасною зміною частоти обертання та величини крутного моменту. Вона працює в умовах змінних навантажень, контактних напружень та тертя, що обумовлює підвищені вимоги до міцності, зносостійкості та точності виготовлення.

Конструктивно деталь являє собою циліндричну зубчасту шестерню із зовнішнім зубчастим вінцем та центральним отвором, у якому виконані внутрішні шліци (рис. 1.1). Зубчастий вінець має модуль $m = 3$ та кількість зубців $z = 25$, що забезпечує необхідні кінематичні та силові параметри передачі. Зовнішні зубці призначені для безпосереднього входження в зачеплення з відповідною шестернею тихохідного вала.



Рисунок 1.1 – Зображення деталі

У центральному отворі деталі виконані внутрішні шліци, які слугують для встановлення шестерні на вал. Така конструкція забезпечує надійну передачу крутного моменту без провертання, а також точне центрування деталі відносно

осі вала. Шліцьове з'єднання дозволяє передавати значні навантаження та спрощує монтаж і демонтаж вузла.

Для виготовлення шестерні використовується легована конструкційна сталь 14ХГСН2МА-Ш (таблиця 1.1), яка характеризується високою міцністю, доброю прокаліюваністю та підвищеною зносостійкістю після термічної обробки. Це забезпечує надійну роботу деталі в умовах циклічних навантажень і контактної втоми.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 14ХГС2МА-Ш [1]

S	Fe	Ni	Cr	Mn	Si	Mo	C	V	P
≤0,025	осн	1,6...	1,2...	0,7...	0,45...	0,25...	0,11...	0,03...	≤0,03
		2	1,6	1	0,7	0,4	0,16	0,06	

З метою досягнення необхідних експлуатаційних властивостей деталей піддається термічній обробці – гартуванню з подальшим відпуском до твердості 30...42 HRC. Такий інтервал твердості є оптимальним для забезпечення достатньої міцності серцевини та зносостійкості робочих поверхонь зубців без надмірної крихкості.

Таким чином, шестерня ведуча є відповідальною деталлю редуктора, від якої залежить надійність і довговічність роботи всієї передачі. Її конструкція та матеріал підібрані з урахуванням умов експлуатації, що забезпечує ефективну передачу крутного моменту та стійкість до зношування.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Вибір типу виробництва є важливим етапом при розробці технологічного процесу, оскільки він визначає підхід до організації виготовлення деталі, вибір обладнання, оснащення та рівень спеціалізації робочих місць.

Тип виробництва встановлюється на основі річної програми випуску та маси деталі. У даному випадку річна програма становить 2000 шт/рік, а маса деталі – 0,3 кг. Згідно з класифікацією машинобудівного виробництва, така програма випуску відповідає серійному типу виробництва [2].

Серійне виробництво характеризується виготовленням деталей партіями, що періодично повторюються. Для нього притаманні:

- використання універсального та спеціалізованого обладнання;
- застосування спеціальних і універсально-налагоджуваних пристроїв;
- часткова спеціалізація робочих місць;
- можливість впровадження прогресивних методів обробки.

З урахуванням серійного характеру виробництва доцільно обрати зміно-поточну форму організації робіт. Така форма передбачає розташування обладнання за ходом технологічного процесу та виконання операцій у визначеній послідовності, при цьому обробка деталей здійснюється партіями з передачею їх від операції до операції.

Зміно-поточна організація забезпечує:

- раціональне використання обладнання;
- скорочення тривалості виробничого циклу;
- зменшення міжопераційних простоїв;
- підвищення продуктивності праці.

Кількість партії оброблюваних деталей:

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

де N – річна програма випуску;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво;

A – кількість робочих днів на рік.

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

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Вибір раціонального способу отримання заготовки є важливим етапом проєктування технологічного процесу, оскільки він суттєво впливає на собівартість деталі, коефіцієнт використання матеріалу, обсяг механічної обробки та продуктивність виготовлення.

Для шестерні привода (рис. 1.1) доцільно розглянути два можливі способи одержання заготовки:

- штампування на кривошипному гарячештампувальному пресі (КГШП);
- штампування на молоті.

Обидва способи відносяться до гарячого об'ємного штампування і забезпечують отримання заготовок, форма яких максимально наближена до форми готової деталі, що дозволяє зменшити припуски на механічну обробку.

Спосіб розміщення заготовки при штампуванні обирається з урахуванням геометрії деталі. У даному випадку заготовку доцільно розміщувати вертикально, при цьому вісь роз'єму штампа проходить через найбільший діаметр деталі. Така схема забезпечує:

- рівномірне заповнення порожнини штампа;
- зменшення перекосів волокон металу;
- спрощення видалення облоя;
- підвищення точності заготовки.

Маси заготовок визначаються за допомогою 3D-моделювання шляхом вимірювання масово-центровочних характеристик. Розроблені 3D-моделі заготовок для кожного способу штампування та відповідні значення має наведені на рис. 1.2 та рис. 1.3.

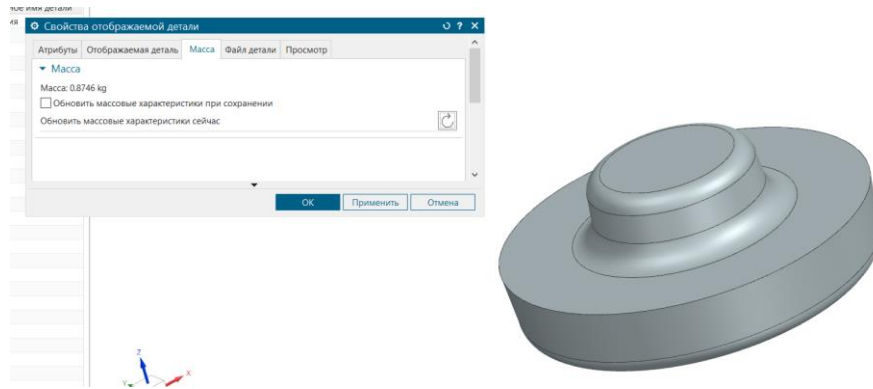


Рисунок 1.2 – 3D-модель заготовки, що отримується на КГШП

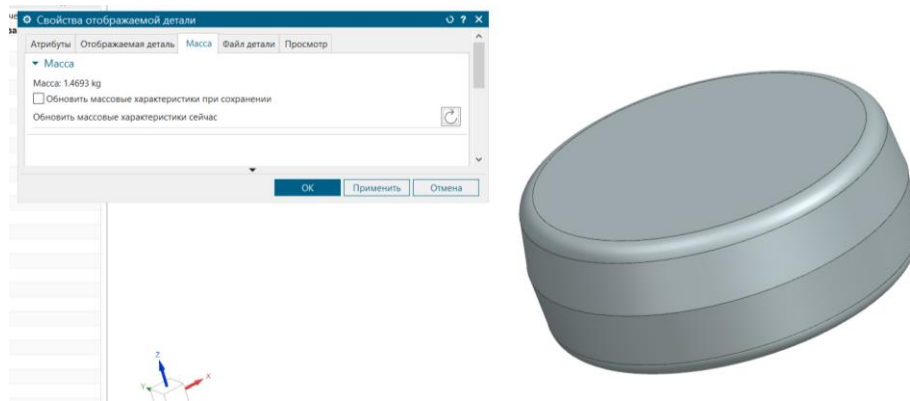


Рисунок 1.3 – 3D-модель заготовки, що отримується на молоті

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

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

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовок, грн. [3];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [3];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [3];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [3];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [3];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [3];

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

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,9 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,27 \cdot 0,77 \cdot 1 - (0,9 - 0,3) \cdot \frac{140}{1000} = 4,5 \text{ грн}$$

$$B_{\text{М}} = \frac{3500}{1000} \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,27 \cdot 0,77 \cdot 1 - (1,5 - 0,3) \cdot \frac{140}{1000} = 7,5 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

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

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,3}{0,9} = 0,3$$

$$\eta_{\text{М}} = \frac{0,3}{1,5} = 0,2$$

Розрахункові значення параметрів заготовки заносимо в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Молот
Вага заготовки	Q	кг	0,9	1,5
Базова вартість 1 т заготовки	B _Б	грн	3500	3500
Коефіцієнти	K _Т		1,0	1,0
	K _М		1,51	1,51
	K _С		0,77	0,77
	K _З		1,27	1,27
	K _П		1,0	1,0
Вартість 1 т стружки	B _{відх}	грн	140	140
Собівартість заготовки	B _з	грн	4,5	7,5
КВМ	η		0,3	0,2

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок розраховується за формулою:

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

$$E_B = (7,5 - 4,5) \cdot 2000 = 6000 \text{ грн}$$

Річні заощадження витрат матеріалу розраховується за формулою:

$$M_e = \frac{q(\eta_k - \eta_z)}{\eta_z \cdot \eta_k} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{0,3 \cdot (0,3 - 0,2)}{0,3 \cdot 0,2} \cdot 2000 = 1000 \text{ кг}$$

На підставі техніко-економічного порівняння встановлено, що для виготовлення шестерні привода доцільно застосувати штампування на КГШП. Даний спосіб забезпечує більш високу точність заготовки, кращий коефіцієнт використання матеріалу та зниження трудомісткості механічної обробки, що є економічно доцільним для серійного виробництва.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

Вибір технологічних баз при розробці процесу виготовлення шестерні ведучої здійснюється з урахуванням її конструктивних особливостей, вимог до точності та необхідності забезпечення співпадіння технологічних і конструкторських баз. Це дозволяє мінімізувати похибки взаємного розташування поверхонь та забезпечити стабільність якості деталі.

На операціях токарної обробки за технологічні бази приймаються зовнішні циліндричні поверхні діаметрами Ø81 мм та Ø35 мм разом із крайнім торцем. Таке базування забезпечує надійне встановлення заготовки, правильне формування поверхонь обертання та створює необхідну основу для виконання подальших операцій.

При зубофрезеруванні базування здійснюється по отвору $\varnothing 35$ мм і крайньому торцю. Це дозволяє забезпечити точне розташування зубчастого вінця відносно осі деталі, що є визначальним фактором для правильної роботи зубчастої передачі та зменшення шуму і зносу в процесі експлуатації.

На операціях круглого шліфування в якості баз використовуються шліцьовий отвір та отвір $\varnothing 35$ мм, що дає змогу досягти високої співвісності оброблюваних поверхонь і забезпечити необхідну точність та якість обробки. При внутрішньому шліфуванні базування здійснюється по зовнішньому діаметру $\varnothing 81$ мм, що забезпечує стійке положення деталі під час обробки та точність внутрішніх поверхонь.

Таким чином, обраний варіант базування забезпечує необхідну точність виготовлення шестерні, узгодженість технологічних і конструкторських баз, а також стабільність технологічного процесу в умовах серійного виробництва.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) складається з послідовності способів обробки, тобто переходів, які забезпечують поступове досягнення заданих показників точності та шорсткості. Формування маршруту виконується з урахуванням вимог креслення, властивостей матеріалу та типу виробництва.

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні визначається як різниця між початковими параметрами заготовки та кінцевими параметрами готової деталі. Для цього використовуються залежності, що дозволяють оцінити необхідну кількість переходів обробки.

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

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

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

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

де Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

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

де Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні $\varnothing 35h6$ загальне уточнення за точністю визначається як:

$$\begin{aligned} \varepsilon_d &= \frac{1,2}{0,016} = 75 \\ \varepsilon_{Ra} &= \frac{25}{0,8} = 31 \\ \varepsilon_{\Delta} &= \frac{1,5}{0,02} = 75 \end{aligned}$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

$$\begin{aligned} k &= 2 \cdot \lg \varepsilon \\ k &= 2 \cdot \lg 75 = 3,8 \end{aligned} \quad (1.9)$$

Приймаємо чотири переходи.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) Для допуску: IT17 → h12 → h10 → TO → h8 → h6
- 2) Для шорсткості: Ra25 → Ra6,3 → Ra3,2 → TO → Ra1,6 → Ra0,8

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

Розраховуємо уточнення для першого переходу ($T_{D1}=250$ мкм; $T_{Ra1}=6,3$ мкм [4]):

$$\varepsilon_{d1} = \frac{1200}{250} = 4,8$$

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

Розраховуємо уточнення для другого переходу точіння чистове ($T_{D2}=100$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [4]):

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 4,8 \cdot 2,5 = 12 < \varepsilon_d = 75$$

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

Розраховуємо уточнення для четвертого переходу – шліфування чорнове: ($T_{D4}=39$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [4]):

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

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 12 \cdot 2,5 = 30 < \varepsilon_d = 75$$

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

Розраховуємо уточнення для п'ятого переходу – чистове шліфування:
($T_{D5}=16$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [4]):

$$\varepsilon_{d5} = \frac{39}{16} = 2,4$$

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

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 30 \cdot 2,4 = 72 \geq \varepsilon_d = 75$$

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

Розрахунок МОП інших поверхонь заносено до таблиці 1.3.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) визначає послідовність виконання технологічних операцій від отримання заготовки до отримання готового виробу, що відповідає вимогам креслення за точністю, шорсткістю та експлуатаційними характеристиками. Його побудова здійснюється з урахуванням конструкції шестерні, матеріалу та умов середньосерійного виробництва.

Виготовлення деталі починається з отримання заготовки методом гарячого штампування, що забезпечує раціональну форму та зменшення припусків на механічну обробку. Після цього заготовка піддається попередній термічній

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
Зовнішня циліндрична поверхня– Ø35h6 Ra0,8	Td Ra	75 31	3,8	4	$\Delta IT = IT17 - h6 = 11$ IT17 $\rightarrow$ h12 $\rightarrow$ h10 $\rightarrow$ h8 $\rightarrow$ h6 Ra25 $\rightarrow$ Ra6,3 $\rightarrow$ Ra3,2 $\rightarrow$ Ra1,6 $\rightarrow$ Ra0,8	1	Заготовка-штамповка	1200	25	-	-
						2	Точіння чорнове	250	6,3	4,8	3,9
						3	Точіння чистове	100	3,2	2,5	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування чорнове	39	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чистове	16	0,8	2,4	2
Внутрішня циліндрична поверхня Ø35G7 Ra0,8	Td Ra	48 31,2	3,3	4	$\Delta IT = IT17 - H8 = 8$ IT17 $\rightarrow$ H12 $\rightarrow$ H10 $\rightarrow$ H8 $\rightarrow$ G7 Ra25 $\rightarrow$ Ra6,3 $\rightarrow$ Ra3,2 $\rightarrow$ Ra1,6 $\rightarrow$ Ra0,8	1	Заготовка	1200	25	-	-
						2	Точіння чорнове	250	6,3	4,8	3,9
						3	Точіння чистове	100	3,2	2,5	2
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування чорнове	39	1,6	2,5	2
						6	Шліфування чистове	25	0,8	1,6	2

обробці (ТО), яка спрямована на покращення структури матеріалу та зняття внутрішніх напружень.

Далі виконується механічна обробка, яка починається з токарної чорнової обробки, під час якої знімається основний припуск і формується загальна геометрія деталі. Наступним етапом є токарна чистова обробка, що забезпечує досягнення необхідної точності базових поверхонь. Після цього виконується зубофрезерна операція для нарізання зубчастого вінця, яка є однією з ключових у формуванні функціональних властивостей шестерні.

Для обробки внутрішніх шліців застосовується протяжна операція, яка забезпечує високу точність і продуктивність формування шліцевого профілю. Після цього проводяться слюсарні роботи, пов'язані з видаленням задирок та доведенням поверхонь, а також мийна операція для очищення деталі від залишків мастильно-охолоджувальних рідин і стружки. На даному етапі виконується проміжний контроль якості.

Після механічної обробки деталь піддається основній термічній обробці з метою досягнення заданої твердості та експлуатаційних властивостей. Далі виконуються шліфувальні операції, які включають зовнішнє та внутрішнє шліфування, що проводяться спочатку начорно, а потім начисто для досягнення високої точності та необхідної шорсткості поверхонь.

Завершальним етапом є зубошліфування, яке забезпечує високу точність профілю зубців, зменшення шорсткості та покращення умов роботи зубчастого зачеплення. Після цього виконується остаточний контроль деталі.

Таким чином, запропонований маршрут виготовлення забезпечує послідовне формування геометрії деталі, досягнення необхідних фізико-механічних властивостей та відповідність усім технічним вимогам.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків і технологічних розмірів є важливим етапом розробки технологічного процесу, оскільки він забезпечує досягнення заданої точності та якості поверхонь при мінімальних витратах матеріалу і часу обробки. У даному розділі розглянемо методику визначення припусків розрахунково-аналітичним методом та розрахунок технологічних розмірів методом розмірних ланцюгів для поверхні Ø35h6.

Для поверхні Ø35h6 кінцевий розмір визначається відповідно до квалітету h6, що забезпечує високу точність обробки. Загальний припуск розподіляється між окремими переходами: чорновим точінням, напівчистою обробкою, чистовим точінням і шліфуванням. При цьому на кожному етапі передбачається поступове зменшення похибок та шорсткості поверхні. Вибираємо нормативні та розрахункові значення елементів припусків:

- Для заготівлі: $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [4].
- Для точіння чорнового: $Rz_2 = 40$ мкм, $h_2 = 40$ мкм [4].
- Для точіння чистового: $Rz_3 = 20$ мкм, $h_3 = 20$ мкм [4].
- Для шліфування чорнового: $Rz_5 = 10$ мкм, $h_5 = 15$ мкм [4].
- Для шліфування чистового: $Rz_6 = 5$ мкм, $h_6 = 5$ мкм [4].

Розрахунково-аналітичний метод передбачає визначення загального припуску як суми складових, що враховують похибки попередніх операцій, шорсткість поверхні та можливі відхилення форми. Загальний припуск на обробку визначається як різниця між розміром заготовки та розміром готової деталі з урахуванням допусків.

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

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

де $\rho_{\text{кор}}$ – похибка від короблення [4];

$\rho_{\text{зм}}$ – перекис центрального отвору [4];

$$\rho_1 = \sqrt{0,5^2 + 0,8^2} = 0,9 \text{ мм}$$

Просторове відхилення визначаємо за формулою:

$$\rho_j = K_{\text{ут}} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.11)$$

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

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 900 = 50 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_3 = 0,25 \cdot \sqrt{1,2^2 + 1} = 0,4 \text{ мм}$$

Просторове відхилення:

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 50 = 2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = K_{\text{ут}} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_3 = 0,04 \cdot 400 = 16 \text{ мкм}$$

Для термической обработки просторове відхилення:

$$\rho_4 = \Delta_{\text{к}} \cdot L \quad (1.14)$$

де $\Delta_{\text{кор}}$ – кривизна після ТО [4].

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 29 = 3 \text{ мкм}$$

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (3 + 2) = 0,1 \text{ мкм}$$

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

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

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

Мінімальні припуски за переходами:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.15)$$

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{900^2 + 400^2}) = 2690 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{50^2 + 16^2}) = 265 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{2^2 + 0,5^2}) = 84 \text{ мкм}$$

$$2z_6^{\min} = 2(10 + 15 + \sqrt{0,1^2 + 0^2}) = 50 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_6^{\max} = d_4^{\min} + ES_{d4} \quad (1.16)$$

$$d_6^{\max} = 35 + 0 = 35 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.17)$$

$$d_5^{\max} = 35 + 0,050 + 0,039 = 35,089 \text{ мкм}$$

$$d_3^{\max} = 35,089 + 0,084 + 0,10 = 35,273 \text{ мкм}$$

$$d_2^{\max} = 35,273 + 0,265 + 0,25 = 35,788 \text{ мкм}$$

$$d_1^{\max} = 35,788 + 2,69 + 1,2 = 39,678 \rightarrow 39,7 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.18)$$

$$d_6^{\min} = 35,0 - 0,016 = 34,984 \text{ мм}$$

$$d_5^{\min} = 35,089 - 0,039 = 35,05 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 35,273 - 0,10 = 35,173 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 35,788 - 0,25 = 35,538 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 39,7 - 1,2 = 38,5 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.19)$$

$$2z_2^{\max} = 39,7 - 35,538 = 4,162 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 35,788 - 35,173 = 0,615 \text{ мм}$$

$$2z_5^{\max} = 35,273 - 35,05 = 0,223 \text{ мм}$$

$$2z_6^{\max} = 35,089 - 34,984 = 0,105 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{зар}} + TD_{\text{дет}} \quad (1.20)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min} \quad (1.21)$$

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

$$2z_0^{\max} = 39,7 - 34,984 = 4,716 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 38,5 - 35 = 3,5 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,2 + 0,016 = 1,216 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,716 - 3,5 = 1,216 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 38,9_{-0,4}^{+0,8}$ мм.

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуски		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки		$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
Ø35h6 Ra=0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	1,2	39,7	38,5	-	-	Ø38,9 ^{+0,8} _{-0,4}
	12	Точін. чорн.	0,25	35,788	35,538	4,162	2,69	Ø 35,8 _{-0,25}
	10	Точін. чист.	0,10	35,273	35,173	0,615	0,265	Ø 35,3 _{-0,1}
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф. чорн.	0,039	35,089	35,05	0,223	0,084	Ø 35,089 _{-0,039}
	6	Шліф. чист.	0,016	35	34,984	0,105	0,050	Ø35 _{-0,016}
	4,716-3,5=1,2+0,016			1,216=1,216		4,605	3,394	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Зубофрезерна операція

Зубофрезерна операція №40 (рис. 1.4) є однією з основних при виготовленні шестерні, оскільки саме на цьому етапі формується зубчастий вінець, який визначає кінематичні та експлуатаційні характеристики передачі.

Для фрезерування зубців обирається зуборізний верстат моделі 5K324A (таблиця 1.5), який забезпечує необхідну точність обробки та продуктивність в умовах середньосерійного виробництва. Даний верстат дозволяє виконувати обробку циліндричних зубчастих коліс методом обкатування та характеризується достатньою жорсткістю і надійністю.

З урахуванням серійного типу виробництва в якості різального інструмента обирається однозахідна права черв'ячна фреза з модулем $m = 3$. Використання такого інструмента забезпечує необхідну точність профілю зубців та високу продуктивність процесу. Фреза має наступні геометричні параметри: зовнішній діаметр $D = 112$ мм, посадковий діаметр $d = 40$ мм, довжину $L = 112$ мм, кількість зубців $z = 12$ [5], матеріал інструмента —

швидкорізальна сталь Р6М6, що забезпечує достатню стійкість інструмента при обробці легованих сталей.

Таблиця 1.5 – Технічні характеристики верстата

Параметри	Значення
Частоти обертання шпинделя фрези, об/хв	75 ... 500
Потужність, кВт	7,5
Найбільший діаметр оброблюваної заготовки, мм	200
Подача вертикальна, мм/хв	0,45...120
Найбільша ширина венця заготовки, мм	180

Операційний ескіз зубофрезерної обробки наведено на рис. 1.6 та відображає схему базування і закріплення деталі, а також положення інструмента відносно заготовки.

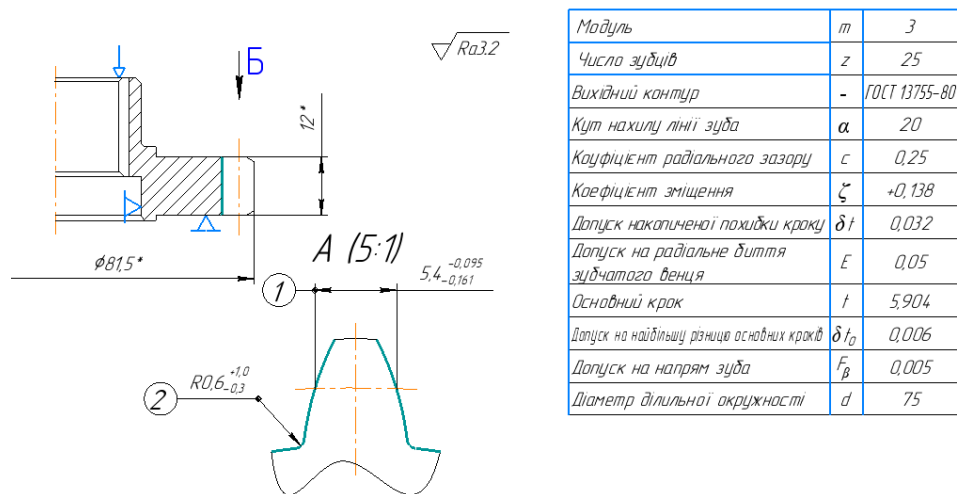


Рисунок 1.4 – Ескіз зубофрезерної операції

Для встановлення та закріплення заготовки застосовується спеціальний пристрій з автоматичним закріпленням, який забезпечує швидке та надійне базування деталі, зменшення допоміжного часу та підвищення продуктивності

обробки. Використання такого пристрою є доцільним в умовах серійного виробництва.

Контроль якості зубчастого вінця здійснюється за допомогою спеціальних вимірювальних засобів. Для перевірки товщини зуба по постійній хорді застосовується зубомір, що дозволяє оперативно контролювати точність профілю зубців. Крім того, використовується пристрій для контролю радіального биття зуба, який забезпечує оцінку співвісності та точності розташування зубчастого вінця відносно базових поверхонь.

Таким чином, обрана схема виконання зубофрезерної операції забезпечує необхідну точність виготовлення зубчастого вінця, високу продуктивність процесу та відповідність вимогам серійного виробництва.

Розраховуємо подачу за формулою:

$$S = S_T \cdot K_{HB} \cdot K_{COЖ} \cdot K_S \cdot K_{HP} \cdot K_{PI} \quad (1.23)$$

де S_T – табличне значення подачі [6];

K_{HB} – поправочний коефіцієнт, що залежить від твердості оброблюваного матеріалу [6];

$K_{COЖ}$ – поправочний коефіцієнт, залежить від використання СОТС [6];

K_S – поправочний коефіцієнт враховує напрям руху подачі [6];

K_{HP} – поправочний коефіцієнт враховує клас точності фрези [6];

K_{PI} – поправочний коефіцієнт враховує матеріал фрези [6].

$$S_p = 1,35 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,9 \text{ мм/об}$$

Приймаємо 0,8 мм/об.

Швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V = V_m \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{Vj} \cdot K_{Vo} \cdot K_{VT} \cdot K_{Vc} \cdot K_{V\phi} \cdot K_{Vж} \quad (1.24)$$

де V_m – табличне значення швидкості [6];

K_{PI} – враховує оброблюваний матеріал [6];

K_{CT} – поправочний коефіцієнт, що враховує стійкість фрези [6];

K_{II} – залежить від виду обробки [6];

K_C – залежить від використання СОЖ [6];

K_L – залежить від глибини різання [6].

$$V_p = 35 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 22 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{3,14 \cdot D} \quad (1.25)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 22}{3,14 \cdot 112} = 72 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d = 80 \text{ об/хв}$.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot D \cdot n}{1000} \quad (1.26)$$

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 112 \cdot 80}{1000} = 25 \text{ м/хв}$$

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{(b + L_{вр} + L_{пер}) \cdot Z}{S \cdot n \cdot K}, \text{ хв} \quad (1.27)$$

де b – довжина фрезерування, мм;

$L_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$L_{вр}$ – величина врізання, мм.

K – кількість заходів фрези;

Z – кількість зубів колеса.

$$L_{вр} = \sqrt{t \cdot (D_\phi - t)}, \text{ мм} \quad (1.28)$$

де t – глибина западини;

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot m + tg(\beta - \omega) + 4, \text{ мм} \quad (1.29)$$

де ω – кут підйому витка фрези.

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot 3 + tg(0 - 2) + 4 = 12 \text{ мм}$$

$$L_{\text{вр}} = \sqrt{6,6 \cdot (112 - 6,6)} = 24 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(24 + 12 + 12) \cdot 25}{80 \cdot 0,8 \cdot 1} = 18 \text{ хв}$$

1.6.2 Токарна операція з ЧПК

Чистова токарна операція №25 обробки деталі виконується на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) MAST ML, який забезпечує високу точність, стабільність розмірів та повторюваність обробки в умовах середньосерійного виробництва. Основні технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.6. Операційний ескіз токарної обробки представлений на рис. 1.5 і відображає схему базування та послідовність виконання переходів.

Таблиця 1.6 – Технічна характеристика верстата

Параметр	Значення
Загальні розміри (Д×Ш×В), мм	2950 × 1500 × 1900
Максимальний діаметр обробки над станиною, мм	Ø 520
Максимальний діаметр обробки над супортом, мм	Ø 290
Відстань між центрами, мм	1500
Діаметр отвору шпинделя, мм	Ø 105
Частота обертання шпинделя, об/хв	200–1200
Потужність електродвигуна, кВт	11
Ширина станини, мм	440

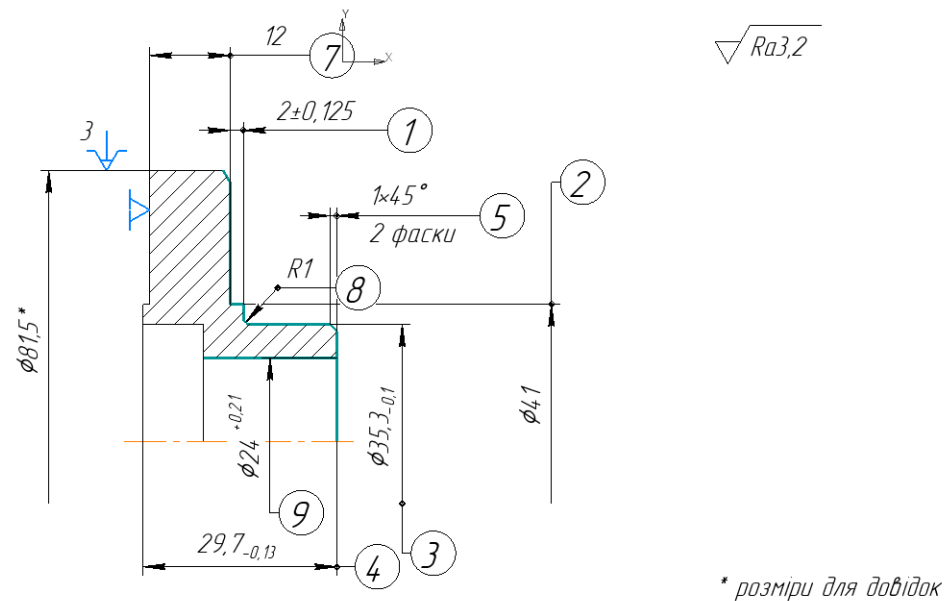


Рисунок 1.5 – Операційний ескіз

Закріплення заготовки здійснюється у трикулачковому патроні, що забезпечує швидке центрування деталі по зовнішній поверхні та достатню жорсткість системи «верстат–пристрій–інструмент–заготовка». Такий спосіб базування є доцільним для даної операції та відповідає умовам серійного виробництва.

Операція включає послідовне виконання кількох переходів. Спочатку здійснюється підрізка торців та зовнішнє точіння для забезпечення базових поверхонь і необхідної довжини деталі. Після цього проводиться розсвердлення отвору, що забезпечує отримання внутрішнього базового розміру для подальших операцій.

Для виконання операції використовується відповідний різальний інструмент. Підрізка торців і зовнішнє точіння виконуються підрізним різцем 2112-0006 з геометричними параметрами $\phi = 105^\circ$, $\alpha = 10^\circ$, $\gamma = 8^\circ$, радіусом при вершині $r = 0,8$ мм, розмірами державки $25 \times 16 \times 140$ мм [5], оснащеним твердосплавною пластиною з матеріалу Т15К6 відповідно до ГОСТ 18880-73. Для свердління отвору використовуємо свердло 24 мм з Р6М5. Такий інструмент забезпечує достатню міцність, зносостійкість і якість оброблюваної поверхні.

Глибина різання розраховується за формулою:

$$t = \frac{Z_{max}}{i}, \quad (1.30)$$

де i – кількість проходів.

$$t_1 = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{24 - 15}{2} = 3,5 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою (1.23):

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

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

K_{Sr} – коефіцієнт, що враховує радіус вершини, [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].

$$S_1 = 0,12 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,25 = 0,15 \text{ мм/об}$$

$$S_2 = 0,45 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,2 = 0,35 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_1 = 0,1$ мм/об, $S_2 = 0,3$ мм/об.

Швидкість різання розраховується за формулою (1.24):

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];

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

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

$$V_1 = 216 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1 = 124 \text{ м/хв}$$

$$V_2 = 46 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 29 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховується за формулою (1.25):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 124}{3,14 \cdot 81,5} = 485 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 29}{3,14 \cdot 24} = 384 \text{ об/хв}$$

Приймається $n_1=400$ об/хв, $n_2=350$ об/хв.

Дійсна швидкість різання розраховується за формулою (1.26):

$$V_{д1} = \frac{400 \cdot 3,14 \cdot 81,5}{1000} = 102 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{350 \cdot 3,14 \cdot 24}{1000} = 26 \text{ м/хв}$$

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

$$L_{рх} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.31)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання;

$l_{пер}$ – перебігу.

$$L_{рх1} = 2 + 20 + 28 + 2 + 2,5 + 5 + 2 = 61,5 \text{ мм}$$

$$L_{рх2} = 20,4 + 5 + 12 = 37,4 \text{ мм}$$

Основний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{рх}}{S_0 \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.32)$$

$$t_{o1} = \frac{61,5}{0,1 \cdot 400} \cdot 2 = 3 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{37,4}{0,3 \cdot 350} \cdot 1 = 1,2 \text{ хв}$$

$$\Sigma t_0 = 3 + 1,2 = 4,2 \text{ хв}$$

1.6.3 Шліфувальна операція

На даній операції №85 виконується остаточне шліфування шийки діаметром Ø35 мм, що є відповідальною поверхнею деталі та вимагає високої точності та малої шорсткості (рис. 1.6). Обробка проводиться після термічної обробки, що дозволяє забезпечити стабільність розмірів і необхідні експлуатаційні властивості поверхні.

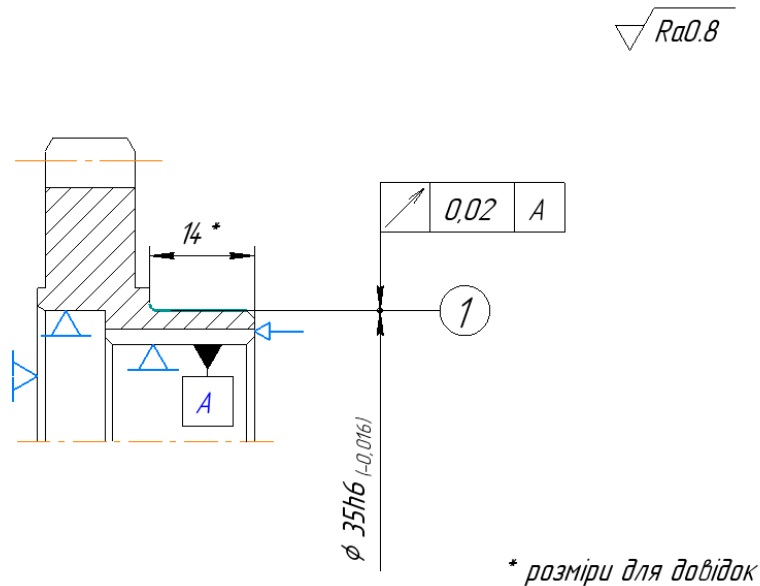


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Шліфування виконується на круглошліфувальному верстаті 3У10А, який призначений для зовнішнього шліфування циліндричних поверхонь і забезпечує високу точність обробки в умовах серійного виробництва. Верстат

характеризується достатньою жорсткістю, точністю та надійністю, що дозволяє отримувати поверхні з високим класом чистоти.

У якості різального інструмента використовується шліфувальний круг типу 1 250×20×76 15А 40Н СТ1 6 К8 А [5] з робочою швидкістю 50 м/с відповідно до ГОСТ 2424-83. Даний круг виготовлений з електрокорунду нормального (15А), має зернистість 40, середню твердість та призначений для обробки загартованих сталей, що повністю відповідає умовам обробки матеріалу 14ХГСН2МА-Ш.

Основні технічні характеристики верстата 3У10В:

- максимальний діаметр оброблюваної деталі – до 100 мм;
- максимальна довжина обробки – до 160 мм;
- довжина шліфування – до 30 мм;
- частота обертання шпинделя шліфувального круга – 2800 об/хв;
- потужність електродвигуна – близько 7,5 кВт;
- точність обробки – до 6-го квалітету;
- досягувана шорсткість поверхні – до Ra 0,32...0,63 мкм.

Базування деталі при шліфуванні здійснюється по попередньо оброблених базових поверхнях (шліцевому отвору), що забезпечує необхідну співвісність і точність розташування шийки Ø35 мм відносно інших елементів деталі.

Подача розраховуємо по формулі (1.27):

де S_T – табличне значення подачі [6];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга [6];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі [6];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга [6];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку [6];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру [6];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі [6].

$$S = 0,028 \cdot 0,8 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 = 0,0033 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S=0,005 \text{ мм/об}$.

Так як ширина круга більше ширини шліфування то повздовжня подача не використовується.

Призначаємо швидкості різання: $V_{ш.кр.}=50$ м/с; $V_{ш.дет.}=50$ м/хв [5].

Частоту обертання розраховуємо за формулою (1.25)

$$\begin{aligned} n_{дет.}^p &= \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 35} = 454 \text{ об/хв} \\ n_{ш.кр.}^p &= \frac{1000 \cdot V_{ш.кр.} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \\ n_{ш.кр.}^p &= \frac{1000 \cdot 50 \cdot 60}{3,14 \cdot 250} = 3821 \text{ об/хв} \end{aligned} \quad (1.33)$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{ш.кр.}=2800$ об/хв, $n_{дет.}=400$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.26):

$$\begin{aligned} V_{дет.} &= \frac{3,14 \cdot 35 \cdot 400}{1000} = 44 \text{ м/хв} \\ V_{ш.кр.} &= \frac{3,14 \cdot D_{кр} \cdot n_{кр}}{1000 \cdot 60} \\ V_{ш.кр.} &= \frac{3,14 \cdot 280 \cdot 2800}{1000 \cdot 60} = 41 \text{ м/хв} \end{aligned} \quad (1.34)$$

Визначаємо основний час:

$$t_o = \frac{z \cdot k}{n_{дет.} \cdot S_{поп}}, \text{ хв} \quad (1.35)$$

де k – коефіцієнт уточнення.

$$t_o = \frac{0,052 \cdot 1,7}{400 \cdot 0,005} = 0,04 \text{ хв}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

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 з ЧПК	01	1,5	2	0,2	120	300
	02	5	1	0,2	25	700
020 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	120	300
	02	1,5	2	0,2	120	700
025 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	100	400
	02	3,5	1	0,1	25	800
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	100	400
	02	0,5	2	0,1	105	800
035 Протяжна	01	2	1	0,025мм/зуб	2	-
040 Зубофрезерна	01	6,6	25	0,8	28	80
065 Внутрішньошліфувальна	01	0,3	30	0,002/5	23/35	25000/400
070 Круглошліфувальна	01	0,25	1	0,005	50/30	2800/400
075 Круглошліфувальна	01	0,25	1	0,005	50/48	2800/400
080 Внутрішньошліфувальна	01	0,15	30	0,002/5	23/35	25000/400
085 Круглошліфувальна	01	0,05	1	0,005	50/30	2800/400
090 Зубошліфувальна	01	0,2	25	0,005/0,1	35	1670

1.7 Технічне нормування операцій

Технічне нормування операцій є важливим етапом розробки технологічного процесу, оскільки дозволяє визначити витрати часу на виготовлення деталі, встановити норму часу та забезпечити ефективне планування виробництва. Умови середньосерійного виробництва вимагають достатньо точного нормування з урахуванням застосування сучасного обладнання та раціональної організації праці.

Норма часу на виконання операції визначається як сума окремих складових, що включають основний, допоміжний, підготовчо-заклучний час, а також час на обслуговування робочого місця і відпочинок робітника. Основний час характеризує безпосередній процес різання або обробки

поверхні і визначається залежно від режимів різання та геометричних параметрів оброблюваної поверхні. Допоміжний час включає витрати на встановлення і зняття деталі, закріплення, зміну інструмента та інші допоміжні дії.

Підготовчо-заклучний час враховує витрати на налагодження обладнання, отримання інструмента, ознайомлення з технічною документацією та здачу роботи після завершення партії деталей. У серійному виробництві цей час розподіляється на всю партію деталей, що зменшує його частку в розрахунку на одну деталь.

Штучний час визначається як сума основного та допоміжного часу, а штучно-калькуляційний час додатково враховує частку підготовчо-заклучного часу. При розрахунку також вводяться поправочні коефіцієнти, що враховують організаційно-технічні умови виконання операції.

Для операцій, що виконуються на верстатах з числовим програмним керуванням, значна частина допоміжного часу скорочується за рахунок автоматизації процесу, що позитивно впливає на загальну продуктивність. Для шліфувальних та зубообробних операцій основний час визначається з урахуванням швидкості різання, подачі та кількості проходів.

1.7.1 Технічне нормування зубофрезерної операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{в}} + t_{\text{пер}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.36)$$

де $t_{\text{в}}$ – час на встановлення та зняття заготівлі при роботі в пристосуванні, $t_{\text{в}} = 0,4$ хв [7];

$t_{\text{пер}}$ – час на перехід, $t_{\text{пер}} = 0,8$ хв [7];

$t_{\text{контр}}$ – час контролю оброблених поверхонь, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [7].

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

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.37)$$

$$t_{\text{оп}} = 18 + 1,4 = 19,4 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.38)$$

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

$$t_{\text{дод}} = 19,4 \cdot 0,1 = 1,94 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.39)$$

$$t_{\text{шт}} = 19,4 + 1,94 = 21,34 \text{ хв}$$

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

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}} \quad (1.40)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час на налагодження пристосування, $t_{\text{пз1}} = 15 \text{ хв}$ [7];

$t_{\text{пз2}}$ – підготовчо-заключний час на додаткові роботи, $t_{\text{пз2}} = 12 \text{ хв}$ [7].

$$t_{\text{пз}} = 15 + 12 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.41)$$

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

$$t_{шт-к} = 21,34 + \frac{27}{24} = 22,47 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування токарної операції 025

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36):

де – час на встановлення та зняття заготівлі при роботі в пристосуванні,
 $t_b = 0,5 \text{ хв}$ [7];

$t_{пер}$ – час на перехід, $t_{пер} = 0,3 \text{ хв}$ [7];

$t_{контр}$ – час контролю оброблених поверхонь, $t_{контр} = 0,25 \text{ хв}$ [7];

$$t_{доп} = 0,5 + 0,3 + 0,25 = 1,05 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.37):

$$t_{оп} = 4,2 + 1,05 = 5,25 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.38):

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

$$t_{дод} = 5,25 \cdot 0,1 = 0,53 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.39):

$$t_{шт} = 5,25 + 0,53 = 5,78 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за

формулою (1.40):

де $t_{п.31}$ – час на налагодження пристосування, $t_{п.31} = 12 \text{ хв}$ [7];

$t_{п.32}$ – підготовчо-заключний час на додаткові роботи, $t_{п.32} = 15 \text{ хв}$ [7];

$$t_{пз} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{шт-к} = 5,78 + \frac{22}{24} = 6,69 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 085

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.36):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,3 \text{ хв}$ [7];

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

$t_{вим}$ – час на вимірювання, $t_{вим} = 0,15 \text{ хв}$ [7];

$$t_{доп} = 0,3 + 0,4 + 0,15 = 0,85 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.37):

$$t_{оп} = 0,04 + 0,85 = 0,89 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.38):

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

$$t_{дод} = 0,89 \cdot 0,1 = 0,09 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.39):

$$t_{\text{шт}} = 0,89 + 0,09 = 0,98 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.40):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [7];

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

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 2 \text{ хв}$ [7].

$$t_{\text{пз}} = 7 + 12 + 2 = 21 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.41):

$$t_{\text{шт-к}} = 0,98 + \frac{21}{24} = 1,8 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{\text{доп}}$, хв	$t_{\text{дод}}$, хв	$t_{\text{шт}}$, хв	$t_{\text{пз}}$, хв	$t_{\text{шт-к}}$, хв
015 Токарна з ЧПК	12	1,05	1,31	14,36	22	15,27
020 Токарна з ЧПК	15	1,05	1,61	17,66	22	18,57
025 Токарна з ЧПК	4,2	1,05	0,53	5,78	22	6,69
030 Токарна з ЧПК	5	1,05	0,61	6,66	22	7,57
035 Протяжна	4,5	0,65	0,52	5,67	25	6,71
040 Зубофрезерна	18	1,4	1,94	21,34	27	22,47
065 Внутрішньошліфувальна	2	1,4	0,34	3,74	20	4,57
070 Круглошліфувальна	3	1,95	0,50	5,45	21	6,32
075 Круглошліфувальна	1,5	1,95	0,35	3,80	21	4,67
080 Внутрішньошліфувальна	2,5	1,95	0,45	4,90	27	6,02
085 Круглошліфувальна	0,04	0,85	0,09	0,98	21	1,85
090 Зубошліфувальна	35	1,95	3,70	40,65	25	41,69

1.8 Розробка керуючої програми на фрезерну операцію з ЧПК

Розробка керуючої програми є завершальним етапом підготовки операції до виконання на верстатах з ЧПУ. У даному випадку програмування здійснюється в середовищі Siemens NX, яке дозволяє виконувати повний цикл підготовки виробництва – від побудови 3D-моделі до генерації керуючих програм.

Керуюча програма (КП) розробляється для токарної операції №25. Процес програмування починається зі створення геометричної моделі деталі (рис. 1.7). Далі задається система координат деталі та визначається положення заготовки відносно верстата. Після цього формується структура операції, яка включає переходи: підрізка торців, зовнішнє точіння та розсвердлення отвору.

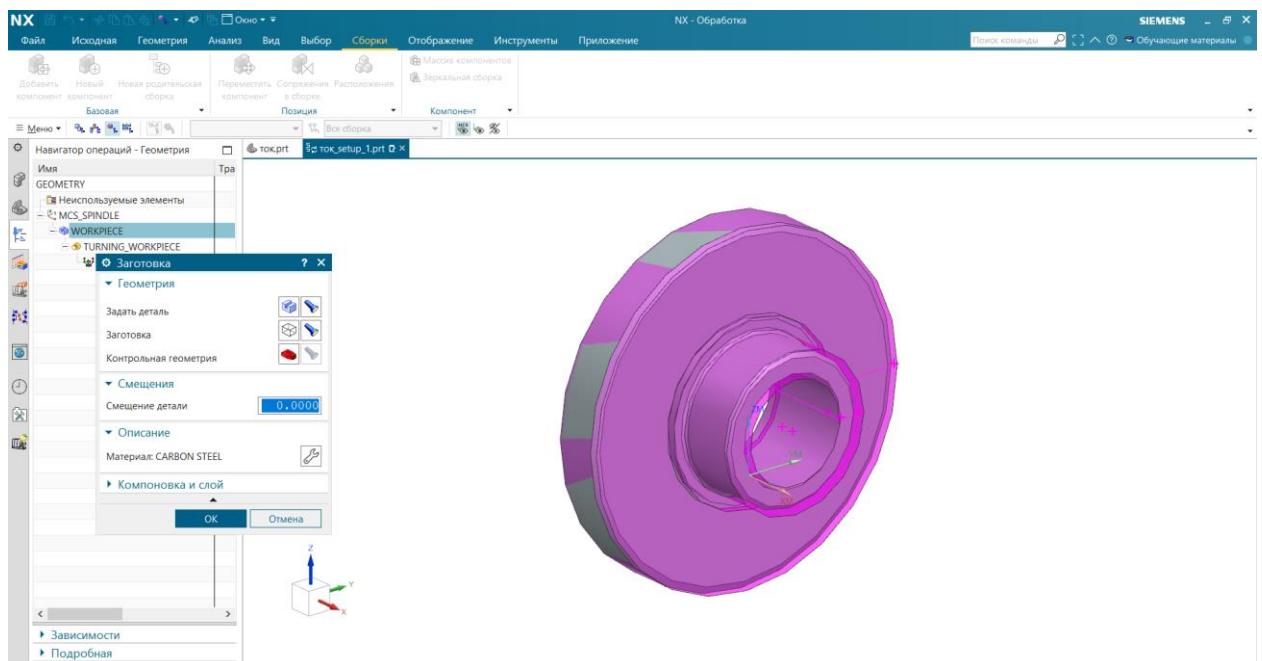


Рисунок 1.7 – 3D-модель деталі

Для кожного переходу у системі задаються відповідні параметри, такі як швидкість різання, подача, глибина різання та кількість проходів. Інструменти, що використовуються в операції, також моделюються або вибираються з

бібліотеки NX відповідно до їх геометричних та матеріальних характеристик. Створюємо токарний переріз (рис. 1.8) та інструмент (рис. 1.9).

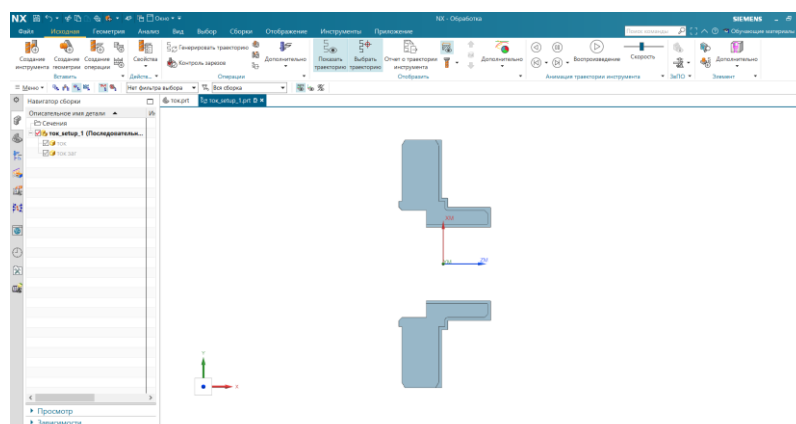


Рисунок 1.8 – Токарний переріз

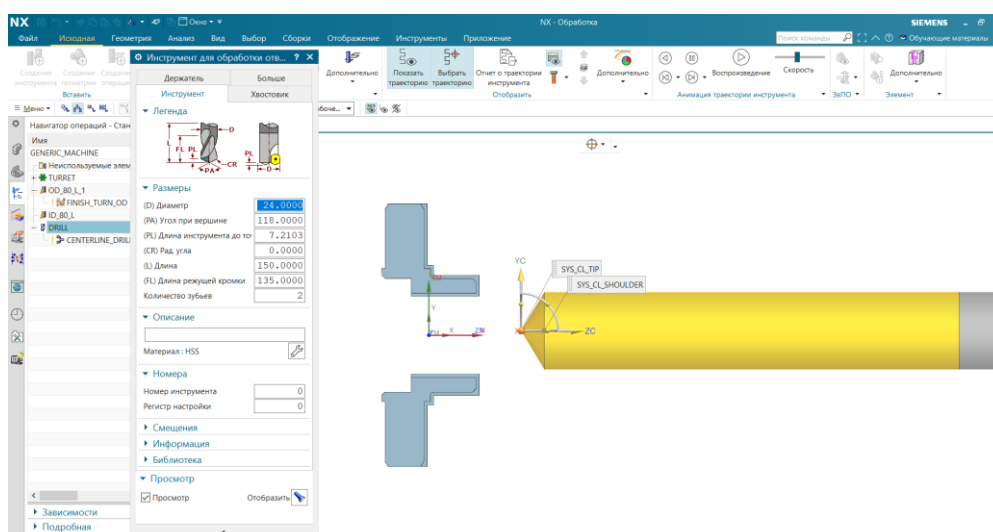
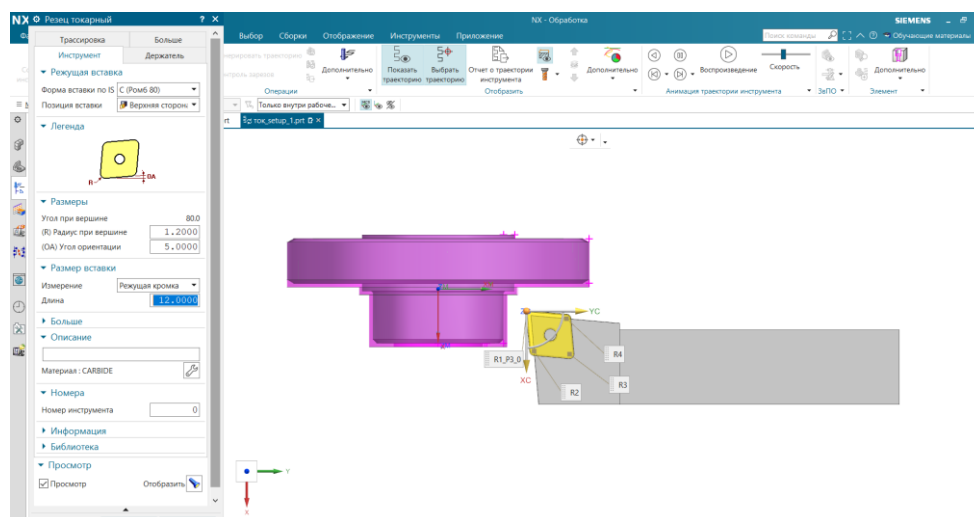


Рисунок 1.9 – Інструмент

Після визначення всіх параметрів формується траєкторія руху інструмента (рис. 1.10), яка перевіряється за допомогою вбудованого модуля симуляції. Це дозволяє виявити можливі зіткнення, помилки програмування та оптимізувати процес обробки ще до передачі програми на верстат.

Завершальним етапом є перевірка візуальна (рис. 1.11) та постпроцесування, в результаті якого формується керуюча програма у вигляді G-коду, адаптованого під конкретний верстат з ЧПК. Отримана програма враховує кінематичні особливості обладнання та забезпечує точне відтворення розрахованих режимів різання.

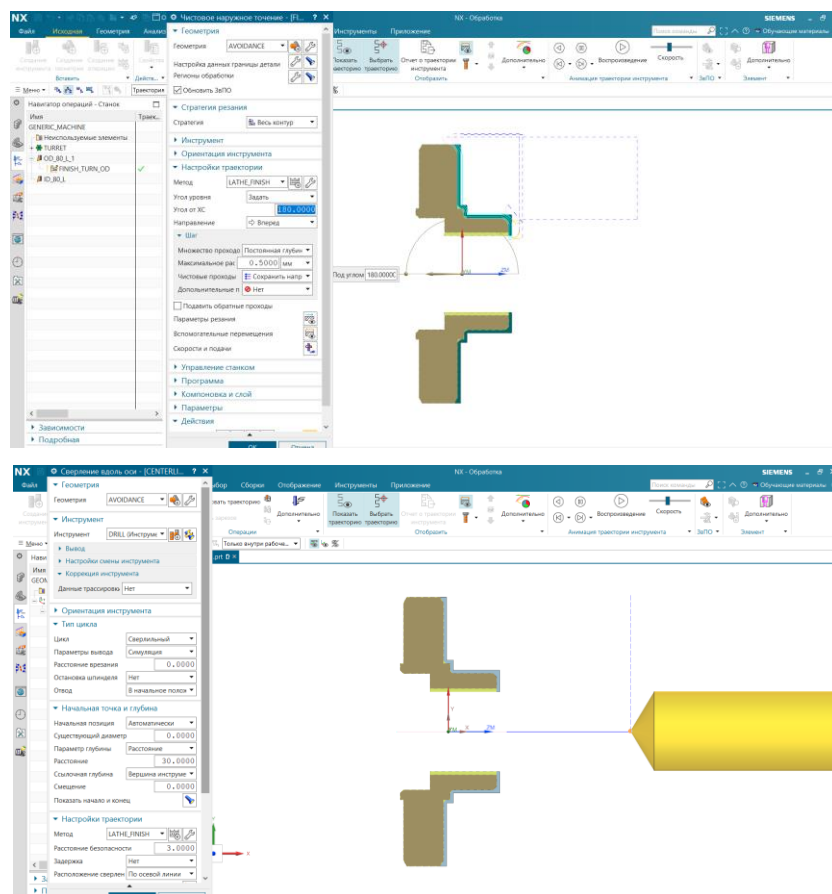


Рисунок 1.10 – Траєкторія обробки

Таким чином, використання системи Siemens NX для розробки керуючої програми дозволяє підвищити точність і ефективність токарної обробки, скоротити час підготовки виробництва та забезпечити стабільну якість виготовлення деталі.

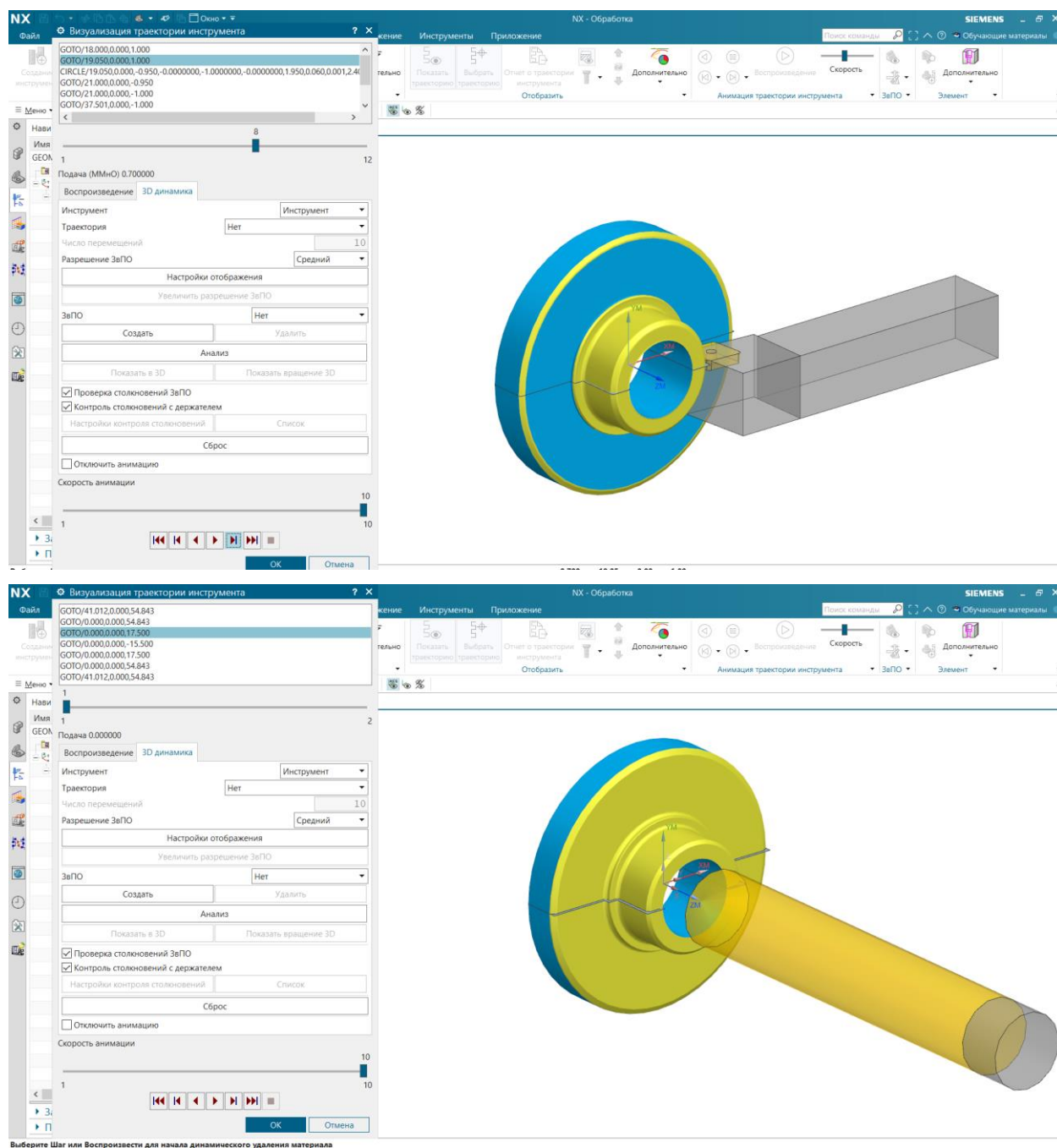


Рисунок 1.11 – Проверка

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування зубофрезерного пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування (рис. 2.1) призначене для надійного закріплення деталі «Шестерня ведуча» під час виконання зубофрезерної операції. Його конструкція забезпечує точне базування, швидке закріплення та зняття деталі, що є особливо важливим в умовах серійного виробництва.

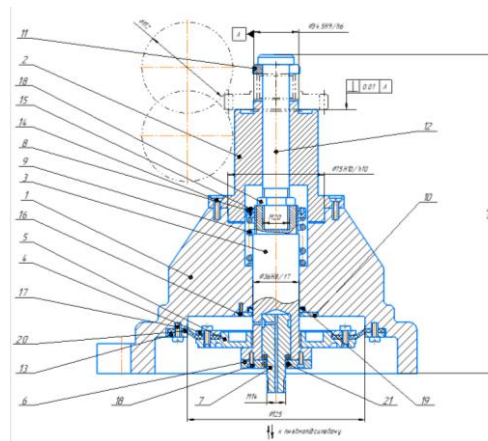


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

Основним елементом пристосування є оправка, на яку встановлюється деталь по внутрішньому діаметру 34,5 мм. При цьому шестерня базується по отвору і впирається торцем зубчастого вінця в опорну поверхню, що забезпечує правильне осьове положення деталі відносно інструмента.

Для закріплення деталі використовується розрізна шайба, яка встановлюється на шток. Притиск здійснюється за допомогою пневматичного приводу. При подачі стисненого повітря в пневмоциліндр створюється тиск на поршень, який переміщується і тягне за собою шток. У результаті цього розрізна шайба притискає деталь до опорної площини, забезпечуючи її жорстке та надійне закріплення під час обробки.

Після завершення зубофрезерної операції подача стисненого повітря

припиняється. Під дією пружини шток переміщується у зворотному напрямку, що призводить до зняття зусилля затиску. Розрізна шайба знімається, і оброблена деталь легко звільняється з оправки.

Запропонована конструкція пристосування забезпечує швидкодію, зручність експлуатації та стабільність базування, що сприяє підвищенню продуктивності та якості обробки зубчастого вінця.

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

Похибки базування та закріплення є важливими складовими загальної похибки обробки, оскільки вони безпосередньо впливають на точність взаємного розташування поверхонь деталі. Їх оцінка дозволяє перевірити правильність вибору технологічних баз і конструкції пристосування.

При зубофрезерній обробці шестерні базування здійснюється по отвору ($\varnothing 34,5$ мм) за допомогою оправки, а також по торцевій поверхні зубчастого вінця. Така схема базування забезпечує суміщення осі обертання деталі з віссю оправки, однак через наявність зазорів між базовими поверхнями та елементами пристосування виникають похибки.

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 $\varnothing 34,5\text{H}9$ (рис. 2.2).

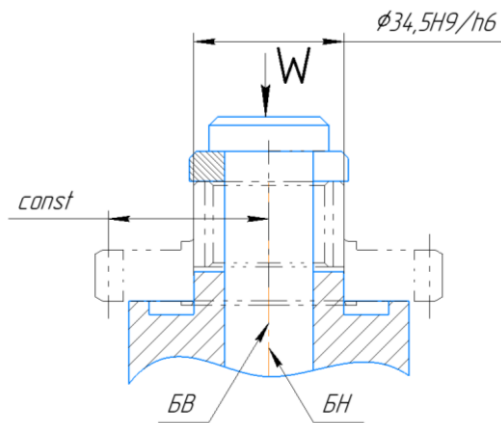


Рисунок 2.2 – Схема установки

Похибка базування розраховується за формулою:

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

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

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

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

$$S_{\text{max}} = 34,569 - 34,484 = 0,085 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,085/2 = 0,042 \text{ мм}$$

Похибка закріплення виникає внаслідок деформацій елементів пристосування та можливого перекосу деталі під дією затискного зусилля. У даній конструкції закріплення здійснюється за допомогою розрізної шайби та пневматичного приводу, що забезпечує рівномірний розподіл зусилля притиску. Завдяки цьому похибка закріплення є мінімальною і визначається в основному точністю виготовлення елементів пристосування та стабільністю тиску в пневмосистемі.

Похибка закріплення залежить від напрямку прикладення сили затиску відносно напрямку контрольованого розміру. У даному випадку сила закріплення спрямована вздовж осі деталі (осьовий притиск шайбою), 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 не

впливає на формування розміру і приймається рівною нулю.

Похибка встановлення згідно формули (2.1):

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,042^2 + 0} = 0,042 \text{ мм}$$

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 $F=0,05$ 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 $\varnothing 34,5\text{H}9$ з допуском $+0,069$ мм. Для забезпечення підвищеної точності базування приймаємо установчу шийку оправки на три квалітети точніше, тобто з полем допуску $\text{h}6$, що відповідає розміру $\varnothing 34,5\text{h}6$ з відхиленням $-0,016$ мм. Максимальний зазор у посадці дорівнює $S_{\text{max}}=0,085$ мм.

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

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

$$\frac{S_{\text{max}}}{2} = \frac{0,085}{2} = 0,042 \text{ мм} \leq 0,05 \text{ мм}$$

Прийнята посадка $\varnothing 34,5\text{H}9 / \varnothing 34,5\text{h}6$ забезпечує необхідну точність базування деталі. Максимальне биття, що виникає внаслідок зазору між

деталлю та оправкою, є меншим за допустиме, тому конструкція пристосування відповідає вимогам точності зубофрезерної операції.

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Статична сила затиску [8]:

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

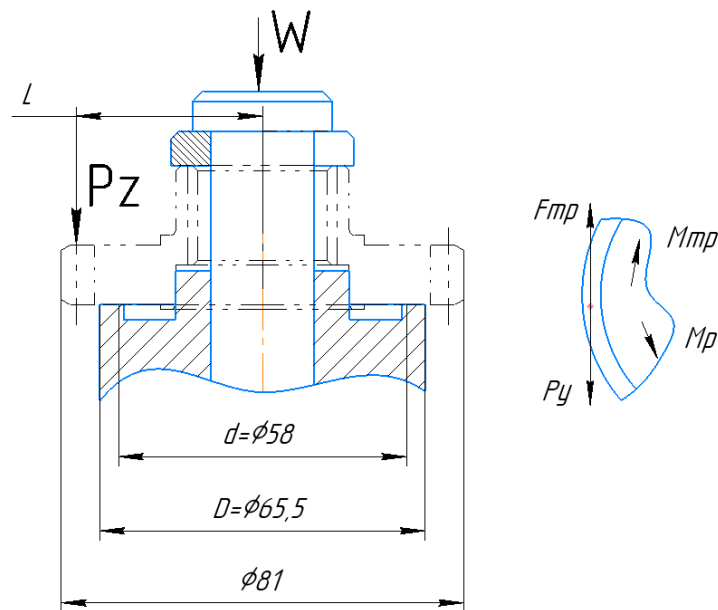


Рисунок 2.3 – Схема до визначення сили закріплення [8]

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]

$K_{\text{мр}}$ – поправочний коефіцієнт оброблюємого матеріалу.

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

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

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6,6^{0,86} \cdot 0,06^{0,72} \cdot 2,9^{1,12}}{112^{0,86} \cdot 100^0} \cdot 0,95 = 259 \text{ Н};$$

Момент різання визначено згідно формули:

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

де l – плече прикладання сили.

$$M_p = 259 \cdot 0,0375 = 9,7 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

Згідно формули (2.5) статична сила закріплення дорівнює:

$$W_{\text{ст}} = \frac{3 \cdot 9,7 \cdot (0,0655^2 - 0,058^2)}{0,15 \cdot (0,0655^3 - 0,058^3)} = 2150 \text{ Н}$$

Дійсна сила затиску [8]:

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

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].

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

$$Q = 2150 \cdot 2,16 = 4644 \text{ Н.}$$

Мінімальний діаметр штока:

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

де $[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг,

p – тиск повітря;

α – коефіцієнт затяжки.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 4644}{3,14 \cdot 100}} = 11,5 \text{ мм}$$

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,.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 4644}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,9}} + 11,5^2 = 118 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметра поршня 125мм і штока 36мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування (рис. 1.1) призначене для перевірки радіального биття зубчастого вінця шестерні відносно шліцьового отвору. Задана точність контролю становить 0,025 мм, що обумовлює підвищені вимоги до конструкції пристосування, його жорсткості та точності базування.

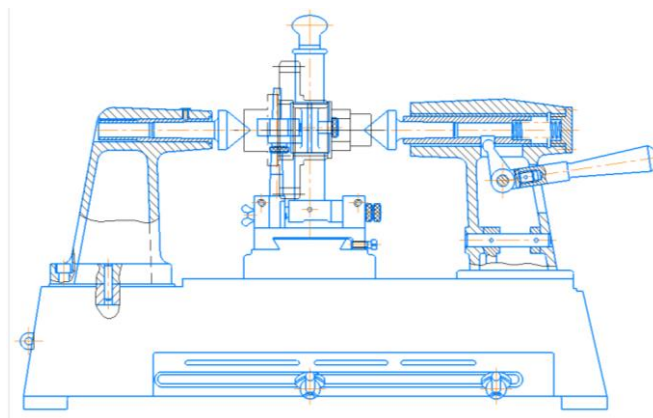


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

Конструкція пристосування базується на принципі встановлення деталі по шліцьовому отвору, який є основною конструкторською базою. Для цього використовується спеціальна шліцьова оправка, що точно відповідає профілю та розмірам внутрішніх шліців деталі. Такий спосіб базування забезпечує правильне центрування шестерні та відтворює її робоче положення на валу.

Оправка встановлюється в центрах пристосування, що забезпечує її обертання навколо осі. Деталь фіксується на оправці за допомогою притискного елемента, який запобігає осьовому зміщенню під час контролю. При цьому конструкція забезпечує легкість встановлення та зняття деталі.

Для вимірювання радіального биття використовується індикатор годинникового типу, який встановлюється таким чином, щоб його вимірювальний наконечник контактував із бічною поверхнею зуба або по

ділильному колу зубчастого вінця. При повільному обертанні деталі навколо осі оправки індикатор фіксує відхилення поверхні зубців, що і визначає величину радіального биття.

Принцип роботи пристосування полягає в наступному: деталь встановлюється на шліцьову оправку, фіксується притискним елементом, після чого здійснюється її обертання. У процесі обертання індикатор реєструє максимальне та мінімальне відхилення, різниця між якими і є величиною радіального биття зубчастого вінця відносно шліців.

Конструкція пристосування забезпечує високу точність вимірювання за рахунок жорсткості елементів, точності виготовлення оправки та правильного базування деталі. Це дозволяє достовірно контролювати відповідність деталі технічним вимогам.

Запропоноване контрольне пристосування забезпечує надійний та точний контроль радіального биття зубчастого вінця відносно шліцьового отвору з точністю до 0,025 мм, що відповідає вимогам до якості виготовлення шестерні.

2.3 Розрахунок на міцність деталі

Перевірку шестерні ведучої на міцність виконуємо на основі максимальних навантажень, що виникають у небезпечному перерізі при передачі крутного моменту в редукторі. Оцінка міцності деталі здійснюється шляхом порівняння отриманого коефіцієнта запасу міцності з допустимим (довідковим) значенням, яке вибирається залежно від ступеня відповідальності конструкції та умов її експлуатації.

Коефіцієнт запасу міцності:

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

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності сталь 14ХГС2МА-Ш;

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження, яке виникає в деталі.

Розрахунок напружено-деформованого стану шестерні виконується в програмному комплексі Siemens NX методом скінченних елементів. У моделі враховується реальна геометрія деталі, матеріал, а також умови навантаження та закріплення (рис. 2.5).

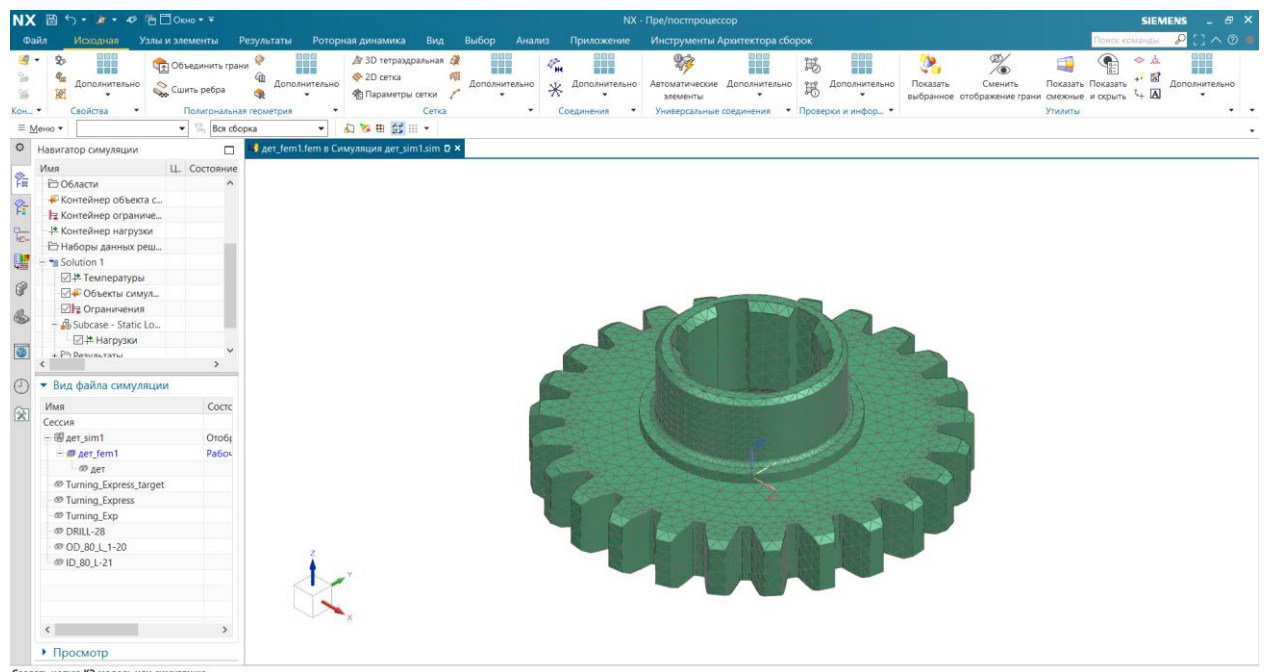


Рисунок 2.5 – Модель деталі розбита на сітку

У даній задачі граничні умови моделювання задаються наступним чином: як умови закріплення приймається шліцьове з'єднання, тобто обмеження переміщень накладаються на поверхні внутрішніх шліців, що імітує реальне встановлення шестерні на валу та передачу крутного моменту без проковзування. Додатково на зубчастий вінець прикладаються зовнішні навантаження у вигляді тангенціальної та радіальної складових сили зачеплення (рис. 2.6).

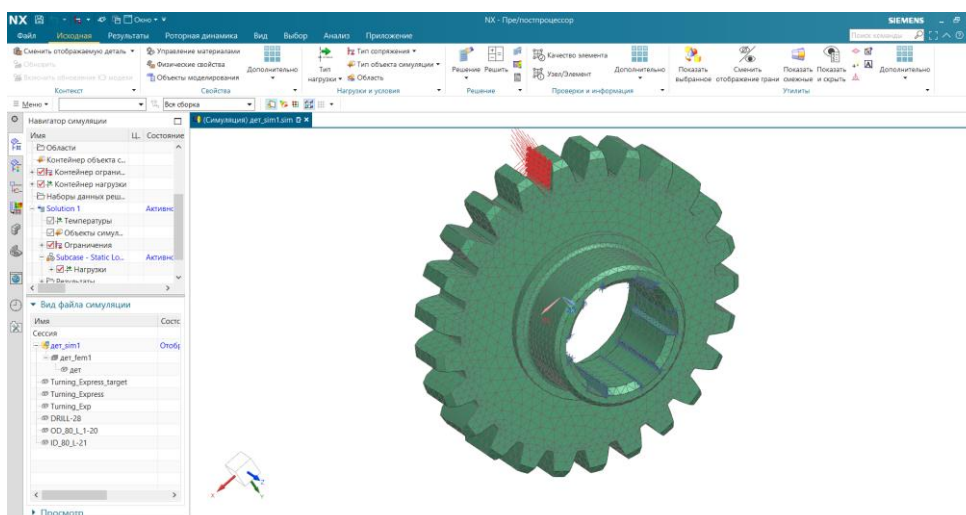


Рисунок 2.6 – Прикладення обмежень

Тангенціальна сила визначає передачу крутного моменту і є основною робочою навантажувальною складовою, тоді як радіальна сила створює додаткові згинальні напруження в тілі зуба та впливає на контактну міцність.

Після виконання розрахунку в NX визначається розподіл еквівалентних напружень та знаходиться їх максимальне значення. Саме в зоні кореня зуба формується максимальна концентрація напружень, яка і є небезпечною зоною для даної деталі (рис. 2.7). На основі отриманих результатів обчислюється коефіцієнт запасу міцності, який порівнюється з нормативними значеннями для зубчастих передач.

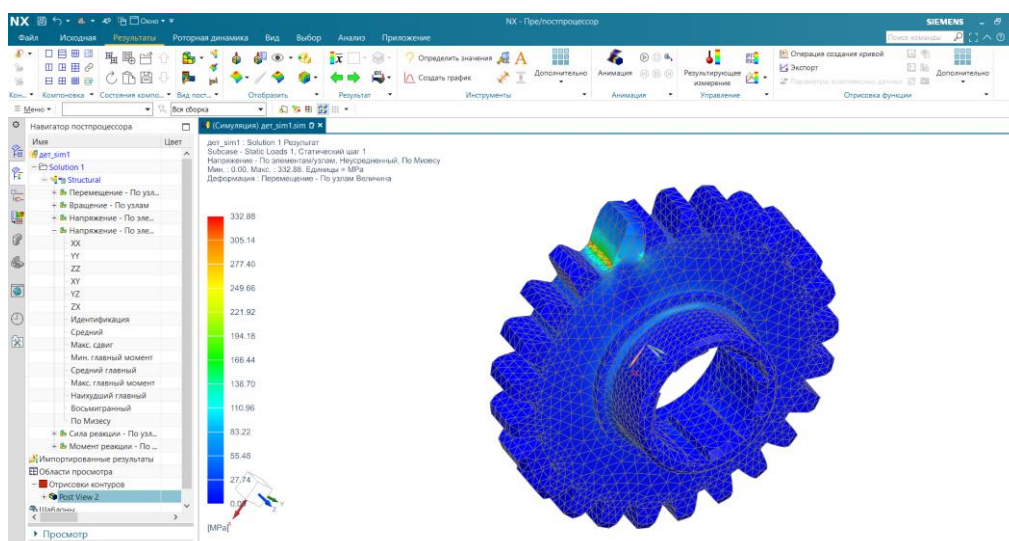


Рисунок 2.7 – Результати розрахунку

Згідно формули (2.13) розрахуємо коефіцієнт запасу міцності:

$$k = \frac{850}{332,8} = 2,5$$

Розрахунок, виконаний у Siemens NX з урахуванням закріплення по шліцах та прикладенням радіальної і тангенціальної сил на зубчастий вінець, показує, що шестерня має достатній запас міцності. Отримані значення відповідають вимогам до надійності роботи зубчастої передачі та підтверджують працездатність деталі в умовах експлуатації.

3 РОЗРОБКА ПЛАНУВАННЯ ДІЛЬНИЦІ

Річна 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 – 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:

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

$$\overline{K_3} = \frac{1,19}{12} = 0,1$$

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

Параметри	Номер операції											
	015	020	025	030	035	040	065	070	075	080	085	090
	Модель верстата											
	MAST ML	MAST ML	MAST ML	MAST ML	7HBM20	5K324A	3K228	3Y10A	3Y10A	3K228	3Y10A	5B833
$t_{ш-к}$	15,27	18,57	6,69	7,57	6,71	22,47	4,57	6,32	4,67	6,02	1,85	41,69
T	30543,3	37143,3	13383,3	15143,3	13413,3	44930,0	9146,7	12640,0	9340,0	12040,0	3708,0	83373,3
S_p	0,13	0,15	0,06	0,06	0,06	0,19	0,04	0,05	0,04	0,05	0,02	0,35
S_n	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K_3	0,13	0,15	0,06	0,06	0,06	0,19	0,04	0,05	0,04	0,05	0,02	0,35

Розраховуємо кількість деталей-операцій, що виконуються на технологічній лінії обробки деталей «Шестерня приводу»: $O=14$ деталей-операцій.

Призначаємо багатOVERстатну обробку на токарній групі верстатів з ЧПК (операції 015...030). Максимальне значення основного часу буде на операції 025 – 4,2 хв.

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

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

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

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

$$m_s = \frac{4,2 + 1,05}{0,42 + 0,15} = 9,2$$

Число операторів у зоні обслуговування розраховуємо за формулою:

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

$$R_1 = \frac{4}{9,2} = 0,4$$

Згідно розрахунків для роботи на чотирьох верстатах призначаємо одного оператора. Таким чином, для обслуговування $O=12$ верстатів необхідно $M=9$ робочих операторів.

Розраховуємо коефіцієнт закріплення операції за формулою:

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

$$K_{30} = \frac{12}{9} = 1,3$$

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 (0,1), то дільницю виробництва деталей «Шестерня ведуча» необхідно завантажити типовими деталями до рівня $\overline{K_3} > 0,7$.

4 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

Оцінку очікуваної економічної ефективності заходів від розробки технологічного процесу виготовлення деталі «Шестерня ведуча» 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	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	16Б16Т	MAST ML	MAST ML	MAST ML	MAST ML
Штучний час $t_{шт}$, хв	15,5	18,6	20,3	16,8	12,3	11,2	14,36	17,66	5,78	6,66
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	133200						1336450			
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Потужність електродвигунів N , кВт	13	13	13	13	13	13	7,5	7,5	7,5	7,5

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	15,5	76,6	1,2	1,4	33,24
015	Токарна	18,6	76,6	1,2	1,4	39,89
020	Токарна	20,3	76,6	1,2	1,4	43,54
025	Токарна	16,8	76,6	1,2	1,4	36,03
030	Токарна	12,3	76,6	1,2	1,4	26,38
035	Токарна	11,2	76,6	1,2	1,4	24,02
					Σ	203,11

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	14,36	57,5	1,2	1,4	23,12
20	Токарна	17,66	57,5	1,2	1,4	28,43
25	Токарна	5,78	57,5	1,2	1,4	9,31
30	Токарна	6,66	57,5	1,2	1,4	10,72
					Σ	71,58

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	25,40
20	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
25	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
30	Токарна	2096	57,7	0,25	1,2	1,4	25,40
						Σ	101,59

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	15,5	133200	16,2	4015	1,39
015	Токарна	18,6	133200	16,2	4015	1,67
020	Токарна	20,3	133200	16,2	4015	1,82
025	Токарна	16,8	133200	16,2	4015	1,50
030	Токарна	12,3	133200	16,2	4015	1,10
035	Токарна	11,2	133200	16,2	4015	1,00
					Σ	8,48

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	14,36	1336450	12,2	4015	9,72
20	Токарна	17,66	1336450	12,2	4015	11,95
25	Токарна	5,78	1336450	12,2	4015	3,91
30	Токарна	6,66	1336450	12,2	4015	4,51
					Σ	30,09

Таблиця 4.7 – Витрати на інструмент за першим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _і грн	n _{ін}	T, хв	n _ј	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
010	Токарна	15,5	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	7,75
015	Токарна	18,6	Свердло	150	1	45	1	0,4	12,40
020	Токарна	20,3	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	10,15
025	Токарна	16,8	Різець розт.	400	2	80	3	0,4	8,40
030	Токарна	12,3	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	5,15
			Свердло	150	1	45	1	0,4	1,33
035	Токарна	11,2	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	4,00
			Різець розт.	400	2	80	3	0,4	1,60
								Σ	50,78

Таблиця 4.8 – Витрати на інструмент за другим варіантом

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ц _і грн	n _{ін}	T, хв	n _ј	η _{МІ}	S _{ін} Грн
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
015	Токарна	14,36	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	5,00

Продовження таблиці 4.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
			Свердло	150	1	45	1	0,4	2,91
020	Токарна	17,66	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	5,00
			Різець розт.	400	2	80	3	0,4	3,83
025	Токарна	5,78	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	1,50
			Свердло	150	1	45	1	0,4	1,85
030	Токарна	6,66	Різець прохід.	400	2	80	3	0,4	1,50
			Різець розт.	400	2	80	3	0,4	1,83
								Σ	23,42

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	15,5	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,64
015	Токарна	18,6	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,37
020	Токарна	20,3	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	4,77
025	Токарна	16,8	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,95
030	Токарна	12,3	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,89
035	Токарна	11,2	3,45	13	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,63
										Σ	22,24

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	14,36	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,79
020	Токарна	17,66	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	5,89
025	Токарна	5,78	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	1,93
030	Токарна	6,66	3,45	7,5	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	2,22
										Σ	14,82

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	133200	0,02	0,64	0,85
015	Токарна	133200	0,02	0,64	0,85
020	Токарна	133200	0,02	0,64	0,85
025	Токарна	133200	0,02	0,64	0,85
030	Токарна	133200	0,02	0,64	0,85
035	Токарна	133200	0,02	0,64	0,85
				Σ	5,11

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	1336450	0,02	0,78	10,42
020	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
025	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
030	Токарна	1336450	0,02	0,78	10,42
				Σ	41,7

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	14,36	50,9	6	4	0,9	80	2	0,25
		Свердло		50,9	6	4	0,9	45	2	0,19
020	Токарна	Різець прохід.	17,66	50,9	6	4	0,9	80	2	0,25
		Різець розт.		50,9	6	4	0,9	80	2	0,19
025	Токарна	Різець прохід.	5,78	50,9	6	4	0,9	80	2	0,07
		Свердло		50,9	6	4	0,9	45	2	0,12
030	Токарна	Різець прохід.	6,66	50,9	6	4	0,9	80	2	0,07
		Різець розт.		50,9	6	4	0,9	80	2	0,09
									Σ	1,24

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, $k_{zag} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{n1} = 203,11 \cdot 0,2 = 40,62 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 71,58 \cdot 0,2 = 14,31 \text{ грн}$$

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	203,11	71,58
Заробітна плата наладчика	Z_n		101,59
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	8,48	30,09
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	50,78	23,42
Витрати на електроенергію	S_e	22,24	14,82
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	5,11	41,7
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		1,24
Витрати інші	I_n	40,62	14,31
Технологічна собівартість	C_T	330,34	298,75

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [9]:

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

$$E_{\text{ур}} = (330,34 - 298,75) \cdot 2000 = 63180 \text{ грн}$$

Згідно розрахунків при використанні верстатів з ЧПК з річною партією 2000 шт економічний ефект від впровадження за статтею собівартість складає 63180 грн.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

Зубофрезерна операція належить до робіт підвищеної небезпеки, оскільки пов'язана з обертанням інструмента, рухомими частинами верстата, утворенням стружки та використанням мастильно-охолоджувальних рідин. Тому дотримання вимог охорони праці є обов'язковою умовою безпечної роботи.

Перед початком роботи оператор повинен перевірити технічний стан зубофрезерного верстата, справність огорожень, заземлення, системи подачі мастильно-охолоджувальної рідини та надійність кріплення інструмента і заготовки. Забороняється працювати на несправному обладнанні або при відсутності захисних кожухів [10].

Під час встановлення заготовки необхідно переконатися в правильності її базування та надійності закріплення у пристосуванні. Особливу увагу слід приділяти перевірці затискного механізму, оскільки недостатнє закріплення може призвести до зміщення деталі або її викиду під час обробки.

У процесі роботи забороняється торкатися рухомих частин верстата, вимірювати деталь або видаляти стружку при обертівому інструменті. Стружку необхідно видаляти лише після повної зупинки верстата за допомогою спеціальних гачків або щіток. Використання рук для очищення робочої зони не допускається.

Оператор повинен працювати у справному спецодязі, який щільно прилягає до тіла, без звисаючих елементів. Обов'язковим є використання засобів індивідуального захисту, зокрема захисних окулярів для запобігання потраплянню стружки в очі. Волосся має бути прибрано під головний убір.

При роботі з мастильно-охолоджувальними рідинами необхідно уникати їх потрапляння на шкіру та в очі, а також контролювати справність системи подачі для запобігання розбризкуванню. Робоче місце повинно утримуватись у чистоті, щоб уникнути ковзання та травмування.

Після завершення обробки необхідно вимкнути верстат, прибрати робоче місце, очистити його від стружки та перевірити стан інструмента і пристосування. У разі виявлення несправностей їх слід негайно повідомити відповідальній особі.

Електробезпека під час виконання зубофрезерних та інших механічних обробних операцій є важливою складовою загальної системи охорони праці, оскільки верстатне обладнання працює від електричної мережі та містить електродвигуни, системи керування, освітлення та допоміжні електричні пристрої.

Основною вимогою електробезпеки є справний стан електрообладнання верстата. Перед початком роботи необхідно перевірити цілісність ізоляції кабелів, наявність захисного заземлення, справність пускових і зупинних пристроїв, а також відсутність оголених струмопровідних частин. Робота на обладнанні з пошкодженою ізоляцією або несправною системою заземлення категорично забороняється.

Усі металеві частини верстата, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, повинні бути надійно заземлені. Це забезпечує захист оператора від ураження електричним струмом при аварійних ситуаціях. Крім того, у виробничих приміщеннях обов'язково передбачається система захисного занулення або заземлення відповідно до діючих нормативних вимог.

Під час експлуатації верстата забороняється відкривати електричні шафи, торкатися до електрообладнання мокрими руками або працювати в умовах підвищеної вологості без спеціальних засобів захисту. Усі ремонтні та налагоджувальні роботи електричної частини повинні виконуватися тільки кваліфікованим електротехнічним персоналом при повному знеструмленні обладнання.

Особливу увагу слід приділяти правильній експлуатації системи керування верстатом з ЧПК, оскільки вона містить електронні компоненти, чутливі до перепадів напруги. Для захисту від перенапруги використовуються

автоматичні вимикачі, запобіжники та стабілізатори напруги.

У разі виникнення аварійної ситуації (іскріння, запах гару, несправність пускових пристроїв) необхідно негайно вимкнути верстат, відключити його від електромережі та повідомити відповідальний персонал. Самостійне усунення несправностей без відповідної кваліфікації забороняється.

Дотримання вимог охорони праці при зубофрезерній операції забезпечує безпечні умови роботи, запобігає травматизму та сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу.

ВИСНОВКИ

У даній дипломній роботі було розроблено технологічний процес виготовлення шестерні ведучої, що відповідає умовам серійного виробництва. Проведено аналіз конструкції деталі, її службового призначення та умов експлуатації, визначено вимоги до точності та якості основних поверхонь.

Було економічно обґрунтовано вибір способу отримання заготовки методом гарячого штампування на КГШП, що забезпечує підвищений коефіцієнт використання матеріалу та зменшення припусків на механічну обробку. Визначено масу заготовки та доведено доцільність обраного способу з точки зору зниження собівартості виготовлення деталі.

Розроблено маршрут виготовлення деталі із застосуванням сучасного металообробного обладнання, зокрема верстатів з ЧПК, що дозволило зменшити трудомісткість виготовлення, скоротити виробничий цикл та підвищити стабільність якості продукції.

Для токарної операції з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні Siemens NX, що забезпечило точне відтворення заданих режимів різання та оптимізацію траєкторії інструмента.

Спроековано робоче пристосування для зубофрезерної операції, для якого виконано розрахунок похибки базування та закріплення, визначено точність пристосування, розраховано необхідне зусилля затиску та здійснено вибір пневматичного приводу. Також розроблено контрольне пристосування для перевірки радіального биття зубчастого вінця відносно шліцьового отвору.

Виконано розрахунок на міцність шестерні із використанням методу скінченних елементів у середовищі NX, що підтвердило достатній запас міцності деталі при експлуатаційних навантаженнях.

Розроблено заходи з охорони праці та електробезпеки при виконанні зубофрезерної операції, що забезпечують безпечні умови праці персоналу.

Таким чином, у результаті виконання дипломної роботи було створено

раціональний, технічно та економічно обґрунтований технологічний процес виготовлення шестерні ведучої, що забезпечує високу якість продукції та ефективність виробництва.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Сталь 14ХГСН2МА. URL: <https://evek.org/materials/stal-14hgsn2ma-ep176-di3a.html> (дата звернення : 20.05.2026).
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

Лист 1

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

[illegible]

Додл.														
Взам.														
Подл.														

НУЗП 0214.126007 Листів 4 Лист 3

НУЗП

НУЗП 721143.007

М-112.1014.1.000001

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				065	4 132 Внутрішньошліфувальна					ЮП №009						
Б 02	3811312				Внутрішньошліфувальний ЗК228	2	19630	5	2	1	1	шт	24	1	20	3,74
03																
А 04				070	4 131 Круглошліфувальна					ЮП №010						
Б 05	3811311				Круглошліфувальний ЗУ10В	2	19630	4	1	1	1	шт	24	1	21	5,45
06																
А 07				075	4 131 Круглошліфувальна					ЮП №010						
Б 08	3811311				Круглошліфувальний ЗУ10В	3	19630	4	1	1	1	шт	24	1	21	3,8
09																
А 10				080	4 132 Внутрішньошліфувальна					ЮП №009						
Б 11	3811312				Внутрішньошліфувальний ЗК228	2	19630	5	1	1	1	шт	24	1	27	4,9
12																
13				085	4 131 Круглошліфувальна					ЮП №011						
14	3811311				Круглошліфувальний ЗУ10В	2	19630	5	2	1	1	шт	24	1	21	0,98
15																
16				090	4 151 Зубошліфувальна					ЮП №011						
17	381561				Зубошліфувальний 5В833	2	12277	5	2	1	1	шт	24	1	25	40,65
18																
19																

МК

Лудл.			
Взам			
Ориг.			

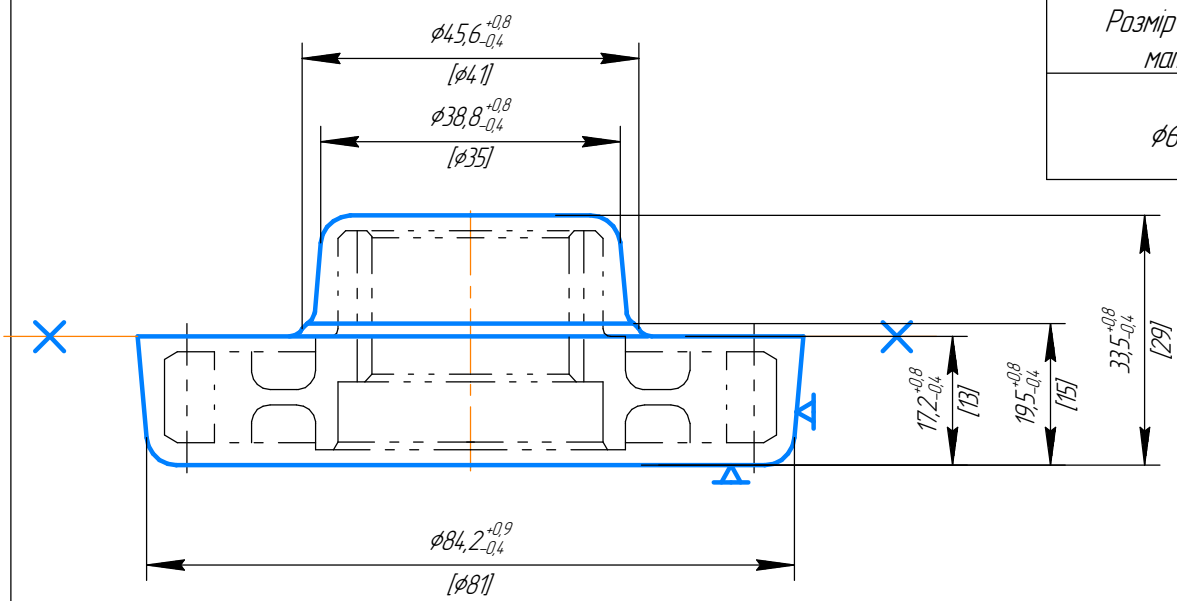
Гл.технолог
Нач. БПМ

Форма 170-162

					Опер 005	НУЗП 0214.1.26007	1	1
Розроб.	Козаковський С.			НУЗП	НУЗП 721143.007		М-112.2014.1.00005	
Перевір.	Гришин							
				Шестерня ведуча				
Нконтр	Дядя							005

√ Ra25

Технічні умови на заготовку			
Матеріал		Заготовка	
Найменування та марка	Код	Код і вид	Профіль і розмір
Сталь 14ХГСН2МА-Ш ТУ 14-1-1865-76		штамповка	φ84,2x33,5
Технічні умови		Маркування	Твердість
ГОСТ 7505-74			293...341 НВ
Сортамент		Допустима кривизна	
		0,5	
Размір вихідного матеріалу		Кіл.дет. із заг.	Норма розходу
			Разм. листа, прутка
			Маса
φ60x55		1	0,9



1. Заготовка - штамповка, ступінь складності - С2, ступінь точності - Т4 по ГОСТ 7505-74,
2. Невказані радіуси скруглення 2...4 мм.
3. Невказані нахили - 1...3 ..

Карта заготовки

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.26006

1

1

Розроб. Козаковський С.

НУЗП

НУЗП 72114.3.007

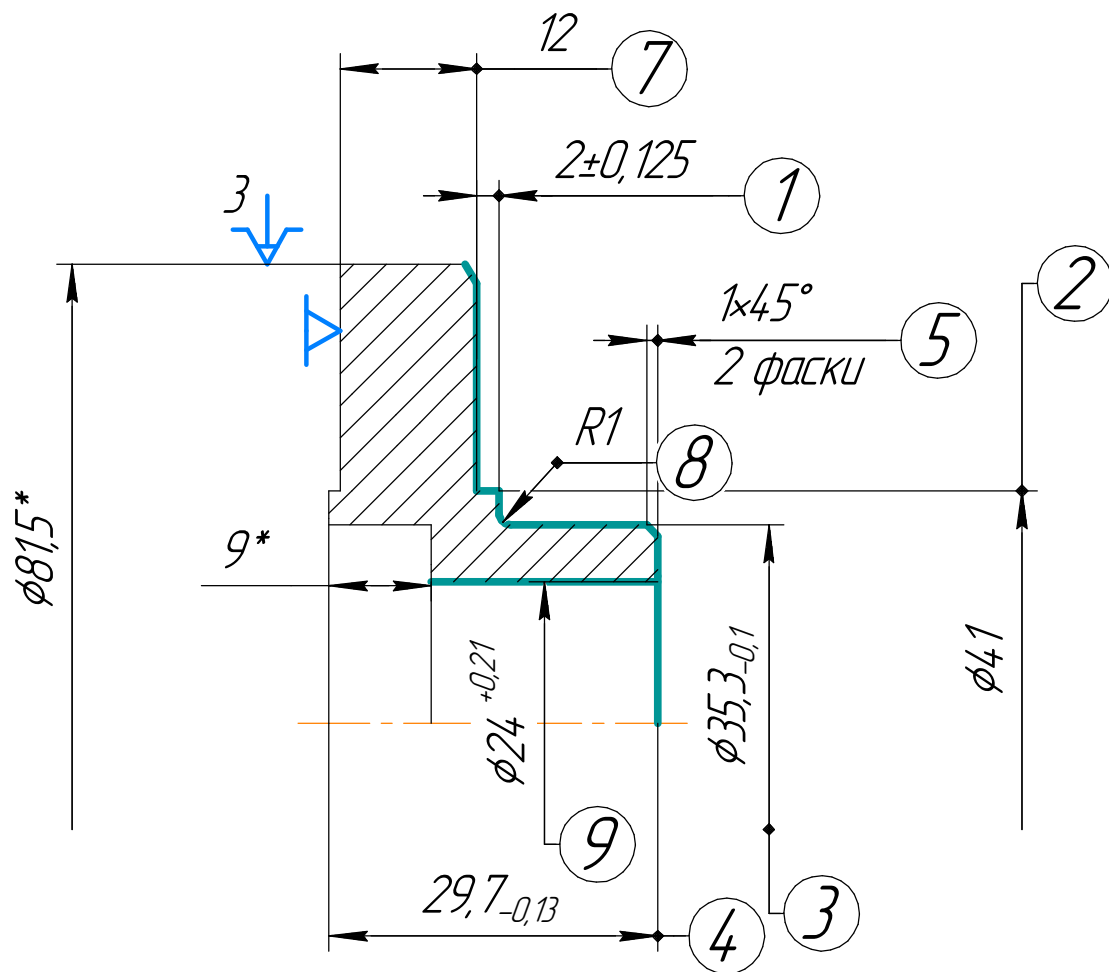
М-112.2014.1.00025

Перевір. Тришин

Н. контр. Дядя

Шестерня ведуча

025

 $\sqrt{Ra3,2}$ 

* розміри для довідок

Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

НУЗП 0214.1.26007

1

1

Розроб. Козаковський С.

НУЗП

НУЗП 72114.3.007

М-112.2014.1.00040

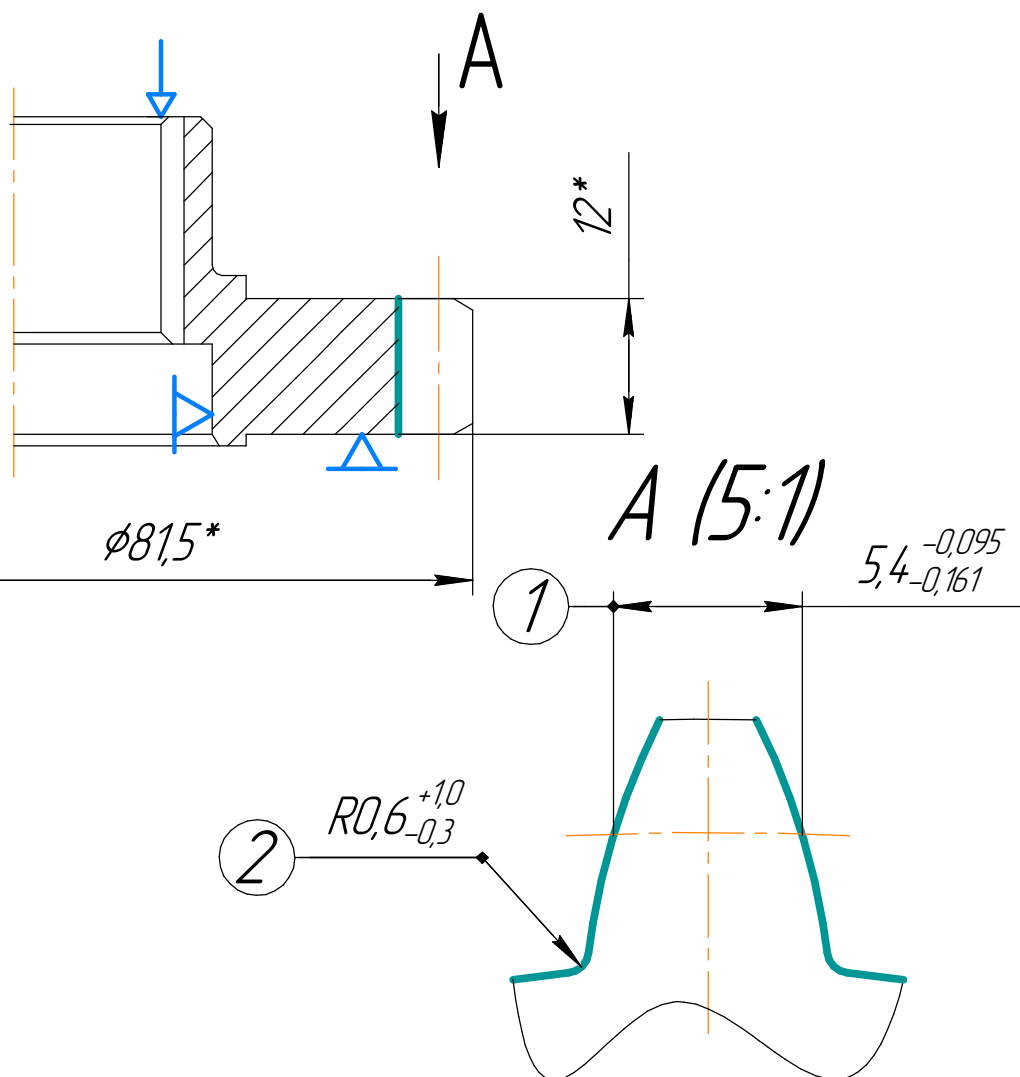
Перевір. Тришин

Н. контр. Дядя

Шестерня ведуча

040

√ Ra3.2



Модуль	<i>m</i>	3
Число зубців	<i>z</i>	25
Вихідний контур	-	ГОСТ 13755-80
Кут нахилу лінії зуба	α	20
Коефіцієнт радіального зазору	<i>c</i>	0,25
Коефіцієнт зміщення	ζ	+0,138
Допуск накопиченої похибки кроку	δt	0,032
Допуск на радіальне биття зубчатого венця	<i>E</i>	0,05
Основний крок	<i>t</i>	5,904
Допуск на найбільшу різницю основних кроків	δt_0	0,006
Допуск на напрям зуба	F_β	0,005
Діаметр ділильної окружності	<i>d</i>	75

* розміри для довідок

КЗ

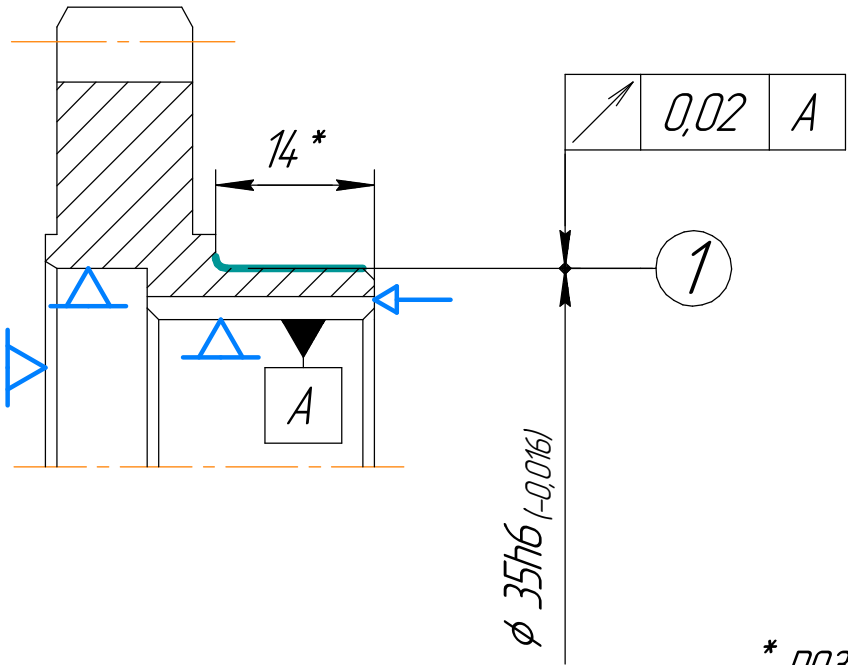
Дудл.			
Взам.			
Підп.			

--	--	--	--	--

ГОСТ 3.1105-84					Форма 7

						НУЗП 0214.126007	1	1
Розроб.	Козаковський С.			НУЗП	НУЗП 72114.3.007	М-112.2014.1.00085		
Перевір.	Тришин							
Н. контр.	Дядя				Шестерня ведуча			

$\sqrt{Ra0.8}$



* розміри для довідок

КЗ			
----	--	--	--

Дудл.																		
Взам.																		
Підл.																		
НУЗП 02.14.126007												Листів 1		Лист 1				
Розроб.		Козаковський С.		НУЗП		НУЗП 72114.3.007				М-112.6014.1.00085								
Перевір.		Тришин		Шестерня ведуча														
Н.контр.		Дядя														085		
Найменування операції				Матеріал				Твердість		ОВ	МД	Проф. і розм.		МЗ		КВЗ		
Круглошліфувальна				Сталь 14ХГСН2МА-Ш ТУ 14-1-1865-76				30...42 HRC		к2	0,3			0,9		0,3		
Устаткування, пристрій ЧПК				Позначення програми				То	Тдоп		Тп.з.	Тш-к		30ТС				
Круглошліфувальний 3У10В				-				0,04		0,85		21	1,8		5% емульсія "Укрінол-1" ТУ-38-101197-76			
Р				П	Q, В	L	t	i	S			п	V					
О 01	1. Встановити та закріпити деталь												t _{вст} =0,15 хв					
Т 02	ПР Центр 7032-0023 ГОСТ 13214-79, хомутик 7107-0065 ГОСТ 16488-70																	
03																		
О 04	2. Шліфувати поверхню витримуючи розмір 1.																	
Т 05	ВИ Оправка																	
06	РИ 1 250х20х76 15А 40-Н СТ1 6 К8А 50м/с А 1 кл. ГОСТ 2424-83																	
07	СИ Калібр-скоба 8113-0127 ГОСТ 18360-93.																	
Р 08				01	250/35	14	0,052	1	0,005			2800/400	41/44					
09																		
О 10	3. Зняти деталь												t _{зн} =0,15 хв					
11																		
12																		
13																		
14																		
15																		
ОК																		