

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)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення методу зачистки задирок на зубцях зубчастих коліс»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

БОРОВИК К.В.

(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 другий (магістерський)
 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)

БОРОВИК Кирило Володимирович
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Удосконалення методу зачистки задирок на зубцях зубчастих коліс
- керівник проєкту (роботи) к.т.н ., ст. викладач ТРИШИН Павло Романович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
 затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» листопада 2023 року №436
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску
N=2500шт
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина;
3. Автоматизація; 4. Розрахунок деталі на міцність; 5. Спеціальне завдання;
6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут
виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат
автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат
розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів -

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к.т.н ., ст. викладач ТРИШИН П.Р.		
7	к.т.н ., доц. ШМИРКО В.І.		
6	к.т.н ., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г.В.		
нормоконтроль	к т н доц ДЯДЯ С І		

7. Дата видачі завдання 01.09.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2023	
2	Конструкторська частина	08.10.2023	
3	Автоматизація	15.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	22.10.2023	
5	Спецзавдання	05.11.2023	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2023	
7	Охорона праці	26.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	01.12.2023	
9	Нормоконтроль	05.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проекту	12.12.2023	

Студент

_____ Кирило БОРОВИК
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Павло ТРИШИН
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 112 с., 46 рис., 21 табл., 3 додатки, 23 джерел.

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

Об'єкт дослідження – зубчасте колесо.

Мета роботи – удосконалити метод зачистки задирок на зубцях зубчастого колеса.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення зубчастого колеса, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для зубофрезерної обробки та контрольне пристосування, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розроблено керуючу програму для операцій з ЧПК, запропоновані рекомендації та обладнання для автоматизації зачистки задирок на зубчастих колесах, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу, розглянуто удосконалення методу зачистки задирок на зубцях після зубофрезерування шляхом застосування роботизованих модулів для видалення задирок. В якості методів та інструментів для зачистки задирок проаналізовано використання твердосплавної фрези, різального диску, металевих щіток, абразивно-полімерних щіток, методу пластичної деформації. На підставі проведеного аналізу стану поверхневого шару зроблено висновок про те, що при зачистці полімерно-абразивними щітками отримані найкращі результати якості стану поверхонь.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Технологічна частина.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	9
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням..	10
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	14
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	14
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	14
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	19
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	22
1.6 Розрахунок режимів різання.....	28
1.6.1 Операція 025 – токарна з ЧПК.....	28
1.6.2 Операція 075 – шліфувальна.....	33
1.6.3 Операція 040 – зубофрезерна з ЧПК	35
1.6.4 Операція 035 – свердлильна з ЧПК.....	38
1.7 Технічне нормування операції.....	42
1.7.1 Технічне нормування токарної операції 025	42
1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 075.....	43
1.7.3 Технічне нормування зубофрезерної операції 040.....	45
1.7.4 Технічне нормування свердлильної операції 035.....	46
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	48
1.8.1 Операція 025 – токарна.....	48
1.8.2 Операція 040 – зубофрезерна.....	54
1.8.3 Операція 035 – свердлильна.....	56
2 Конструкторська частина.....	61
2.1 Проектування робочого пристосування.....	61

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	61
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	62
2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	63
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	66
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	66
3. Автоматизація.....	69
3.1 Автоматизація зняття задирок на зубцях зубчастих колес.....	69
4 Розрахунок деталі на міцність.....	74
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....	74
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції.....	76
4.3 Оптимізація геометрії деталі.....	77
5 Удосконалення методу зачистки задирок на зубцях.....	78
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	87
7 Заходи по забезпеченню безпеки в машинобудуванні	96
Висновки	102
Перелік джерел посилення.....	103
Додаток А. Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX.....	106
Додаток Б. Специфікація робочого пристосування	108
Додаток В. Специфікація контрольного пристосування	111

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампувальний прес

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

В сучасному виробництві зубчастих передач в машинобудівній промисловості, особливо великої потужності, великою проблемою залишається якість обробки зубців зубчастих коліс. За допомогою зубофрезерування створюються високоточні зубці, проте часто виникає проблема задирок, що значно впливає на функціональність та надійність механізмів.

Одним із ключових етапів вирішення цієї проблеми є метод зачистки задирок, що виникають після зубофрезерування. У даній магістерській роботі розглядається удосконалення цього методу за допомогою використання роботизованих модулів для видалення задирок.

Об'єктом дослідження є використання різноманітних методів та інструментів для зачистки задирок, зокрема твердосплавні фрези, різальні диски, металеві щітки, абразивно-полімерні щітки та метод пластичної деформації. Проведений аналіз включає в себе оцінку ефективності кожного методу та визначення його впливу на якість обробки зубців.

Зокрема, металографічна та електронна мікроскопія використовується для детального вивчення стану поверхневого шару після застосування різних методів зачистки. Отримані результати дають можливість зробити висновок про найбільш ефективний метод зачистки задирок та його вплив на стан поверхонь зубців.

Ця робота спрямована на підвищення ефективності та точності процесу зачистки задирок, що дозволить підвищити якість виробництва та забезпечити стабільну роботу механізмів зубчастих передач у різних галузях промисловості.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Зубчасте колесо (рис. 1.1) є складовою кінематичної схеми редуктора системи підйому радіолокаційного комплексу. Колесо зубчасте призначене для передачі обертового моменту від головної шестерні на шестерню приводу системи підйому. Крутний момент передається за допомогою шпонки. Матеріалом зубчастого колеса є сталь 40Х. Ця сталь за класифікацією є покращеною – ГОСТ 4543-71, хімічний склад сталі наведено у табл. 1.1. Для створення більш рівномірної, дрібнозернистої структури матеріалу, поліпшення оброблюваності перед механічною обробкою, заготівка-штамповка проходить термообробку (нормалізація). Після нарізування зубчастого вінця проводиться термообробка зубців в установці ТВЧ для отримання необхідної структури матеріалу та необхідної твердості 48...54 HRC. При цьому вся деталь проходить об'ємне гартування до твердості 28...32 HRC.



Рисунок 1.1 – 3D-модель деталі

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 40Х [1]

C	Si	Mn	Ni	Cr	Fe	S	P
0,36...0,44	0,17...0,37	0,5...0,8	<0,6	0,8...1,1	основа	<0,035	<0,035

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Орієнтуючись на задану програму випуску 2500 шт та вагу деталі 2,63 кг, встановленого порядку виконання операцій технологічного процесу (ТП), вибираю тип виробництва – серійний, із змінно-потоковою формою організації робіт згідно методики [2, 3].

Кількість партії оброблюваних деталей розраховується за формулою (1.1):

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

де N – річна програма випуску, шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво;

A – кількість робочих днів на рік.

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

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Згідно аналізу креслення деталі, маси (2,63 кг), матеріалу (Сталь 40Х) та технологічних вимог до виготовлення, програми випуску (2500 шт) заготовку можна отримати наступними методами:

- штампування на кривошипному гаряче штампованому пресі (КГШП);
- штампування на молоті.

Маси заготовок визначаємо за допомогою програмного забезпечення шляхом виміру масово-центровочних характеристик (Додаток А).

Для штампованої заготовки згідно рекомендацій [4] встановлюємо

наступні характеристики: клас точності – Т2; група сталі – М2; ступінь складності – С1. Призначаємо нахили для зовнішніх поверхонь – 5° , зовнішні радіуси заокруглень – 2 мм, внутрішні радіуси заокруглень – 6 мм.

Припуски на всі поверхні штамповки приймаються в залежності від їх маси згідно [5]: для КГШП – 2,1...2,5 мм; для молота – 2,3...2,7 мм.

Ескізи заготовок отриманих методом штамповки на молоті та КГШП наведений на рис. 1.2, 1.3.



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

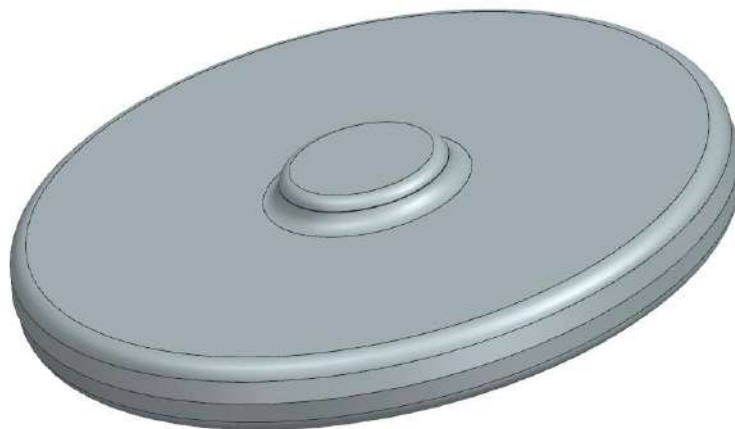


Рисунок 1.3 – 3D-модель заготовки, що отримується на молоті

Для техніко-економічного обґрунтування методу отримання заготовок оцінимо собівартість їх виготовлення. Собівартість виготовлення однієї

заготовки B , грн, розраховується за формулою:

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

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [5];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [5];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [5];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [5];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [5];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [5];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [5].

$$\begin{aligned} B_{\text{КГШП}} &= \frac{3500}{1000} \cdot 5,67 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (5,67 - 2,63) \cdot \frac{140}{1000} \\ &= 28,88 \text{ грн} \end{aligned}$$

$$B_M = \frac{3500}{1000} \cdot 7,84 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (7,84 - 2,63) \cdot \frac{140}{1000} = 40,09 \text{ грн}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

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

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{2,63}{5,67} = 0,46$$

$$\eta_M = \frac{2,63}{7,84} = 0,33$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблицю

1.2.

Таблиця 1.2 – Результати розрахунків показників економічного вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Молот
Вага заготовки	Q	кг	5,67	7,84
Базова вартість 1 т заготовки	В _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	В _{відх}	грн	140	140
Собівартість виготовлення заготовки	В _з	грн	28,88	40,09
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,46	0,33

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок розраховується за формулою:

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

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (40,09 - 28,88) \cdot 2500 = 28025 \text{ грн}$$

Річні заощадження витрат матеріалу розраховується за формулою:

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

$$M_e = \frac{2,63 \cdot (0,46 - 0,33)}{0,46 \cdot 0,33} \cdot 2500 = 5630,7 \text{ кг}$$

Обираємо штампування на КГШП в якості оптимального методу отримання заготовки, тому що коефіцієнтом використання матеріалу при цьому буде вищим, а собівартість виготовлення меншою в порівнянні з заготовкою отриманою штампуванням на молоті.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

В якості чорнових баз, на першій токарній обробці, обираємо зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 216$ мм та лівий торець розмір 20 мм (рис. 1.1), тому що ці бази забезпечують найменшу похибку установки, мають достатню площу поверхні і відносну точність форми, яка забезпечується в заготовці.

В процесі токарної обробки готують проміжні бази: отвір $\varnothing 30$ мм, зовнішню циліндричну поверхню $\varnothing 52$ мм, крайній торець розмір 38 мм. Ці бази збігаються з конструкторськими базами та використовуються для чистової обробки. Дані бази будуть використані для подальшої обробки: шліфувальної, протяжної, зубофрезерної. При такому виборі чистових баз забезпечується більша точність обробки, оскільки суміщені установочні та вимірювальні бази. Протягом усього технологічного процесу для механічних операцій зберігається принцип сталості баз, що забезпечує точність обробки.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) містить кількість технологічних переходів, послідовність цих переходів, способи обробки поверхонь. Для спрощення проектування МОП проведемо нумерацію поверхонь деталі

(рис. 1.4).

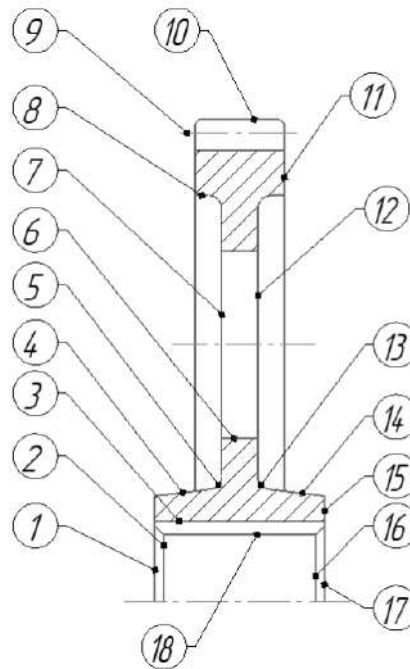


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

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

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

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

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

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні 10 – Ø216h8_(-0,072):

$$\varepsilon_d = \frac{2}{0,072} = 27,7$$

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

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

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою:

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

$$k = 2 \cdot \lg 31,2 = 3$$

Приймаємо k=3 переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між k=3 переходами за законом прогресивного зменшення: IT=IT17-h8=9=5+2+2.

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

- 1) Для допуску – IT17→h12→h10→ТО→h8
- 2) Для шорсткості – Ra50→Ra6,3→Ra3,2→ТО→Ra1,6

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

Перший перехід – точіння чорнове: T_{D1}=460 мкм; T_{Ra1}=6,3 мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{2000}{460} = 4,3$$

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

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=185$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{460}{185} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,9$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 4,3 \cdot 2,5 = 10,7 < \varepsilon_d = 27,7$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 7,9 \cdot 1,9 = 15 < \varepsilon_{Ra} = 31,2$$

Четвертий перехід – шліфування: $T_{D4}=72$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{185}{72} = 2,5$$

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

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 10,7 \cdot 2,5 = 26,7 < \varepsilon_d = 27,7$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 15 \cdot 2 = 30 < \varepsilon_{Ra} = 31,2$$

Для поверхні 18 – Ø30H6(+0,013)

$$\varepsilon_d = \frac{0,21}{0,013} = 16,1$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{6,3}{0,8} = 7,9$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{0,5}{0,05} = 10$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою (1.9):

$$k = 2 \cdot \lg 16,1 = 2,4$$

Приймаємо $k=2,4$ переходи. Визначаємо різницю показників якості та розподіляємо цю різницю між $k=3$ переходами за законом прогресивного зменшення: $IT=N12-N6=6=2+2+2$.

ПШТЯ:

- 1) Для допуску – $N12 \rightarrow N10 \rightarrow N8 \rightarrow N6$
- 2) Для шорсткості – $Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow TO \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$

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

Перший перехід – точіння чистове: $T_{D1}=84$ мкм; $T_{Ra1}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{210}{84} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{6,3}{3,2} = 1,9$$

Третій перехід – шліфування чорнове: $T_{D3}=33$ мкм; $T_{Ra3}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d3} = \frac{84}{33} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra3} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 2,5 \cdot 2,5 = 6,2 < \varepsilon_d = 16,1$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 1,9 \cdot 2 = 3,8 < \varepsilon_{Ra} = 7,9$$

Четвертий перехід – шліфування чистове: $T_{D3}=13$ мкм; $T_{Ra3}=0,8$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d3} = \frac{33}{13} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Ra3} = \frac{16}{0,8} = 2$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 6,2 \cdot 2,5 = 15,5 < \varepsilon_d = 16,1$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 3,8 \cdot 2 = 7,6 < \varepsilon_{Ra} = 7,9$$

Таким же методом робимо розрахунки і для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до табл. 1.4.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі можна розділити на наступні етапи: заготівельний, чорновий, чистовий, фінішний. Складаємо етапний маршрут виготовлення деталі:

- 1) I етап – отримання заготовки, термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:

Таблиця 1.3 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення		
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зовнішня циліндрична поверхня 10 Ø216h8 _(-0.072) Ra1,6	Td	27,7	3	3	Δ IT = IT17 – h6 = 11 IT17 → h12 → h10 → h8 Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2→ Ra1,6	1	Заготовка-штамповка	2000	50	-	-	
	Ra	31,2				2	Точіння чорнове	460	6,3	4,3	7,9	
						3	Точіння чистове	185	3,2	2,5	1,9	
						4	Термічна обробка	-	-	-	-	
						5	Шліфування	72	1,6	2,5	2	
Внутрішня циліндрична поверхня 18 Ø30H6 ^(+0,013) Ra0,8	Td	16,1	4	4	Δ IT = IT12 – H6 = 6 H12 → H10 → H8 → H6 Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 →Ra0,8	1	Заготовка-штамповка	-	-	-	-	
	Ra	7,9					2	Свердління	210	6,3	-	-
							3	Точіння чистове	84	3,2	2,5	1,9
							4	Термічна обробка	-	-	-	-
							5	Шліфування чорнове	33	1,6	2,6	2
							6	Шліфування чистове	13	0,8	2,5	2

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Торцюва поверхня 11 38h8(-0,039) Ra1,6	Td	37,5	3,1	2	$\Delta IT = IT17 - h8 = 9$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8$ $Ra50 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6$	1	Заготовка-штамповка	1500	50	-	-
	Ra	31,2				2	Точіння чорнове	250	6,3	6	7,9
						3	Точіння чистове	100	3,2	2,5	1,9
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування	39	1,6	2,5	2
Торцюва поверхня 17 Ø20h8(-0,033) Ra1,6	Td	44,3	3,2	3	$\Delta IT = IT17 - h8 = 9$ $IT17 \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8$ $Ra50 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow$ $Ra1,6$	1	Заготовка-штамповка	1500	50	-	-
	Ra	31,2				2	Точіння чорнове	210	6,3	7,1	7,9
						3	Точіння чистове	84	3,2	2,5	1,9
						4	Термічна обробка	-	-	-	-
						5	Шліфування	33	1,6	2,5	2

- токарна обробка (чорнова, чистова);
- протяжна обробка;
- свердлильна обробка;
- зубофрезерна обробка;
- слюсарна обробка

3) III етап – ТО (ТВЧ);

4) IV етап – механічна обробка:

- шліфування (чорнове, чистове);
- зубошліфування;

5) V етап -мийка, контроль.

Маршрут виготовлення деталі наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 721003.001

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – це додатковий шар матеріалу на поверхні заготовки, який може містити різні дефекти, недопустимі для деталі з урахуванням умов її службового призначення. З метою досягнення заданих властивостей обробленої поверхні необхідно видалити цей шар матеріалу з поверхні заготовки. Припуск виконує роль компенсатора похибок попередніх етапів обробки, що забезпечує точність та якість готової деталі.

Розрахунок припусків на поверхні деталі виконаємо розрахунково-аналітичним методом. Для зовнішньої циліндричної поверхні – $\varnothing 216h8(-0,072)$:

1) для заготовки значення $Rz_1 = 160$ мкм та $h_1 = 200$ мкм [6]

Просторові відхилення заготовки розраховують за формулою:

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

де $\rho_{зм}$ – відхилення від соосності, $\rho_{зм} = 0,6$ мм [6];

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

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

де $\Delta_{кор}$ – кривизна поковки $\Delta_{кор} = 1,5$ мкм/мм [6].

$$\rho_{кор} = 1,5 \cdot 38 = 57 \text{ мкм}$$

$$\rho_1 = \sqrt{0,6^2 + 0,057^2} = 0,602 \text{ мм}$$

2) для чорнового точіння $Rz_2=40$ мкм та $h_2=40$ мкм [6];

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

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

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення $K_{ут} = 0,06$ [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 602 = 36 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

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

$$\varepsilon_2 = 0,25 \cdot \sqrt{2^2 + 1} = 0,56 \text{ мм}$$

3) для чистового точіння $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [6];

$$\rho_3 = 0,04 \cdot 36 = 1,5 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_2 = K_{ут} \cdot \varepsilon_{i-1} = 0,04 \cdot 560 = 22 \text{ мкм} \quad (1.14)$$

4) для ТО:

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

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

$$\rho_4 = 0,1 \cdot 216 = 21,6 \text{ мкм}$$

5) для шліфування $Rz_5 = 10$ мкм та $h_5 = 15$ мкм [6];

$$\rho_5 = 0,03 \cdot (21,6 + 1,5) = 0,7 \text{ мкм}$$

$$\varepsilon_5 = 0,03 \cdot 22 = 0,7 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки:

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

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{602^2 + 560^2}) = 2364 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2(40 + 40 + \sqrt{36^2 + 22^2}) = 244 \text{ мкм}$$

$$2z_5^{\min} = 2(20 + 20 + \sqrt{1,5^2 + 0,7^2}) = 43 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою:

$$d_5^{\max} = d_5^{\min} + ES_{d5} \quad (1.17)$$

$$d_5^{\max} = 216 + 0 = 216 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою:

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

$$\begin{aligned}
 d_3^{\max} &= 216 + 0,043 + 0,185 = 216,228 \text{ мкм} \\
 d_2^{\max} &= 216,228 + 0,244 + 0,46 = 216,932 \text{ мкм} \\
 d_1^{\max} &= 216,932 + 2,364 + 2 = 221,296 \rightarrow 221,3 \text{ мкм}
 \end{aligned}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned}
 d_i^{\min} &= d_i^{\max} - Td_i & (1.19) \\
 d_5^{\min} &= 216 - 0,072 = 215,928 \text{ мм} \\
 d_3^{\min} &= 216,228 - 0,185 = 216,043 \text{ мм} \\
 d_2^{\min} &= 216,932 - 0,46 = 216,472 \text{ мм} \\
 d_1^{\min} &= 221,3 - 2 = 219,3 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Мінімальні припуски розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned}
 2z_i^{\min} &= d_{i-1}^{\min} - d_i^{\max} & (1.20) \\
 2z_2^{\min} &= 219,3 - 216,932 = 2,368 \text{ мм} \\
 2z_3^{\min} &= 216,472 - 216,228 = 0,244 \text{ мм} \\
 2z_5^{\min} &= 216,043 - 216 = 0,043 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

$$\begin{aligned}
 2z_i^{\max} &= d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} & (1.21) \\
 2z_2^{\max} &= 221,3 - 216,472 = 4,828 \text{ мм} \\
 2z_3^{\max} &= 216,932 - 216,043 = 0,889 \text{ мм} \\
 2z_5^{\max} &= 216,228 - 215,928 = 1,004 \text{ мм}
 \end{aligned}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами:

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

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

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max} \quad (1.24)$$

$$2z_0^{\max} = 221,3 - 215,928 = 5,372 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 219,3 - 216 = 3,3 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 2 + 0,072 = 2,072 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 5,372 - 3,3 = 2,072 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 220^{+1,3}_{-0,7}$ мм.

Розрахунок режимів різання приведено в таблиці 1.4 та рис. 1.5.

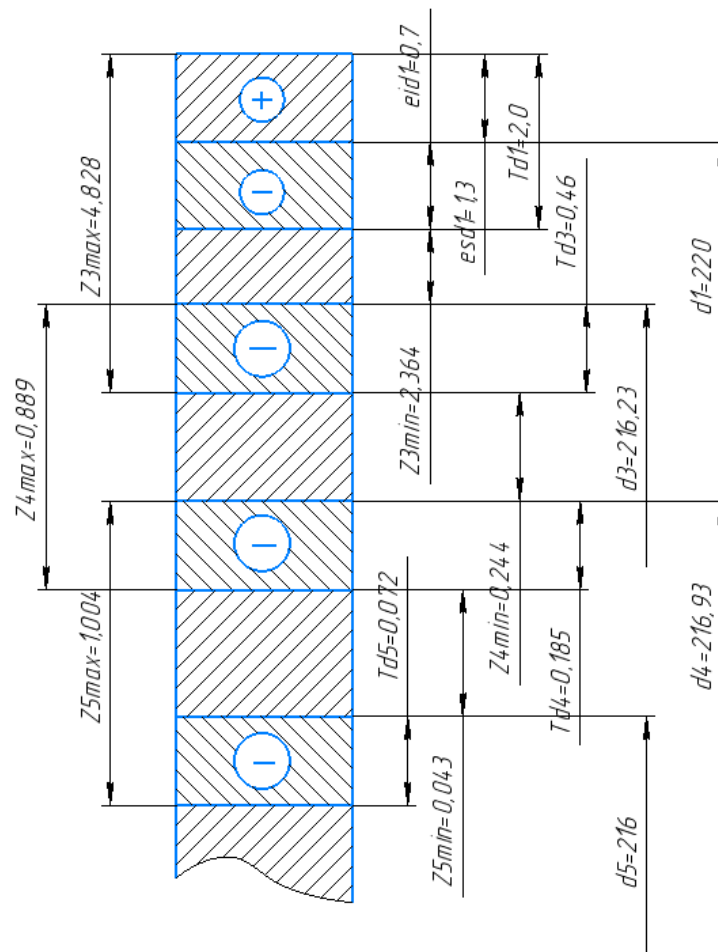


Рисунок 1.5 – Схема розташування припусків та технологічних розмірів

Для поверхонь $\varnothing 30^{(+0,013)}$ та $38_{(-0,039)}$ припуски призначаємо табличним

методом. Згідно цього методу припуски на всі переходи призначаються по таблицям довідкової літератури [4].

Для поверхні $\varnothing 30^{(+0,013)}$:

- 1) Свердління: $2Z^{min} = 28$ мм;
- 2) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1,3$ мм;
- 3) Шліфування чорнове: $2Z^{min}=0,5$ мм;
- 4) Шліфування чистове: $2Z^{min} = 0,2$ мм.

Для поверхні $38_{(-0,039)}$:

- 1) Чорнове точіння: $2Z^{min} = 3$ мм;
- 2) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1,2$ мм
- 3) Шліфування: $2Z^{min}=0,4$ мм;

Таблиця 1.4 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск мм	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	IT	Метод обробки		d_i^{max} , мм	d_i^{min} , мм	$2z_i^{max}$	$2z_i^{min}$	
10 $\varnothing 216h8$ Ra=1,6	17	Заготовка	2	221,3	219,3	-	-	$\varnothing 220^{+1,3}_{-0,7}$
	12	Точін. чорн.	0,46	216,932	216,472	4828	2364	$\varnothing 216,93_{-0,46}$
	10	Точін. чист. ТО	0,185	216,228	216,043	889	244	$\varnothing 216,23_{-0,185}$
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф. чорн.	0,072	216	215,928	1004	43	$\varnothing 216_{-0,072}$
	5,372-3,3=2+0,072 2,072=2,072					5,372	3,3	
18 $\varnothing 30^{(+0,013)}$ Ra0,8	17	Заготовка	-	-	-	-	-	-
	12	Сверлд.	210	28,21	28	28210	28000	$\varnothing 28^{+0,21}$
	10	Точін. чист.	84	29,384	29,3	1384	1300	$\varnothing 29,3^{+0,084}$
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф. чорн.	33	29,833	29,8	533	500	$\varnothing 29,8^{+0,033}$
	6	Шліф. чист.	13	30,013	30	213	200	$\varnothing 30^{+0,013}$
11 $38_{(-0,039)}$ Ra1,6	2,013-1,79=0,21+0,013 0,223=0,223					1,79	2,013	
	17	Заготовка	1500	44,4	42,8	-	-	$43,5^{+0,9}_{-0,6}$
	12	Точін. чорн.	250	39,95	39,7	4750	3000	$39,95_{-0,25}$
	10	Точін. чист.	100	38,5	38,4	1550	1200	$38,5_{-0,1}$
	-	ТО	-	-	-	-	-	-
	8	Шліф.	39	38	37,961	539	400	$38_{-0,039}$
	6,489-4,95=1+0,19 1,539=1,539					6,489	4,95	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 025 – токарна з ЧПК

Чистове точіння деталі виконуємо на токарному верстаті з числовим програмним керуванням (ЧПК) 16K20T1. Операційний ескіз операції 025 наведений на рис. 1.6. В якості пристосування використовується патрон трьохкулачковий. Технічна характеристика верстата:

- 1) Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:
 - при встановленні над станиною – 400;
 - при встановленні над супортом – 115;
- 2) Найбільша довжина обробки, мм – 900;
- 3) Діаметр отвору у шпинделі, мм – 53;
- 4) Число одночасно керованих координат – 2;
- 5) Частота обертання, шпинделя, об/хв – 10...2000;
- 6) Подача, мм/об:
 - Поздовжні – 0,01;
 - Поперечні – 0,005 – 1,4;
- 7) Максимальна робоча подача, мм/хв:
 - Поздовжня – 2000;
 - Поперечна – 1100;
- 8) Швидкість швидких переміщень, мм/хв:
 - Поздовжніх – 6000;
 - Поперечних – 5000;
- 9) Кількість позицій револьверної головки – 6;
- 10) Потужність головного електродвигуна, кВт – 11,

Обробка складається з чотирьох переходів:

- 1) Підрізка торця в розмір 38,5 мм;
- 2) Підрізка торцю в розмір 20,4 мм;
- 3) Точіння діаметру 216,5 мм;

4) Розточування отвору діаметром 29,5 мм.

Глибина різання розраховується за формулою:

$$h = L_{\text{заг}} - L_{\text{дет}} = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (1.25)$$

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

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

$$h_1 = 39,95 - 38,5 = 0,72 \text{ мм}$$

$$h_2 = 21 - 20,4 = 0,6 \text{ мм}$$

$$h_3 = \frac{217,93 - 216,23}{2} = 0,35 \text{ мм}$$

$$h_4 = \frac{29,3 - 28}{2} = 0,65 \text{ мм}$$

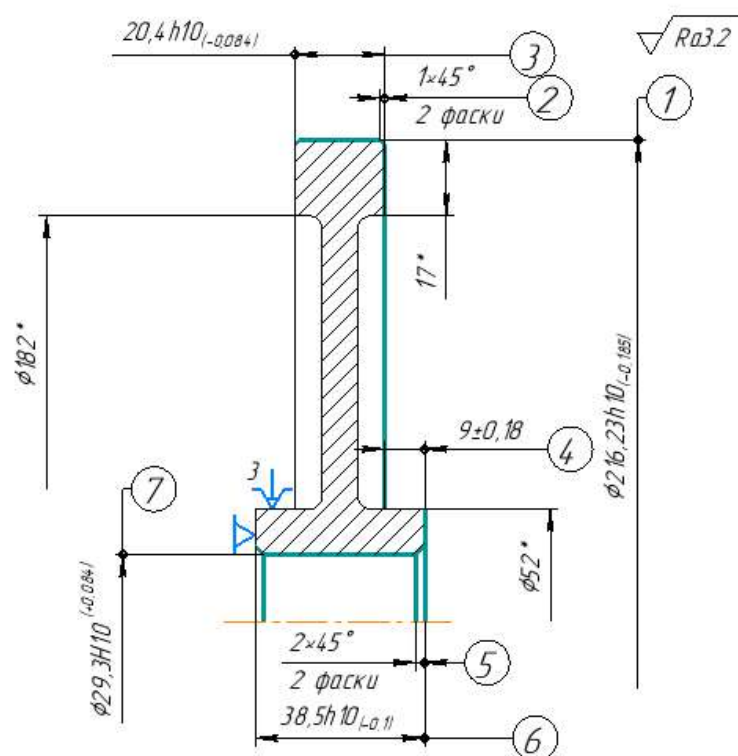


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

Глибина різання на один прохід:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.26)$$

де $i=2$ – кількість проходів.

$$t_1 = \frac{0,72}{2} = 0,36 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{0,6}{2} = 0,3 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{0,35}{2} = 0,17 \text{ мм}$$

$$t_4 = \frac{0,65}{2} = 0,32 \text{ мм}$$

Подача розраховується за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.27)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі $S_{0T} = 0,17 \text{ мм/об}$ [8];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{SK} \cdot K_{Sy} \cdot K_{S\varphi} \cdot K_{Sr} \cdot K_{SM} \quad (1.28)$$

де K_{SK} – коефіцієнт, що враховує квалітет обробки $K_{SK} = 1,0$ [8];

K_{Sr} – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця $K_{Sr} = 0,85$ [8];

$K_{S\varphi}$ – коефіцієнт, що враховує кінематичний кут в плані $K_{S\varphi} = 1,0$ [8];

K_{Sy} – коефіцієнт, що враховує схему встановлення заготовки $K_{Sy} = 1,2$ [8];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу $K_{SM} = 0,8$ [8].

$$K_S = 1,0 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 0,8 = 0,81$$

$$S_0 = 0,17 \cdot 0,81 = 0,14 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S = 0,1 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.29)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання $V_T = 487$ м/хв [8];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_H} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_0} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_C} \cdot K_{V_\phi} \cdot K_{V_{ж}} \quad (1.30)$$

де K_{V_C} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_C} = 1,0$ [8];

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

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 0,7$ [8];

K_{V_0} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_0} = 1,0$ [8];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{V_T} = 0,6$ [8];

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

K_{V_ϕ} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця $K_{V_\phi} = 1,0$ [8];

$K_{V_{ж}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням $K_{V_{ж}} = 1,0$ [8].

$$K_V = 1,0 \cdot 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,23$$

$$V = 487 \cdot 0,23 = 114 \text{ м/хв}$$

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

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.31)$$

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 114}{3,14 \cdot 216,23} = 167,7 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 114}{3,14 \cdot 52} = 698 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 114}{3,14 \cdot 29,3} = 1230 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_1=150$ об/хв, $n_2=700$ об/хв, $n_3=1200$ об/хв.

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

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.32)$$

$$V_{д1} = \frac{150 \cdot 3,14 \cdot 216,23}{1000} = 102 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{700 \cdot 3,14 \cdot 52}{1000} = 114 \text{ м/хв}$$

$$V_{д3} = \frac{1200 \cdot 3,14 \cdot 29,3}{1000} = 111 \text{ м/хв}$$

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

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.33)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врізання $l_{вр} = 2$ мм [8];

$l_{пер}$ – перебігу $l_{пер} = 2$ мм [8].

$$L_{px1} = 2 + 20,5 + 2 = 24,5 \text{ мм}$$

$$L_{px2} = 2 + 17 + 2 = 21 \text{ мм}$$

$$L_{px3} = 2 + 11 + 2 = 15 \text{ мм}$$

$$L_{px4} = 2 + 38,5 + 2 = 42,5 \text{ мм}$$

Машинний час розраховується за формулою:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.34)$$

$$t_{o1} = \frac{24,5}{0,1 \cdot 150} \cdot 2 = 3,2 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{21}{0,1 \cdot 150} \cdot 2 = 2,8 \text{ хв}$$

$$t_{o3} = \frac{15}{0,1 \cdot 700} \cdot 2 = 0,4 \text{ хв}$$

$$t_{o4} = \frac{42,5}{0,1 \cdot 1200} \cdot 2 = 0,7 \text{ хв}$$

$$\sum T_o = 3,2 + 2,8 + 0,4 + 0,7 = 7,1 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 075 – шліфувальна

Інструмент: шліфувальне круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с
ГОСТ 2424-83. Пристосування – оправка, центр, хомутик повідковий. Верстат – круглошліфувальний верстат 3А151. Операційний ескіз зображено на рис. 1.7.

Технічні характеристики верстата:

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

Припуск на обробку по торцю $Z_1=0,2$ мм, по циліндричній поверхні $Z_2=0,502$ мм (табл. 1.5).

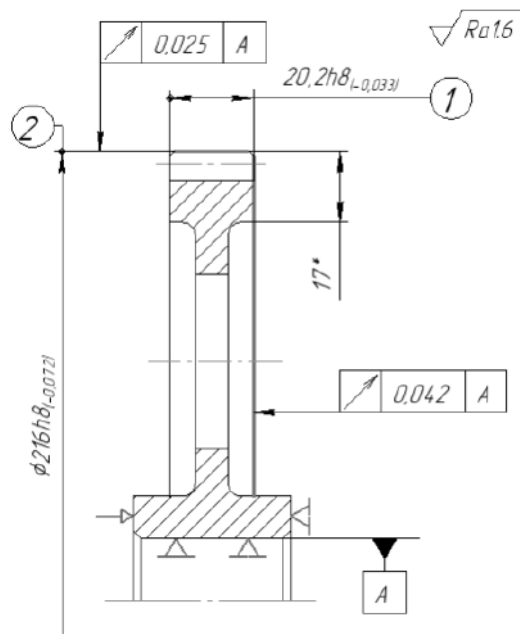


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.27), (1.28):

де S_T – табличне значення подачі $S_T=0,008$ мм/об [8];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга $K_D=0,42$ [8];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі $K_R=0,85$ [8];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга $K_T=1,0$ [8];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку $K_h=1,0$ [8];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру $K_{IT}=0,5$ [8];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі $K_M=1,0$ [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,42 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,0014 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{поп}}=0,002$ мм/об.

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

Табличне значення швидкості різання визначаємо за довідковою літературою [8]:

- швидкість обертання круга – $V_{\text{ш.кр.}}=50$ м/с;
- швидкість обертання деталі – $V_{\text{ш.дет.}}=50$ м/хв.

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.кр.}} \cdot 60}{\pi \cdot D}, \text{ об/хв} \quad (1.35)$$

$$n_{\text{ш.кр.}}^p = \frac{1000 \cdot 50 \cdot 60}{3,14 \cdot 600} = 1592 \text{ об/хв}$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.36)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 216} = 73,7 \text{ об/хв}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n_{\text{ш.кр.}}=1272$ об/хв, $n_{\text{дет.}}=63$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

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

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 216 \cdot 63}{1000} = 43 \text{ м/хв}$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.37)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

$$T_o = \frac{0,5 \cdot 1,7}{63 \cdot 0,002} + \frac{0,2 \cdot 1,7}{63 \cdot 0,002} = 9,4 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція 040 – зубофрезерна з ЧПК

Для фрезерування зубчастого вінця обираємо 4-осьовий горизонтально-фрезерний обробний центр з ЧПК ОКК НМ 50. Операційний ескіз зображено на рис. 1.8.

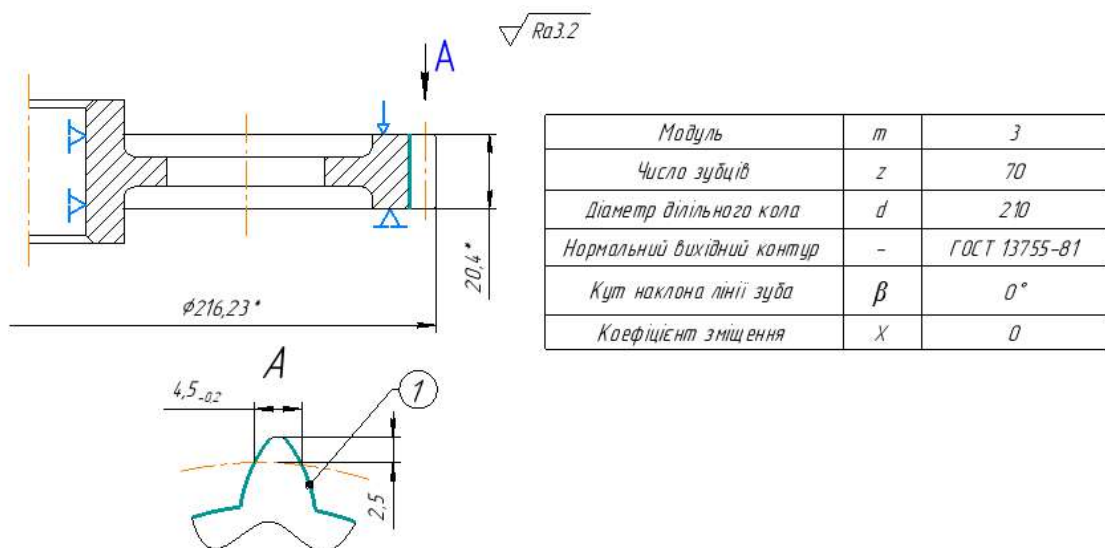


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз

Технічні характеристики верстата:

1) найбільші переміщення:

- по осі X – 760 мм;
- по осі Y – 730 мм;
- по осі Z – 790 мм;

2) розмір столу – 5000x500 мм;

3) частоти обертання шпинделя фрези – 50...4500 об/хв;

4) подача:

- по осі X – 0,1...3500 мм/хв;
- по осі Y – 0,1...3500 мм/хв;
- по осі Z – 0,1...3000 мм/хв;

5) потужність 25 кВт.

В якості інструменту обираємо модульну дискову фрезу $m=3$, матеріал різальної частини P6M5, геометричні параметри: $D=80$ мм, $d=27$ мм, $L=12$ мм, $z=12$.

Засоби контролю: зубомір для контролю товщини зуба, пристосування для контролю радіального биття.

Розраховуємо подачу за формулою (1.27), (1.28):

де S_T – табличне значення подачі $S_T=0,06$ мм/зуб [8];

K_{HB} – поправочний коефіцієнт, що залежить від твердості оброблюваного матеріалу $K_{HB}=0,8$ [8];

$K_{СОТС}$ – поправочний коефіцієнт, залежить від використання змащувально-охолоджувальне технічне середовище ЗОТС $K_{СОТС}=1$ [8];

K_S – поправочний коефіцієнт враховує напрям руху подачі $K_S=1$ [8];

K_{HP} – поправочний коефіцієнт враховує клас точності фрези $K_{HP}=0,9$ [8];

K_{PI} – поправочний коефіцієнт враховує матеріал фрези $K_{PI}=1$ [8].

$$S_p = 0,06 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 = 0,043 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.29), (1.30):

де V_m – табличне значення швидкості $V_m=33,5$ м/хв [8];

K_{PI} – враховує оброблюваний матеріал $K_{PI} = 1$ [8];

K_{CT} – поправочний коефіцієнт, що враховує стійкість фрези $K_{CT}=0,9$ [8];

K_{II} – залежить від виду обробки $K_{II}=1$ [8];

K_C – залежить від використання ЗОТС $K_C = 0,75$ [8];

K_L – залежить від глибини різання $K_L=1$ [8].

$$V_p = 33,5 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 1 = 22,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.31):

$$n = \frac{1000 \cdot 22,6}{3,14 \cdot 80} = 72 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d=80$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

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

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою:

$$S_m = S_z \cdot n \cdot z \quad (1.38)$$

$$S_{m \text{ повз}} = 0,043 \cdot 80 \cdot 12 = 41,3 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{m \text{ повз}}=40$ мм/хв.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{(b + L_{вр} + L_{пер}) \cdot Z}{S}, \text{ хв} \quad (1.39)$$

де b – довжина фрезерування, мм;

$L_{пер}$ – величина перебігу, мм;

$L_{вр}$ – величина врізання, мм.

K – кількість заходів фрези;

Z – кількість зубів колеса.

$$L_{\text{вр}} = \sqrt{t \cdot (D_{\text{ф}} - t)}, \text{ мм} \quad (1.40)$$

де t – глибина западини;

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot m + tg(\beta - \omega) + 4, \text{ мм} \quad (1.41)$$

де ω – кут підйому витка фрези.

$$L_{\text{пер}} = 3 \cdot 3 + tg(0 - 0) + 4 = 13 \text{ мм}$$

$$L_{\text{вр}} = \sqrt{6,6 \cdot (80 - 6,6)} = 24,8 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(20,4 + 24,8 + 13) \cdot 70}{40} = 63,7 \text{ хв}$$

1.6.4 Операція 035 – свердлильна з ЧПК

Операція виконується на обробному центрі з ЧПК VMC60B. Ескіз операції зображено на рис. 1.9. Паспортні данні верстату:

- 1) Переміщення по осям:
 - X – 1100 мм;
 - Y – 600 мм;
 - Z – 600 мм;
- 2) Виліт шпинделя – 150...750 мм;
- 3) Конус Морзе в отворі шпинделя – BT40;
- 4) Частота обертання шпинделя – 1...12000 об/хв;
- 5) Розмір столу – 1200х600 мм;
- 6) Межа подач шпинделя мм/хв – 0,6...500;
- 7) Потужність електродвигуна головного руху – 11 кВт.

Свердлити отвір будимо у три етапи: Ø10→ Ø25→ Ø42.

Обираємо інструмент:

- 1) Свердло спіральне ліве Ø10 P6M5 ГОСТ 10903-77;

- 2) Свердло спіральне ліве $\phi 25$ Р6М5 ГОСТ 10903-77;
- 3) Свердло спіральне ліве $\phi 42$ Р6М5 ГОСТ 10903-77;

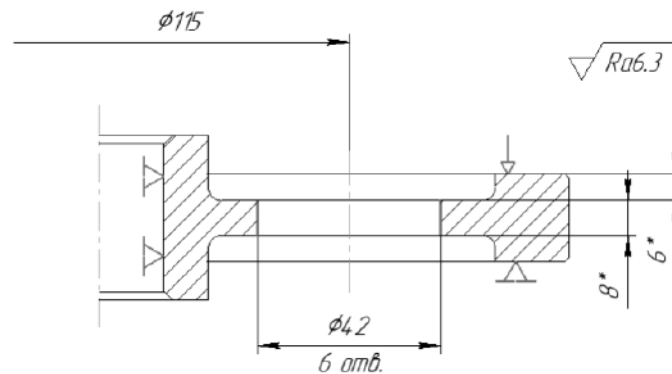


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз для оп. 030

Глибина свердління: $t_1 = 5$ мм, $t_2 = 7,5$ мм, $t_3 = 8,5$ мм.

Подачу розраховуємо за формулою (1.27), (1.28):

де $S_{табл}$ – табличне значення подачі $S_{табл} = 0,3$ мм/хв [8];

K_{Sl} – коефіцієнт, що враховує глибину свердління $K_{Sl} = 1,0$ [8];

$K_{Sж}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість системи $K_{Sж} = 1,0$ [8];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту $K_{Si} = 1,0$ [8];

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує наскрізний отвір $K_{Sd} = 1,0$ [8];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує властивості оброблюваного матеріалу $K_{Sm} = 1,0$ [8].

$$S_p = 0,3 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 0,3 \text{ мм/об}$$

Приймаємо $S = 0,3$ мм/об.

Розраховуємо швидкість головного руху різання за формулою (1.29), (1.30):

де $V_{табл}$ – табличне значення швидкості $V_{табл} = 79$ м/хв [8].

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

K_{VI} – коефіцієнт, враховує властивості матеріалу різальної частини інструмента $K_{VI} = 0,91$ [8];

K_{Vd} – коефіцієнт, враховує наскрізний отвір $K_{Vd} = 0,9$ [8];

K_{VI} – коефіцієнт, враховує глибину свердління $K_{VI}=1,0$ [8];

K_{VO} – коефіцієнт, враховує вплив СОТС $K_{VO}=1,0$ [8].

$$V_p = 79 \cdot 0,8 \cdot 0,91 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 51,7 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя розраховуємо за формулою (1.31):

$$n_1 = \frac{1000 \cdot 51,7}{3,14 \cdot 10} = 1646 \text{ об/хв}$$

$$n_2 = \frac{1000 \cdot 51,7}{3,14 \cdot 25} = 658 \text{ об/хв}$$

$$n_3 = \frac{1000 \cdot 51,7}{3,14 \cdot 42} = 392 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по верстату: $n_1=1600$ об/хв, $n_2=630$ об/хв, $n_3=300$ об/хв.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.32):

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 1600}{1000} = 50 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 630}{1000} = 49 \text{ м/хв}$$

$$V_{д3} = \frac{3,14 \cdot 42 \cdot 300}{1000} = 39 \text{ м/хв}$$

Розраховуємо основний машинний час обробки:

$$t_o = \frac{(L + L_{вр} + L_{пер}) \cdot i}{S \cdot n}, \text{ хв} \quad (1.42)$$

де $L_{вр}$ – величина врізання;

$L_{пер}$ – величина перебігу;

i – кількість отворів.

$$L_{вр} = \frac{D_{св}}{2} tg 30 \quad (1.43)$$

$$L_{\text{вріз1}} = \frac{10}{2} \operatorname{tg} 30 = 2,9 \text{ мм};$$

$$L_{\text{вріз2}} = \frac{25}{2} \operatorname{tg} 30 = 7,2 \text{ мм}$$

$$L_{\text{вріз3}} = \frac{42}{2} \operatorname{tg} 30 = 12,1 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{(8+2,9+2) \cdot 6}{0,3 \cdot 1600} + \frac{(8+7,2+2) \cdot 6}{0,3 \cdot 630} + \frac{(8+12,1+2) \cdot 6}{0,3 \cdot 300} = 2,2 \text{ хв},$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – 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	2	2	0,4	120	200
	02	2	2	0,4	120	250
020 Токарна з ЧПК	01	2	2	0,4	120	200
	02	2	2	0,4	120	250
	03	14	1	0,4	35	500
025 Токарна з ЧПК	01	0,36	2	0,1	102	150
	02	0,3	2	0,1	114	700
	03	0,17	2	0,1	102	150
	04	0,32	2	0,1	111	1200
030 Протяжна	01	3,3	1	0,05	5	-
035 Свердлильна з ЧПК	01	5	6	0,3	50	1600
	02	7,5	6	0,3	49	630
	03	8,5	6	0,3	39	300
040 Зубофрезерна	01	6,6	70	40	25	80
065 Внутрішньошліфувальна	01	0,5	50	0,005	45	12000
	02	0,25	3	0,005	40	500
070 Плоскошліфувальна	02	0,25	50	0,005	5	40под.х./хв
075 Круглошліфувальна	01	0,502	3	0,002	40/43	1272/63
	02	0,2	3	0,002	40/43	1272/63
080 Круглошліфувальна	01	0,2	3	0,002	40/43	1272/63
085 Внутрішньошліфувальна	01	0,2	50	0,002	35/40	12000
090 Зубошліфувальна	01	0,2	70	0,002	40/42	1100

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції 025

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.44)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,4$ хв [9];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,65$ хв [9];

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

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_n, \quad (1.45)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,2$ хв [9];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ [9].

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

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,65 + 0,08 = 1,13 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.46)$$

$$t_{\text{оп}} = 7,1 + 1,13 = 8,23 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.47)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 8,23 \cdot 0,1 = 0,82 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.48)$$

$$t_{\text{шт}} = 8,23 + 0,82 = 9,05 \text{ хв}$$

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

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} \quad (1.49)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$ [9].

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

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + \frac{t_{\text{пз}}}{n} \quad (1.50)$$

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

$$t_{\text{шт-к}} = 9,05 + \frac{30}{30} = 10,05 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування шліфувальної операції 075

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.44, 1.45):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{\text{вст}} = 0,2 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{\text{мд}} = 0,5 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, $t_{\text{вим}} = 0,1$ хв [9];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 1$ [9].

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

$$t_{\text{доп}} = 0,2 + 0,5 + 0,1 = 0,8 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{оп}} = 9,4 + 0,8 = 10,2 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 10,2 \cdot 0,1 = 1 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт}} = 10,2 + 1 = 11,2 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.49):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 10$ хв [9];

$t_{\text{пз2}} = 10$ хв – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 10$ хв [9];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 5$ хв [9].

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

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{шт-к} = 11,2 + \frac{25}{30} = 12,03 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування зубофрезерної операції 040

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.44, 1.45):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі, $t_{вст} = 0,4 \text{ хв}$ [9];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,4 \text{ хв}$ [9];

$t_{вим}$ – час на вимірювання, $t_{вим} = 0,2 \text{ хв}$ [9];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ [9].

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

$$t_{доп} = 0,4 + 0,4 + 0,08 = 0,88 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{оп} = 63,7 + 0,88 = 64,58 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{дод} = 64,58 \cdot 0,1 = 6,46 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{шт} = 64,58 + 6,46 = 71,04 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за

формулою (1.49):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{пз1} = 12$ хв [9];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, $t_{пз2} = 13$ хв [9];

$t_{пз3}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{пз3} = 2$ хв [9].

$$t_{пз} = 12 + 13 + 2 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{шт-к} = 71,04 + \frac{27}{30} = 71,94 \text{ хв}$$

1.7.4 Технічне нормування свердлильної операції 035

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.44, 1.45):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{вст} = 0,8$ хв [9];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь, $t_{мд} = 0,4$ хв [9];

$t_{вим}$ – час на вимірювання, $t_{вим} = 0,48$ хв [9];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ [9].

$$t_{контр} = 0,48 \cdot 0,5 = 0,24 \text{ хв}$$

$$t_{доп} = 0,8 + 0,4 + 0,24 = 1,44 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.46):

$$t_{оп} = 2,2 + 1,44 = 3,64 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.47):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби, $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 3,64 \cdot 0,1 = 0,36 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт}} = 3,64 + 0,36 = 4 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.49):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни, $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, $t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}} = 2 \text{ хв}$ [9].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 2 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.50):

$$t_{\text{шт-к}} = 4 + \frac{27}{30} = 4,9 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – 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
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна з ЧПК	12,5	1,13	1,36	14,99	30	15,99
020 Токарна з ЧПК	15,6	1,13	1,67	18,40	30	19,40
025 Токарна з ЧПК	7,1	1,13	0,82	9,05	30	10,05
030 Протяжна	2,3	1,2	0,35	3,85	22	4,58
035 Свердлильна з ЧПК	2,2	1,44	0,36	4,00	27	4,90
040 Зубофрезерна з ЧПК	63,7	0,88	6,46	71,04	27	71,94
065 Внутрішньошліфувальна	7,8	0,8	0,86	9,46	25	10,29
070 Плоскошліфувальна	12,3	0,8	1,31	14,41	25	15,24

Продовження таблиці 1.6

1	2	3	4	5	6	7
075 Круглошліфувальна	9,4	0,8	1	11,2	25	12,03
080 Круглошліфувальна	3,2	0,8	0,40	4,40	25	5,23
085 Внутрішньошліфувальна	5,3	0,8	0,61	6,71	25	7,54
090 Зубошліфувальна	45	1,1	4,61	50,71	27	51,61

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

1.8. Операцію 025 – токарну з ЧПК

Для токарної обробки створимо керуючу програму (КП) в програмному забезпеченні NX CAM. Спочатку створимо 3D моделі деталі та заготовки (рис. 1.10).

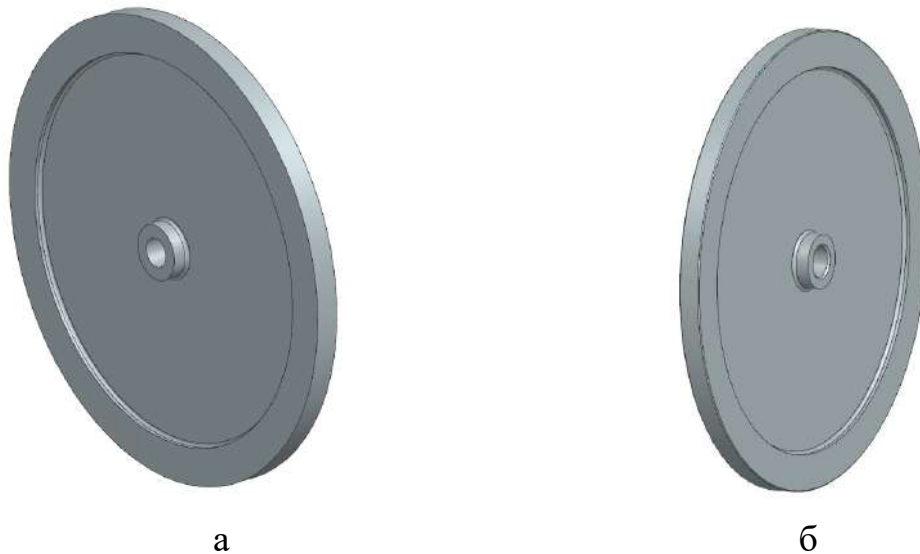


Рисунок 1.10 – 3D зображення деталі після обробки (а) та до обробки (б)

Наступним кроком створення керуючої програми було накладання зображення заготовки на зображення деталі (рис. 1.11, а), причому було витримано симетричне розподілення припусків. Визначаємо в системі NX CAM деталь та заготовку (рис. 1.11, б).

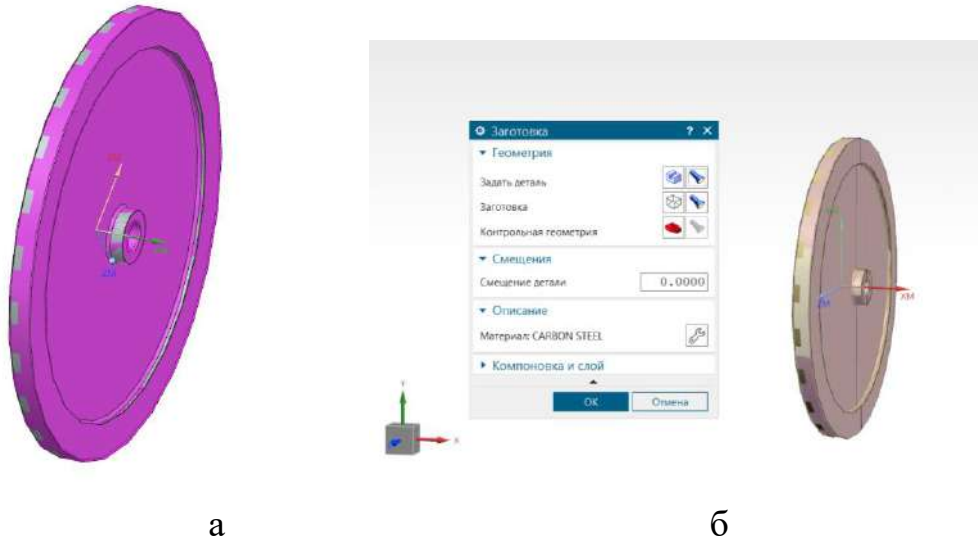


Рисунок 1.11 – Поєднання (а) зображення та визначення (б) деталі з заготовкою в системі NX CAM

Далі в системі NX CAM був визначений весь необхідний ріжучий інструмент (рис. 1.12) та методи обробки, в яких визначено припуски на наступну обробку та точність рухів (допуск) інструменту.

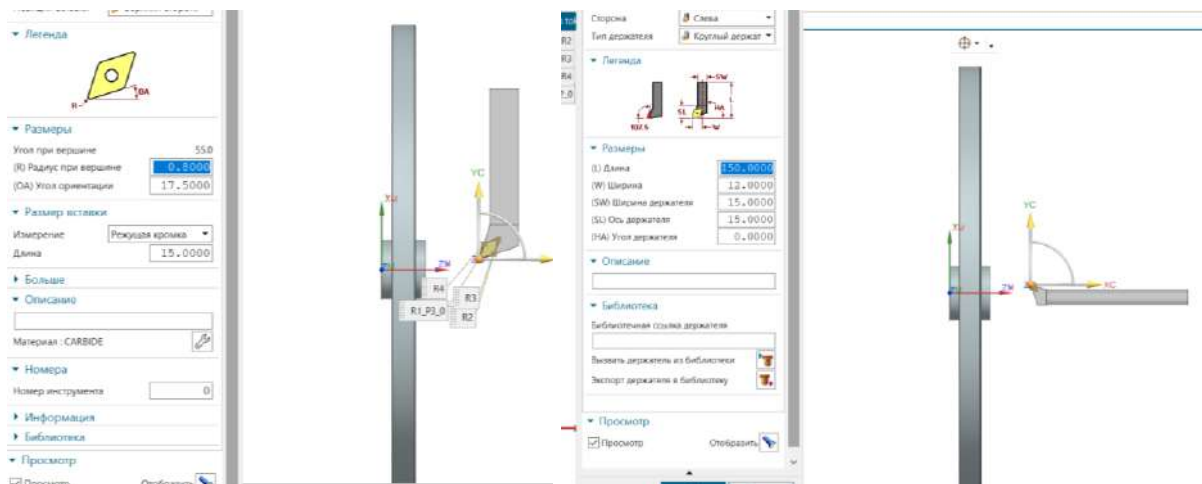


Рисунок 1.12 – Створення інструменту для операції 025 в системі NX CAM

Далі визначаємо положення системи координат в залежності від базування та закріплення деталі (рис. 1.13).

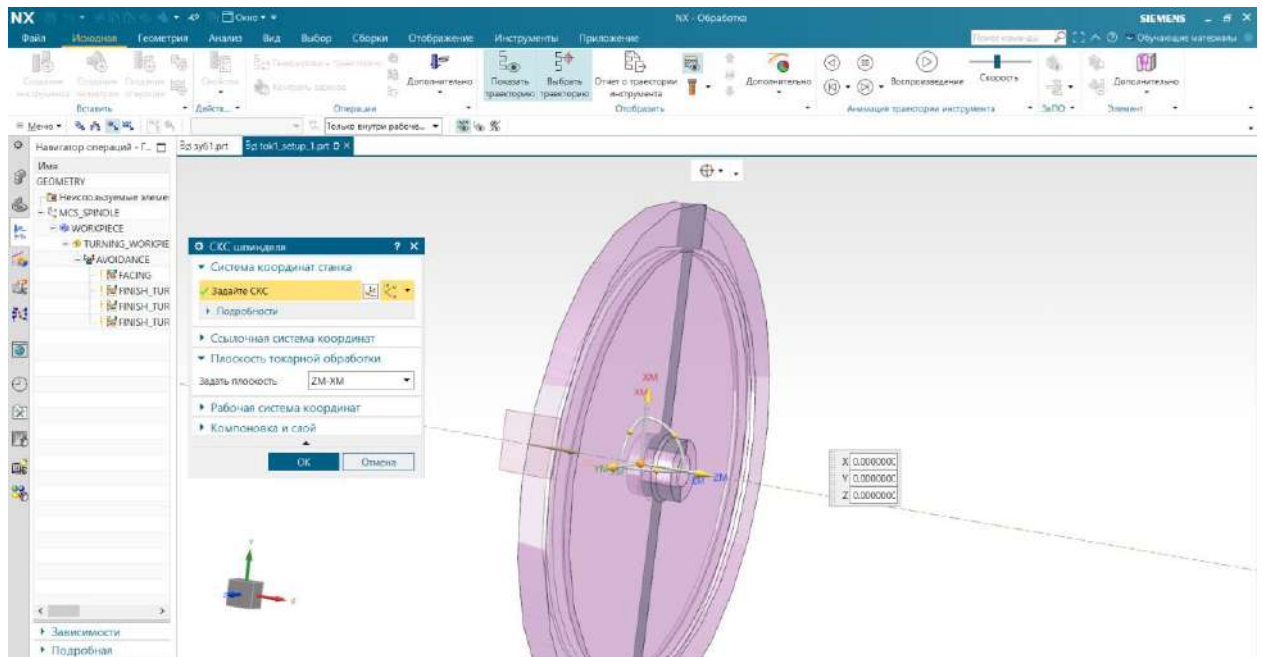


Рисунок 1.13 – Визначення початку системи координат

Генеруємо токарний переріз (рис. 1.14) для визначення траєкторій обробки.

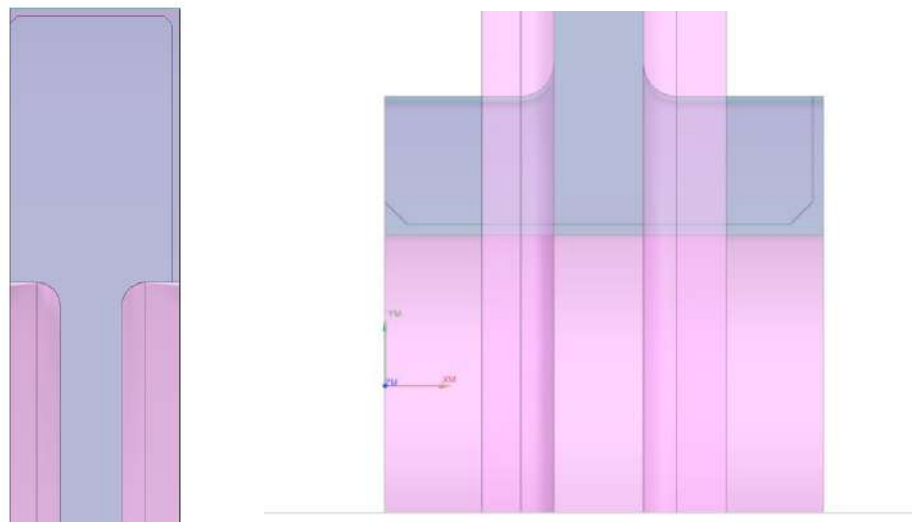


Рисунок 1.14 – Генерування токарного перерізу

Визначаємо положення початкової точки та тип переміщення в точку початку врізання (рис. 1.15).

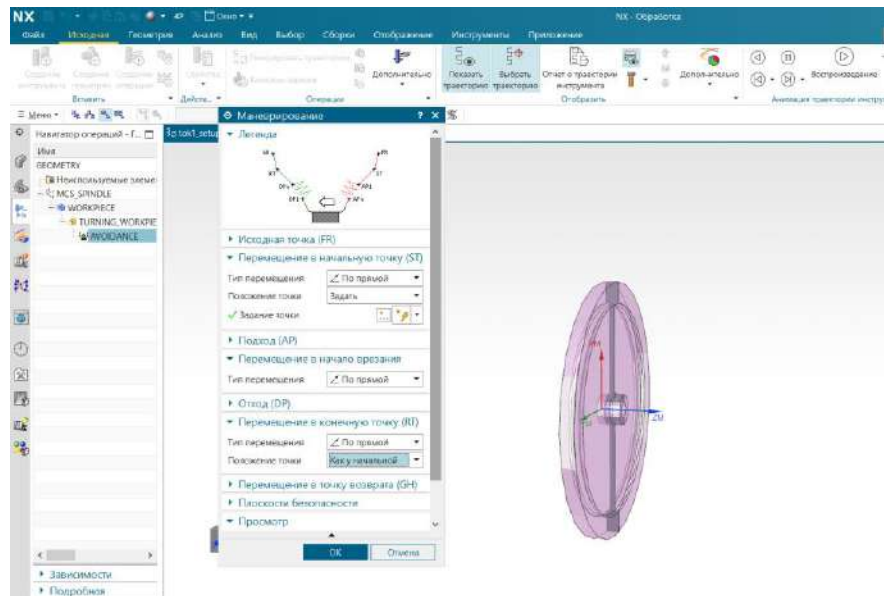
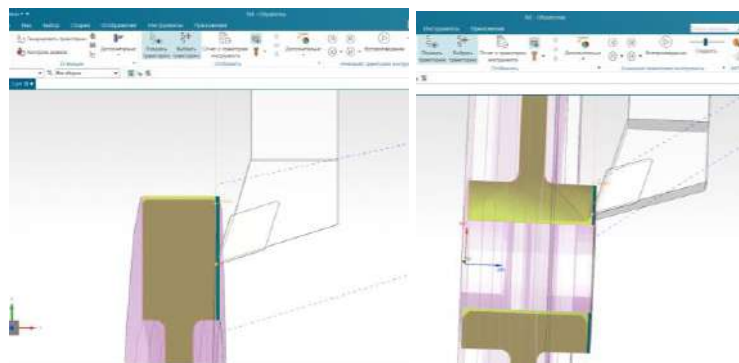


Рисунок 1.15 – Визначення маневрування (AVOIDANCE) інструменту

Створюємо перехід – «Підрізка торців». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.16, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.16, б).



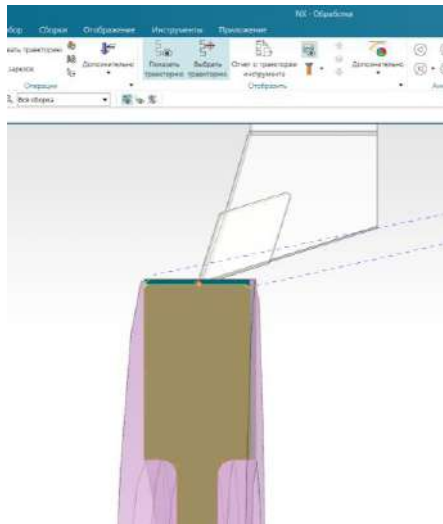
а



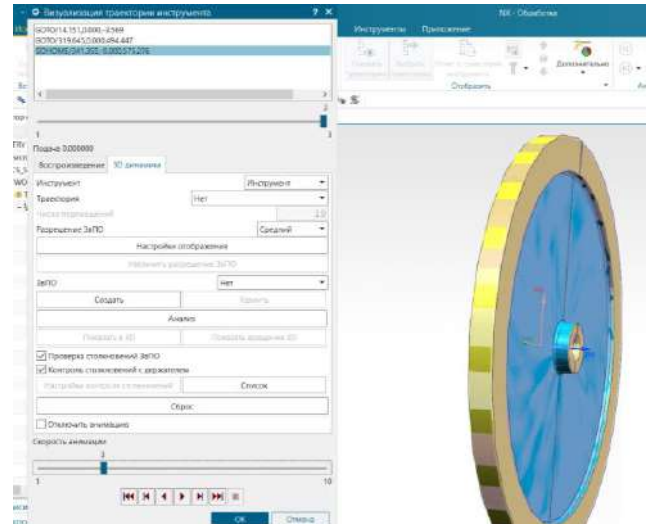
б

Рисунок 1.16 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Створюємо наступний перехід – «Чистове точіння зовнішньої циліндричної поверхні». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.17, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.17, б).



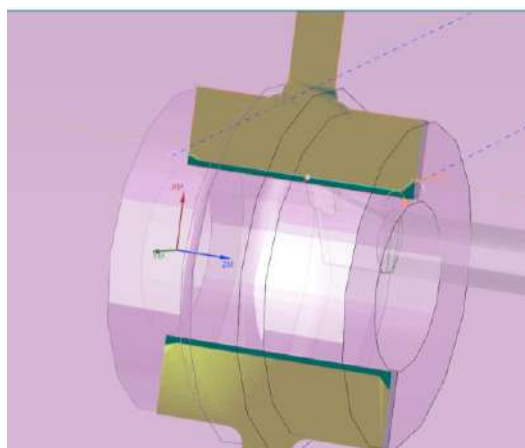
а



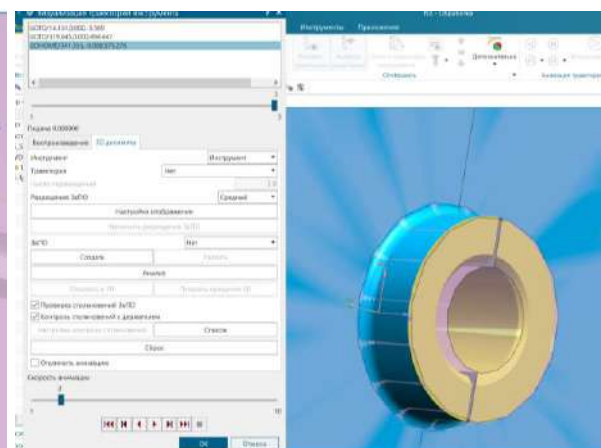
б

Рисунок 1.17 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Створюємо наступний перехід – «Розточування отвору». Генеруємо траєкторію цього переходу (рис. 1.18, а) та робимо візуалізацію обробки (рис. 1.18, б).



а



б

Рисунок 1.18 – Траєкторія обробки (а) та візуалізація обробки (б)

Після створення всіх операцій обробки перевіряємо якість обробки в цілому (рис. 1.19).

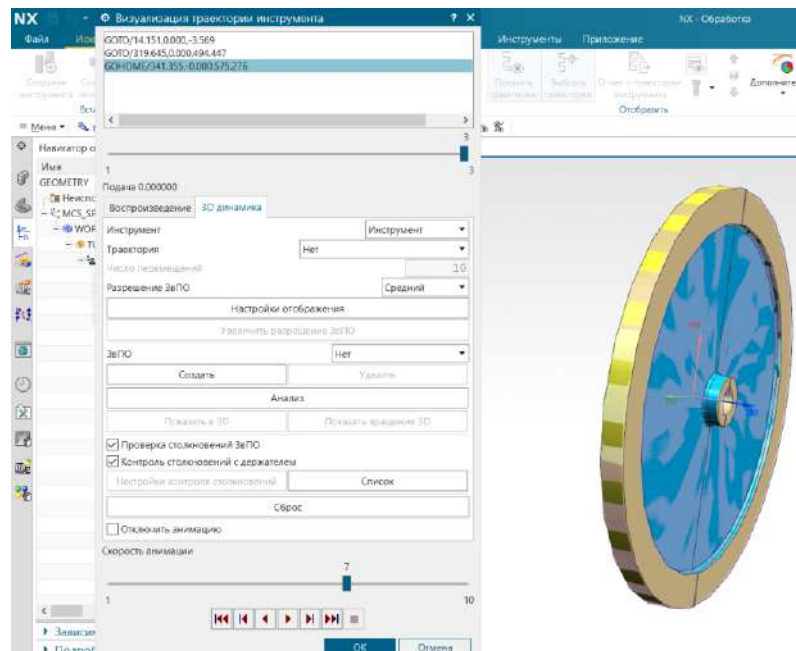


Рисунок 1.19 – Візуалізація обробки деталі на операції 025

Генеруємо керуючу програму в G-кодах згідно обраного постпроцесору (рис.1.20).

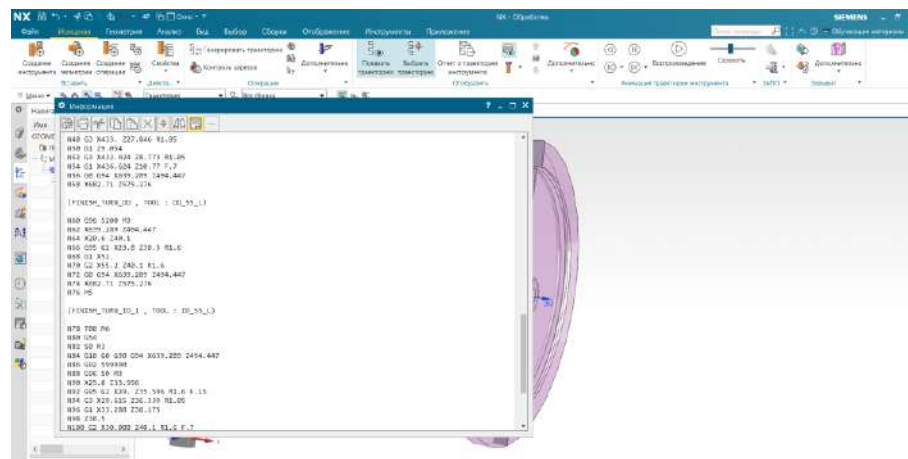


Рисунок 1.20 – Генерація керуючої програми

Послідовність розробки КП токарної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 721004.001.

1.8.2 Операція 040 – зубофрезерна з ЧПК

Для зубофрезерної операції №040 КП розробимо за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки показано на рис. 1.21, 1.22.

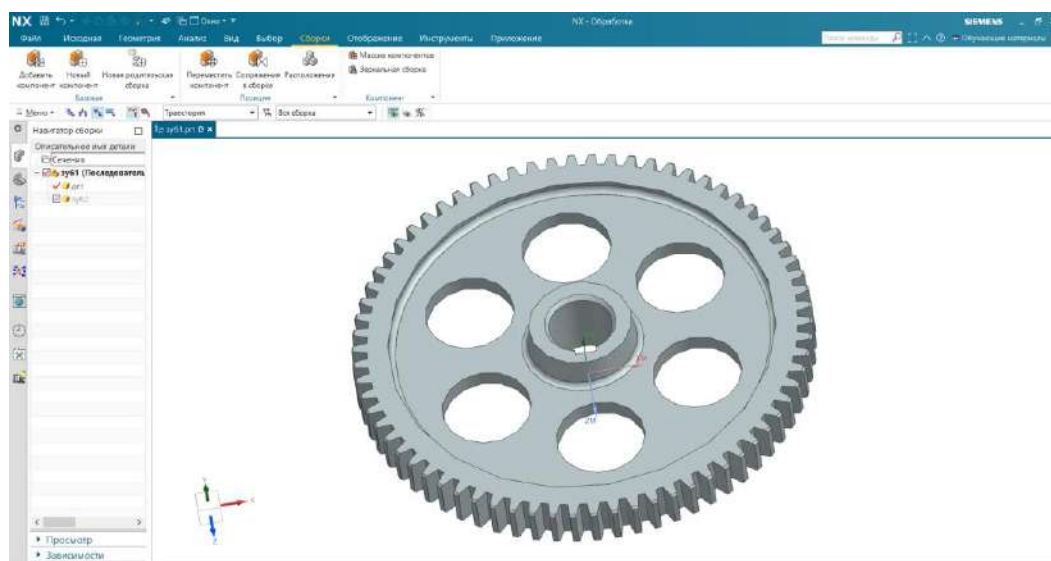


Рисунок 1.21 – 3D модель деталі

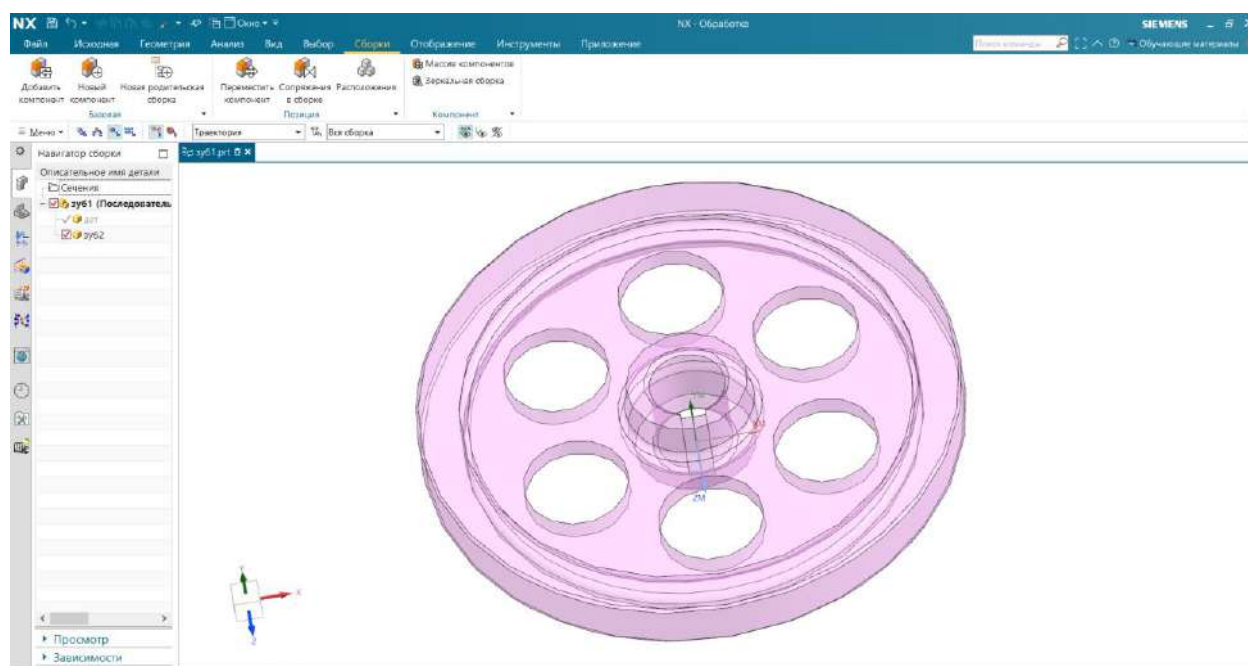


Рисунок 1.22 – 3D модель заготовки

Створюємо робочу та контрольну геометрії (рис. 1.23).

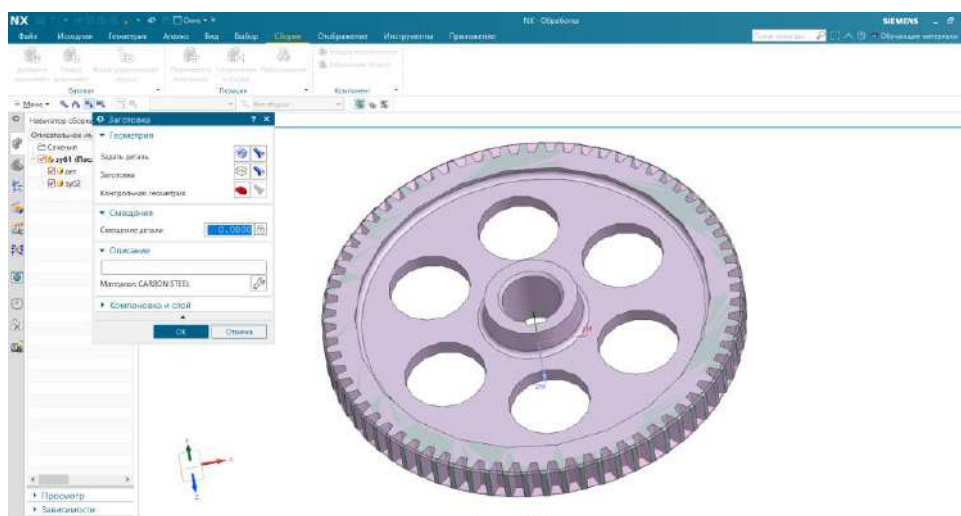


Рисунок 1.23 – Визначення робочої геометрії

Далі в системі NX CAM був визначений весь необхідний ріжучий інструмент та методи обробки, в яких визначено припуски на наступну обробку та точність рухів (допуск) інструменту.

Розроблюємо перехід – фрезерування зубців (рис. 1.24). Візуалізація обробки показано на рис. 1.25.

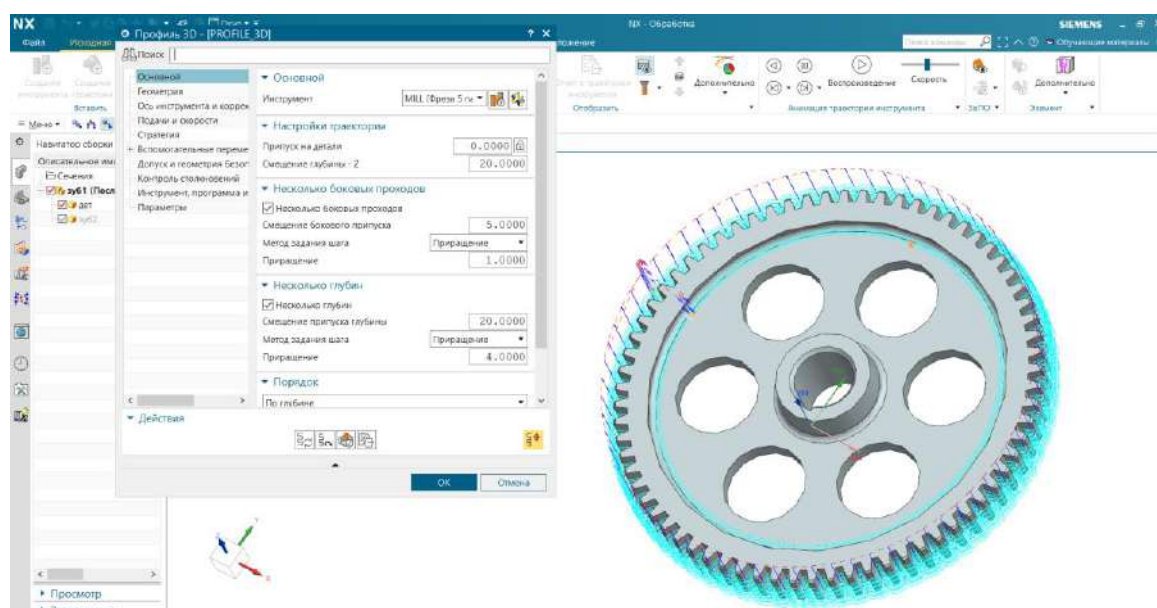


Рисунок 1.24 – Траектория обработки

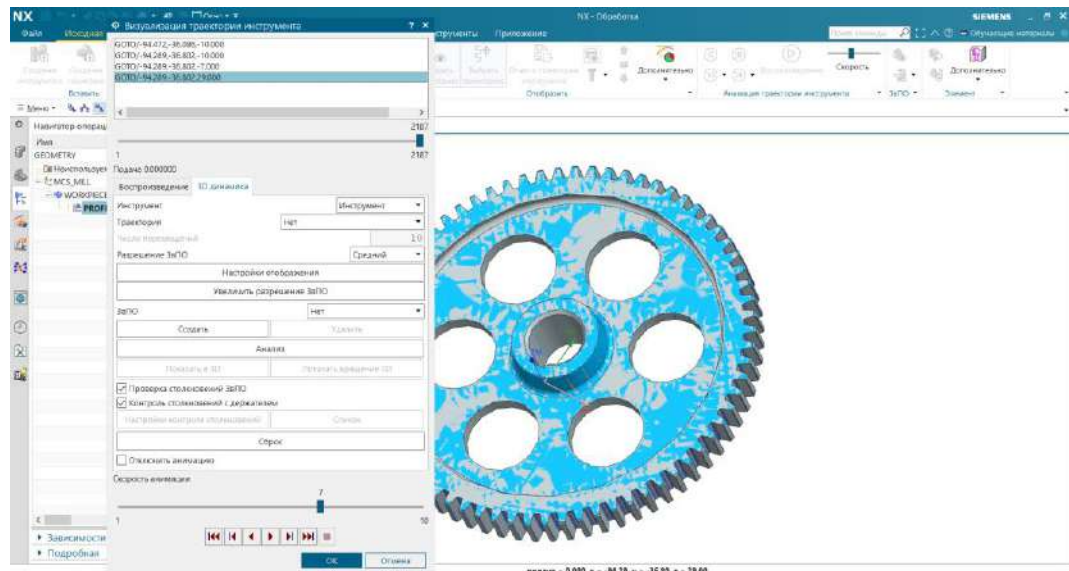


Рисунок 1.25 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП зубофрезерної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 721004.001.

1.8.3 Операція 035 – свердлильна з ЧПК

Для свердлильної операції №035 КП розробимо за допомогою програми Siemens.NX. 3D модель деталі та заготовки приведено на рис. 1.26

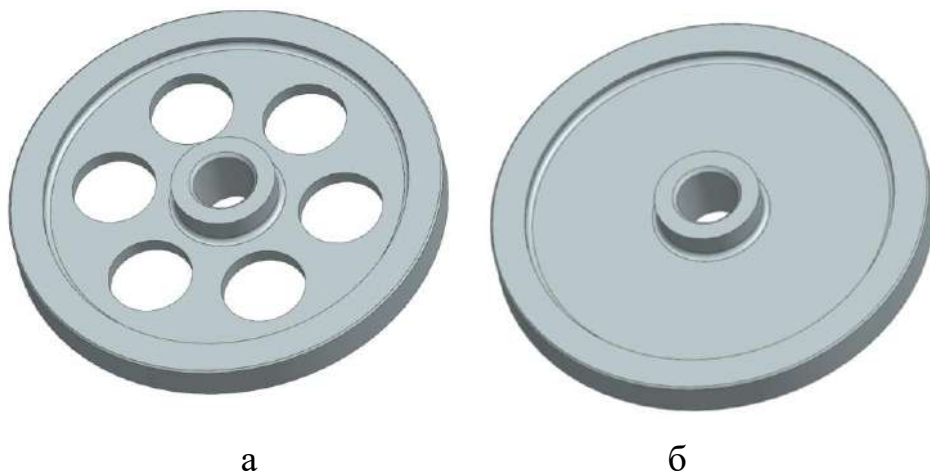


Рисунок 1.26 – 3D моделі деталі (а) та заготовки (б)

Визначаємо робочу геометрію, контрольну геометрію (рис. 1.27).

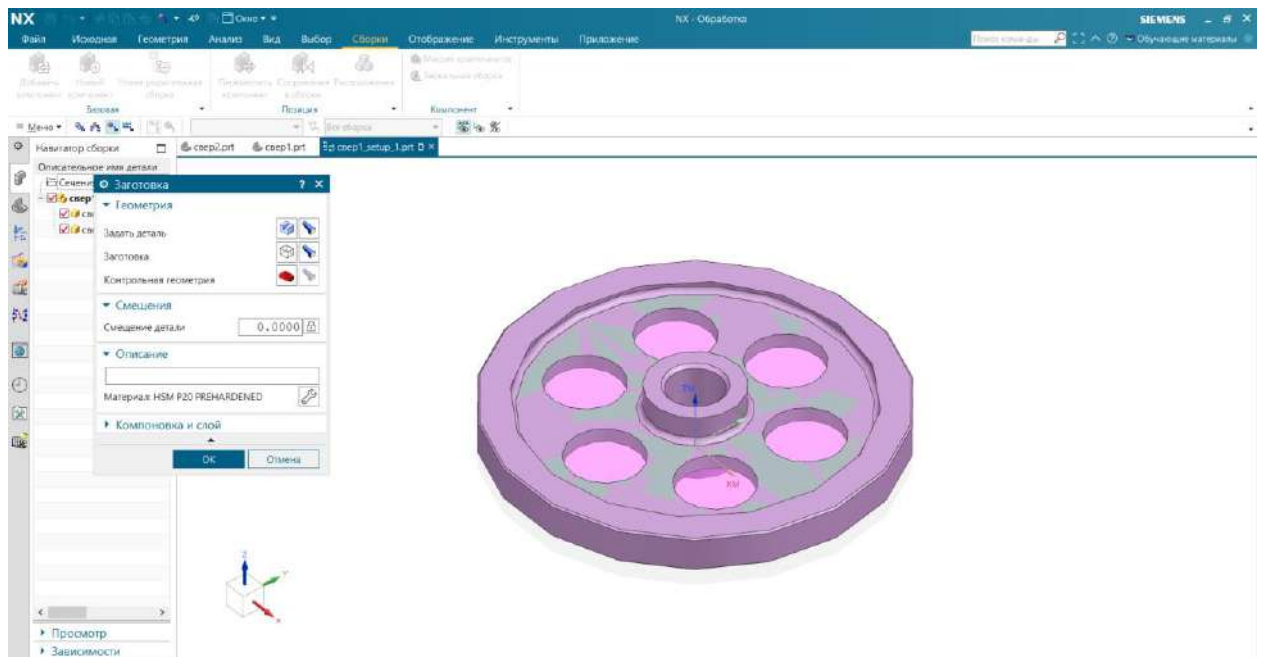


Рисунок 1.27 – Визначення робочої геометрії

Далі в системі NX CAM був визначений весь необхідний ріжучий інструмент (рис. 1.28) та методи обробки, в яких визначено припуски на насткпну обробку та точність рухів (допуск) інструменту при генеруванні керуючої програми.

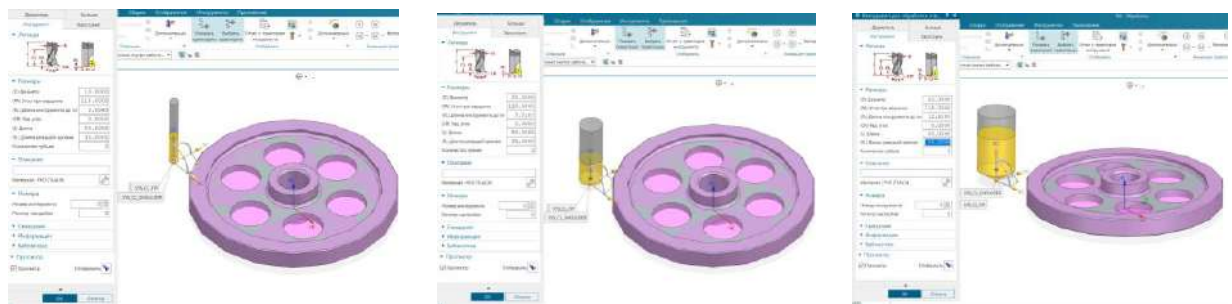


Рисунок 1.28 – Визначення ріжучого інструменту

Створюємо перший перехід – свердління шести отворів. Трасекторія приведена на рис. 1.29, візуалізація на рис. 1.30.

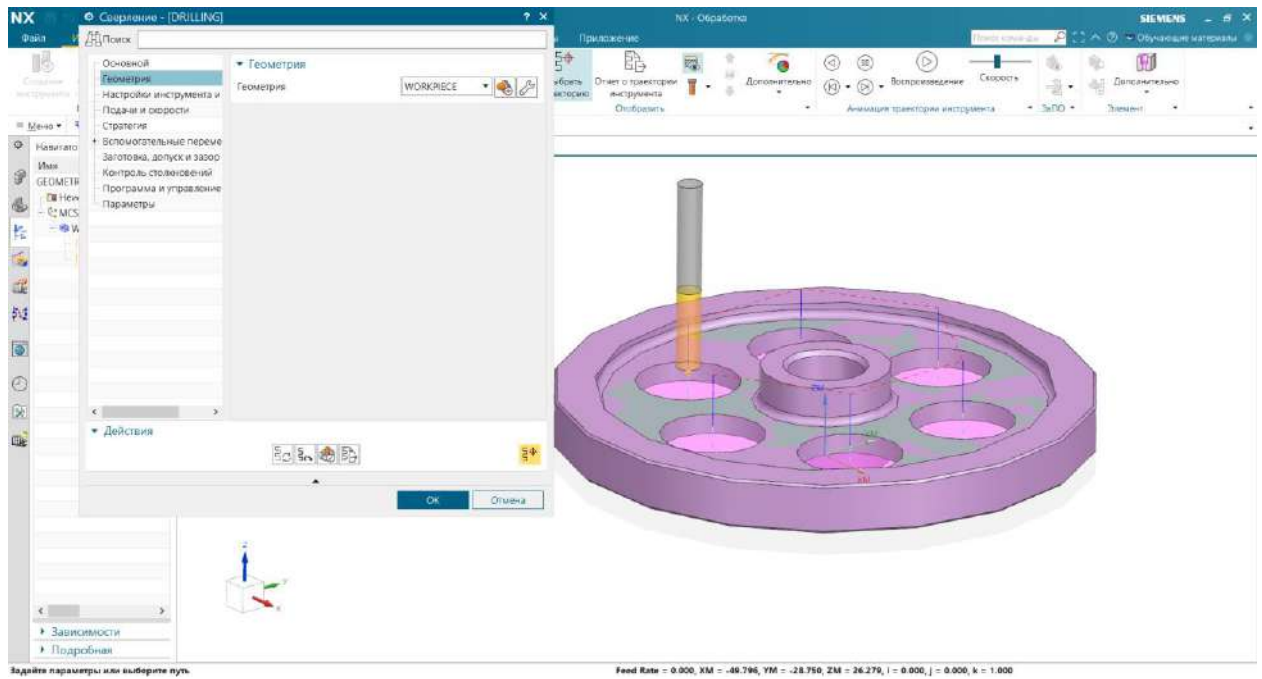


Рисунок 1.29 – Траектория обработки

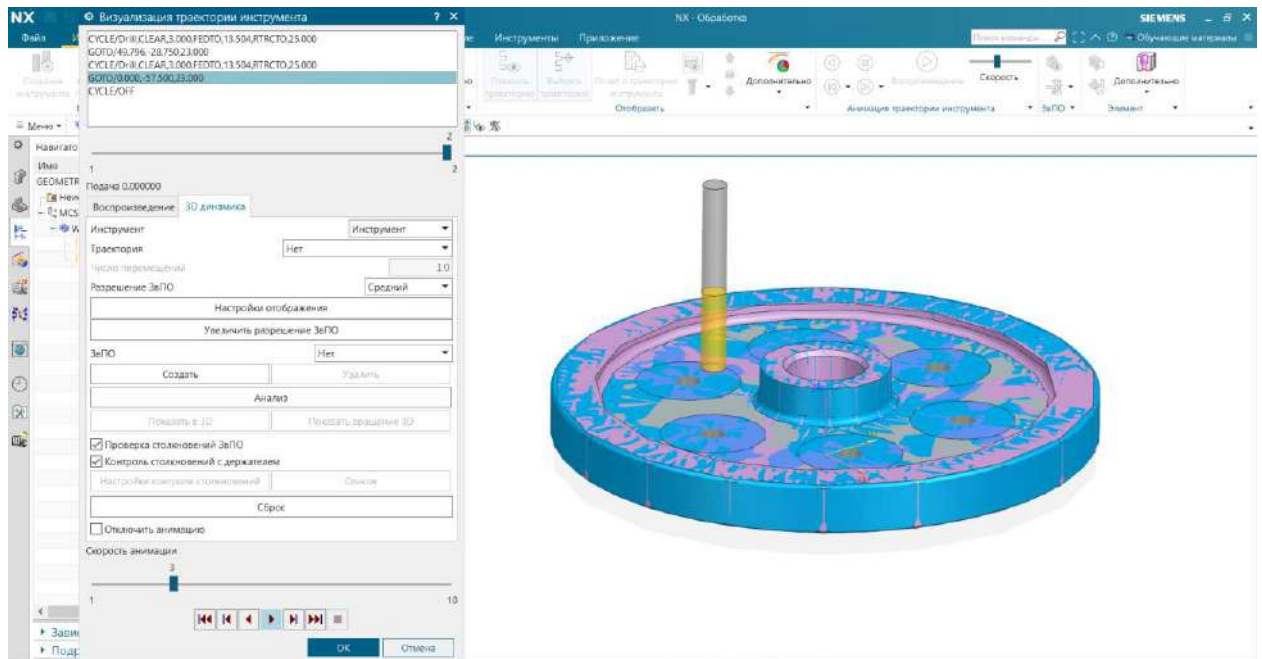


Рисунок 1.30 – Візуалізація обробки

Створюємо наступний перехід – розсвердлення шести отворів. Траектория приведена на рис. 1.31, візуалізація на рис. 1.32.

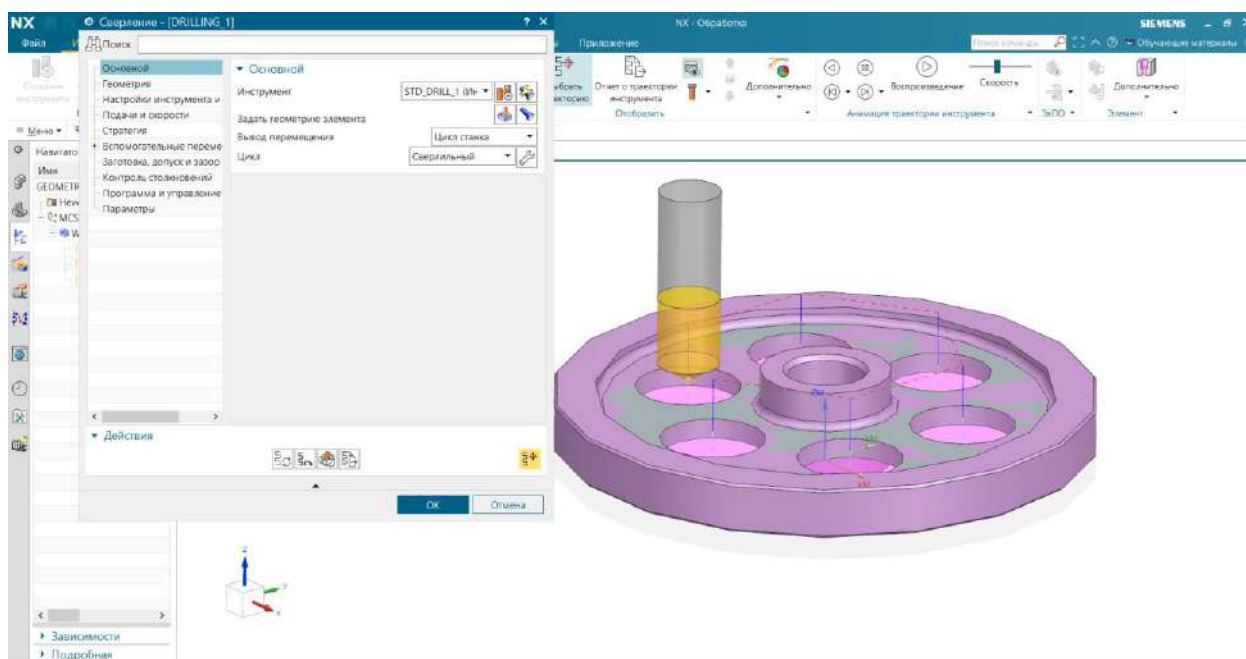


Рисунок 1.31 – Траектория обработки

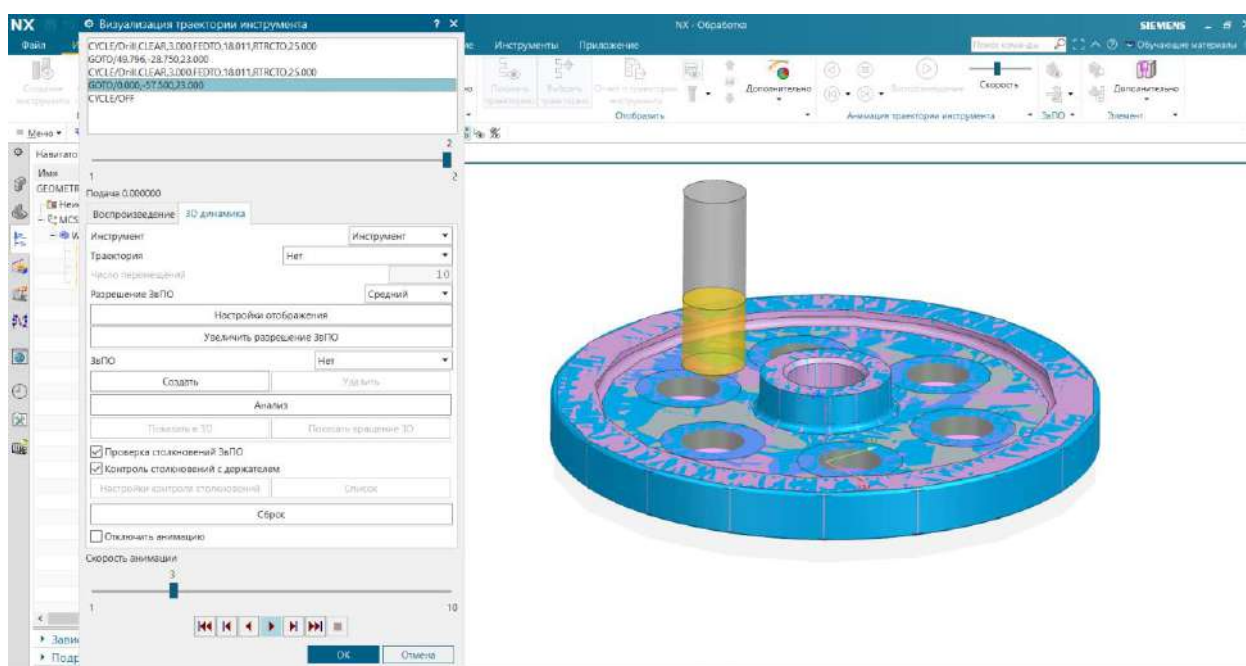


Рисунок 1.32 – Візуалізація обробки

Створюємо наступний перехід – фінальне розсвердлення шести отворів. Траекторія приведена на рис. 1.33, візуалізація на рис. 1.34.

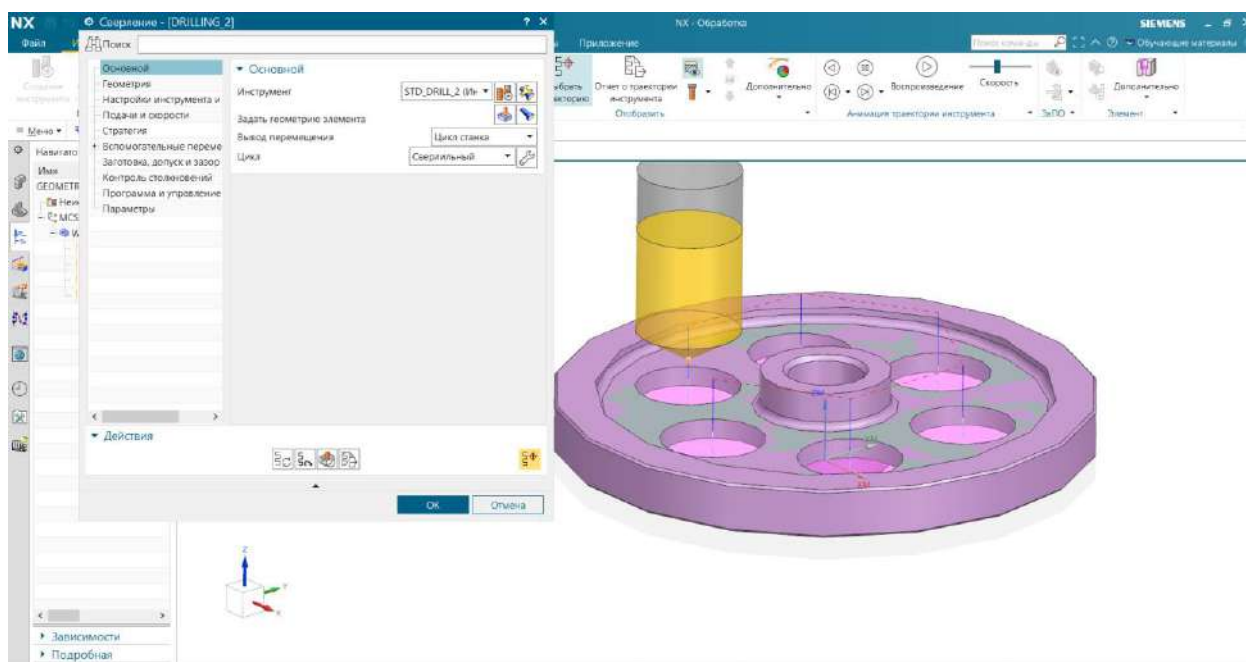


Рисунок 1.33 – Траектория обработки

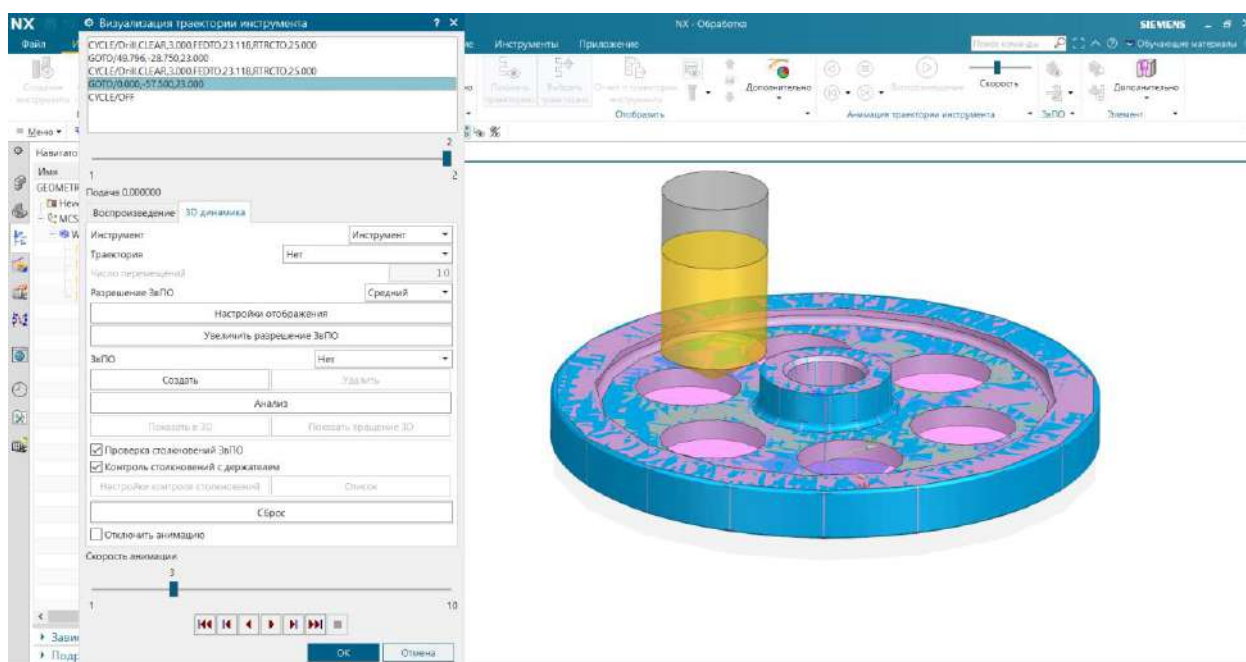


Рисунок 1.34 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП свердлильної операції в модулі Siemens. NX наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 721004.001.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Дане пристосування (рис. 2.1) призначене для фрезерування зубців у деталях типу «коліс зубчастих». Заготовка, що обробляється, встановлюється на палець 2. Пневмоциліндр, встановлений у корпусі, при зворотно-поступальному пересуванні за допомогою штока 3 тисне на розрізну шайбу 13, яка, у свою чергу, притискає деталь. Після закінчення обробки шток 3 пневмоциліндра переміщається вгору і відпускає шайбу 13 та звільняє оброблену деталь.

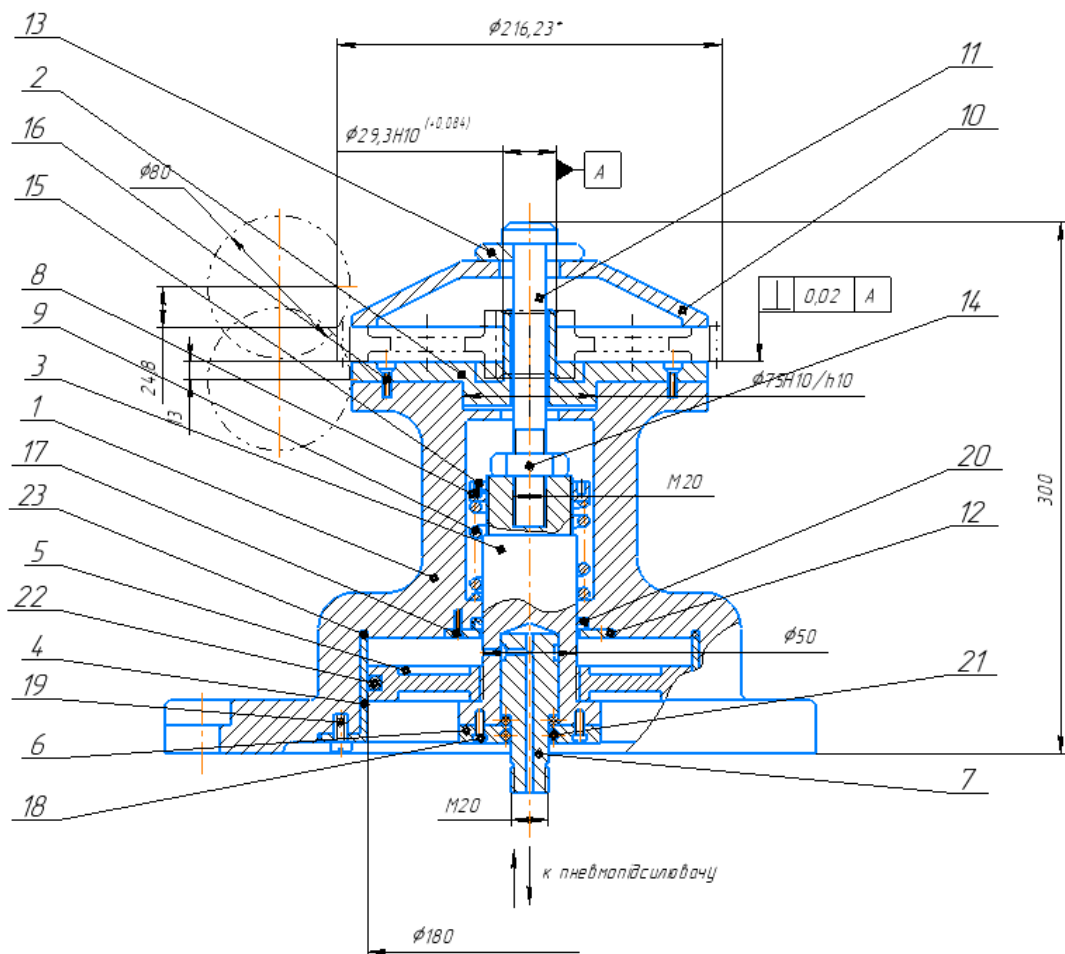


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

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

Похибка встановлення розраховується за формулою [10]:

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

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

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

Деталь встановлюємо по отвору $\varnothing 29,3$.

Похибка базування (рис. 2.2) розраховується згідно формули [10]:

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

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

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

$$S_{\text{max}} = 29,384 - 29,267 = 0,117 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,117/2 = 0,0585 \text{ мм}$$

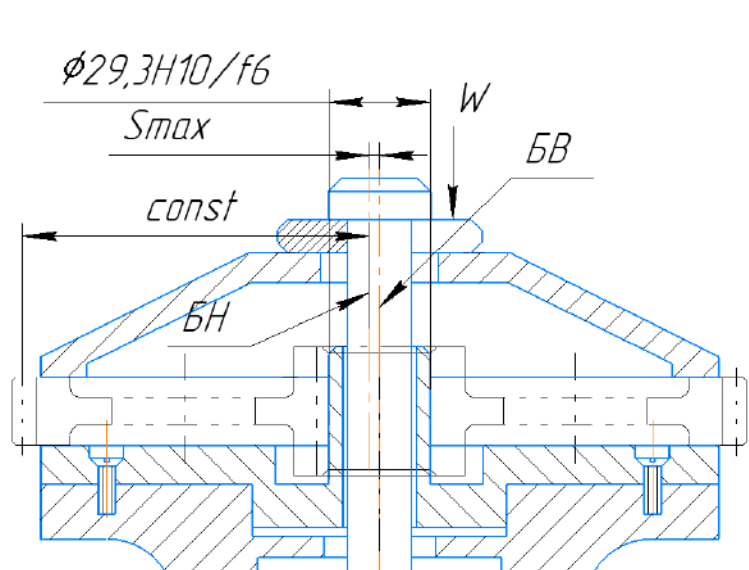


Рисунок 2.2 – Схема встановлення по отвору

Похибка закріплення дорівнює нулю, так як напрям сили затиску перпендикулярний розміру на обробку.

Похибка встановлення:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,585^2 + 0^2} = 0,585 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність пристосування полягає у перевірці виконавчого розміру та допуску пальцю на який встановлюється деталь (рис. 2.1). Необхідно прийняти посадку пальцю пристосування таким чином, щоб максимальне биття на пристосуванні деталі було меншим за допустиме биття нарізаного колеса. Допустиме биття колеса дорівнює згідно технологічного процесу 0,15 мм.

Биття при нарізанні зубчатого колеса, що забезпечує пристосування дорівнює максимальному зазору при встановленні на палець.

Приймаємо посадочну поверхню пальцю точніше за отвір – Ø29,3f6. Тоді згідно формули (2.3) максимальний зазор дорівнює $S_{\text{max}} = 0,117 \text{ мм}$.

Таким чином, отримане биття при нарізуванні зубчастого колеса 0,117мм відповідає допустимим технічним умовам.

2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу

Затискні пристрої служать для утримання заготовлі під час її обробки. Ефективність затиску багато в чому залежить від напрямку та місця застосування сили. Згідно схеми закріплення (рис. 2.3) сила затиску визначається за формулою:

$$W = \frac{3Mp}{f \left[\left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right) + \left(\frac{D_1^3 - D_1^3}{D_1^2 - D_1^2} \right) \right]} \quad (2.4)$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя;

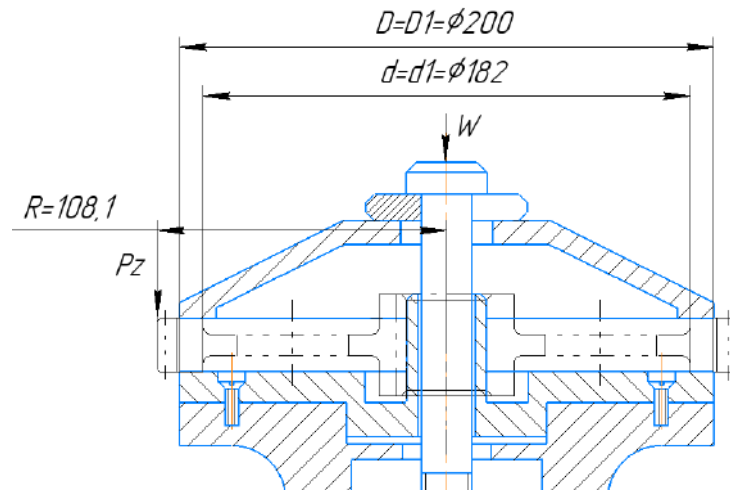


Рисунок 2.3 – Схема по визначенню сили закріплення.

Дійсна сила закріплення:

$$W_d = kW = \frac{3kMp}{f \left[\left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right) + \left(\frac{D_1^3 - d_1^3}{D_1^2 - d_1^2} \right) \right]}; \quad (2.5)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення.

Визначимо осьову силу різання:

$$P_z = \frac{10C_p t^x S_z^y}{D^q n^w} K_{mp}; \quad (2.6)$$

де K_{mp} , x , y , q , w , n , C_p – коефіцієнти [8]

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

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

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 6,6^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 12}{80^{0,86} \cdot 80^0} \cdot 0,95 = 103,8H$$

$$M_p = P_z \cdot R \quad (2.8)$$

$$M_p = P_z \cdot R = 103,8 \cdot 0,1081 = 11,22Hm$$

Коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.9)$$

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

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

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту $k_2=1,7$;

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

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

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

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту $k_6=1$.

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

Сила закріплення згідно формули (2.29):

$$W_0 = \frac{3 \cdot 11,22 \cdot 3,06}{0,15 \left[\left(\frac{0,2^3 - 0,182^3}{0,2^2 - 0,182^2} \right) + \left(\frac{0,2^3 - 0,182^3}{0,2^2 - 0,182^2} \right) \right]} = 2202H$$

Мінімальний діаметр штоку:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.10)$$

де α – коефіцієнт затягування $\alpha=2,25$;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 45 $[\sigma]=210$ МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 2202}{3,14 \cdot 210}} = 24 \rightarrow 50 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.11)$$

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

p – тиск в пневмосистемі, $p = 0,5 \dots 0,7$ МПа;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2202}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,85} + 50^2} = 155 \rightarrow 180 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольне пристосування призначено для контролю радіального биття 0,025 мм та торцьового биття 0,042 мм діаметру 216 мм. Контрольне пристосування (рис. 2.4) складається зі корпусу 5, на якому встановлюється два центри 1, 2. Також на корпусі 5 встановлено штангу 3, на якій розміщено індикаторний годинник. Штага 3 з індикаторним годинником має можливість переміщення у вертикальній площині та обертатися. Деталь при контролі встановлюється на оправку та базується на центри 1, 2 по центровим отворам. Центри 1, 2 мають можливість горизонтального переміщення та перезакріплення. При обертання деталі по індикаторному годиннику знімають значення радіального биття.

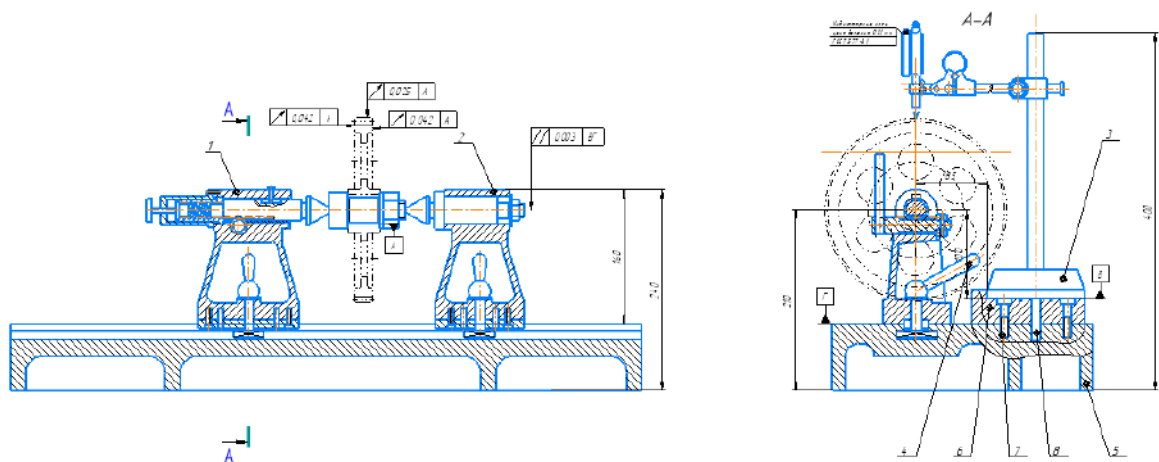


Рисунок 2.4 – Контрольне пристосування

2.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою [10]:

$$\varepsilon_{uzm} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{up} + \varepsilon_{um} + \sqrt{\varepsilon_{nb}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{uc}^2 + \varepsilon_{3p}^2 + \varepsilon_{cu}^2 + \varepsilon_{dp}^2} \quad (2.12)$$

де $\varepsilon_{im}=0$ – похибка, спричинена неточністю еталона. У цьому пристрої еталон не використовується.

$\varepsilon_{nb}=0$ – похибка базування, тому що настроювальна та вимірювальні бази збігаються;

$\varepsilon_{ic}=0$ – похибка закріплення, оскільки схема виміру в пристосуванні не затискається;

$\varepsilon_{iy}=0,0015\text{мм}$ – частка похибки конструкції пристосування;

$\varepsilon_{3p}=0,006\text{мм}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності;

$\varepsilon_{ci}=0,001\text{мм}$ – похибка засобу вимірювання;

$\varepsilon_{dp}=0,0015\text{мм}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів.

$$\varepsilon_{ип}=\Delta_{рд}+\Delta_{ру}+\Delta_{рн}+\Delta_{рк}+\Delta_{ра} \quad (2.13)$$

$\Delta_{рд}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів;

$\Delta_{ру}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів;

$\Delta_{рн}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів;

$\Delta_{рк}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів;

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі.

$$\varepsilon_{ип}=0+0+0+0+0,0002=0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{uzm} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,008\text{мм}$$

$$\varepsilon_{uzm} = 0,008\text{мм} \leq [\varepsilon_{uzm}] = 0,025\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристрій можна використовувати для даної контрольної операції.

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Автоматизація зняття задирок на зубцях зубчастих колес

Використання шліфувальних кругів для ручного зняття задирок з зубчастих колес було ненадійним процесом. Вирішенням цього питання зайнявся фінський виробник зубчастих коліс та коробок передач Katsa Oy [12]. Компанія вирішила доручити іншій фінській компанії, Flexmill Oy, спроектувати та побудувати роботизовану установку для чистової обробки та видалення задирок із зубчастих коліс діаметром від 2 дюймів до 5 футів. Katsa Oy замовила комірку у Flexmill Oy, коли видалення задирок вручну стало дорогим вузьким місцем. Ця компанія Flexmill використала датчик RMP60 від Renishaw для досягнення необхідної точності обробки (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Роботизований комплекс перевіряє розміри готової шестерні після видалення задирок [12]

Коли Katsa Oy все ще вручну видаляв задирки з шестерень, механіки повинні були бути дуже досвідченими, щоб досягти високоякісної та стабільної обробки. Але тоді варіації від одного оператора до іншого були неминучі. Крім того, ручне зняття задирок може бути брудною і небезпечною

роботою, за яку небагато операторів Katsa хотіли б братися [12]. Як наслідок, операції чистової обробки та видалення задирок стали вузьким місцем у виробничому процесі компанії, що призвело до значних затримок.

За словами Самі Ніемелайнена, менеджера з якості та розвитку компанії Katsa, «причина, через яку ми інвестували в роботизований осередок, полягала не в тому, щоб прискорити роботу; це було для кращої якості та узгодженості. Крім того, завдання видалення задирок тепер стало чистішим і безпечнішим для операторів наших механічних цехів, і це дуже важливо», – каже він [12].

Щоб автоматизувати процес зняття задирок з зубчастих коліс, компанія Flexmill побудувала комплекс із системою з двома палетами, яка дозволяє обробляти одне зубчасте колесо, поки завантажуються інше. Комплекс також включає датчики Renishaw RMP60, встановлені на спеціально розроблених інструментах, які робот ABB використовує для збору даних про місцезнаходження деталі перед початком чистової обробки і видалення задирок (рис. 3.2) [12].



Рисунок 3.2 – Комплекс для зняття задирок з шестерень [12]

Щоб забезпечити автоматичне видалення всього зайвого матеріалу з оброблених шестерень у процесі видалення задирок, програмному забезпеченню Flexmill потрібні точні геометричні параметри шестерень і зубців шестерень. Деякі з цих параметрів відомі та доступні для кожного з безлічі різних зубчастих коліс, що виробляються Katsa [12]. Але невідомі параметри можна виміряти за допомогою датчика Renishaw RMP60 із передачею радіосигналу. Робот АВВ використовує датчик для виявлення деталей під час налаштування, а отримані дані про положення використовуються програмним забезпеченням для створення повного автоматизованого циклу видалення задирок. Ручне програмування не потрібне. Після механічної обробки датчик RMP60 використовується у постобробці для підтвердження остаточних розмірів.

Відповідно до Flexmill, датчик RMP60 ідеально підходить для цієї програми завдяки надійному протоколу розширення спектру зі стрибкоподібною перебудовою частоти. Це означає, що зв'язок між зондом та його приймачем залишається стабільним, навіть якщо, наприклад, втрачається пряма видимість або якщо інше джерело радіосигналу входить у навколишнє середовище. За словами компанії, ця функція забезпечує надійність автоматизованого осередку [12].

За словами пана Ніємелайнена, тепер, коли оператори готові взяти на себе видалення задирок за допомогою автоматизованої системи, затримки усунуті, а час виконання замовлень став більш стабільним і гнучким. Датчик Renishaw RMP60 дозволяє програмному забезпеченню Flexmill створити повну програму видалення задирок для кожного із зубчастих коліс, що виробляються Katsa. Пан Ніємелайнен стверджує, що: «Нам потрібно лише задати деякі параметри для керування, і робот використовуватиме датчик Renishaw для автоматичного створення програми. В результаті якість завжди однакова, щоразу, коли ми видаляємо задирки із зубчастого колеса».

Діаметр шестерень, що підлягають зачистці, природно визначає не тільки розміри комірки, але і технічні характеристики робота. Через значний

потенціал фірми RDC [13] з великими заготовками перші практичні програми були реалізовані в цій галузі. Наприклад, RDC 15 (розрахований на діаметр до 1,5 м) успішно інтегрований у виробництво великого контрактного виробника компонентів вітроенергетики (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Робот Motoman MH50 [13]

Для систем такого розміру Klaaßen Technologie використовує робота-маніпулятора Motoman MH50 із корисним навантаженням 50 кг [13]. Шестиосьові роботи цієї серії поєднують у собі високе корисне навантаження і високу точність роботи при невеликій площі – з повторюваністю $\leq 0,2$ мм і коротким часом циклу. Завдяки нещодавно розробленій системі керування вібрацією, швидкість осі та властива жорсткість його редуктора можуть бути використані для досягнення особливо швидкого прискорення з короткими рухами.

Але RDC також пропонує цікаві перспективи більш дрібних деталей, як показує поточний приклад: з 1967 року FJ Derichs Maschinenbau GmbH & Co. KG в Еркеленці виготовляє зубчасті колеса для всіх галузей промисловості, від вимірювальних шестерень до важких приводів (рис. 3.4) [13]. Традиційна

компанія є першим замовником, який прийняв на озброєння ще одну зменшену версію RDC.

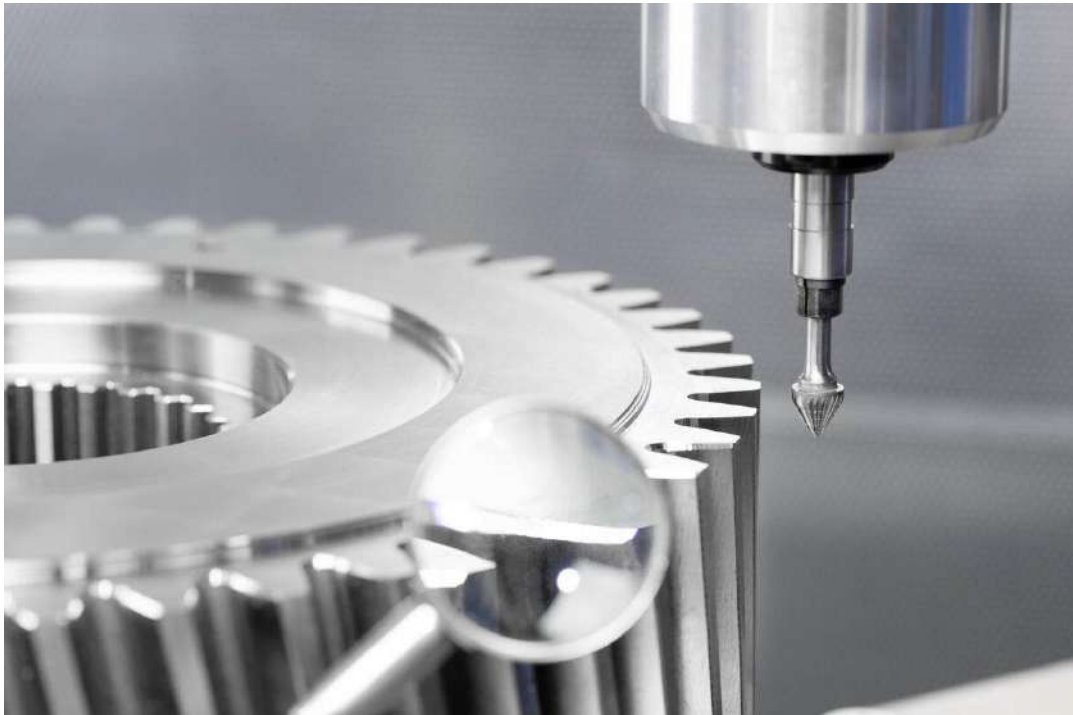


Рисунок 3.4 – Робот Motoman GP8 [13]

Тут компактний Motoman GP8 з вантажопідйомністю 8 кг взяв на себе операції з видалення задирок. "Цей робот, безумовно, найточніший у своєму класі і ідеально підходить для філігранних контурів", – виправдовує це рішення Томас Дамм. Крім того, робот надзвичайно швидкий, а його конструкція відповідає класу захисту IP67. GP8 настільки компактний, що для повного осередку потрібно площа поверхні всього 2х1,4 м. Його тонкий та вигнутий дизайн дозволяє маніпулятору проникати глибоко у робочі зони, а гладкі зовнішні поверхні полегшують очищення. Для з'єднання маніпулятора та контролера потрібно лише кабель робота. Переваги цього рішення полягають у меншому зносі та меншій займаній площі. Витрати технічне обслуговування та зберігання запасних частин також зведено до мінімуму.

4. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Перевірку зубчастого колеса на міцність виконаємо на основі отриманих максимальних навантажень в небезпечному перерізі. Для деталі небезпечними місцями є зуб та шпонковий паз, отвори. Оцінку міцності деталі виконаємо на основі порівняння отриманого коефіцієнту запасу міцності з довідковим.

Коефіцієнт запасу міцності залежить від ступеня відповідальності конструкції та умов її експлуатації. Коефіцієнт запасу міцності по напруженням визначається за наступною формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{max}} = 1,5 \dots 3 \quad (4.1)$$

де $[\sigma]=785$ МПа – допустиме значення границі плинності для сталі 40Х;

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

Тому напруження, яке виникає в деталі повинне відповідати наступній залежності:

$$\sigma_{max} \leq \frac{[\sigma]}{k} \quad (4.2)$$

Вихідні данні для розрахунку:

- 1) обертовий момент – $T=400$ Н·м;
- 2) колова сила в зубчатому зачепленні – $F_t = 2000$ Н
- 3) радіальна сила в зубчатому зачепленні – $F_r = 300$ Н
- 4) осьова сила в зубчатому зачепленні – $F_a = 0$ Н

Під час роботи зубчасте колесо зазнає дії згину та кручення. Розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у модулі NX CAM. Перед початком розрахунку було створено частину 3D-моделі зубчастого колеса (рис. 4.1) для спрощення розрахунку, так як під час роботи зубчастої пари в

контакті постійно знаходиться лише один зуб.

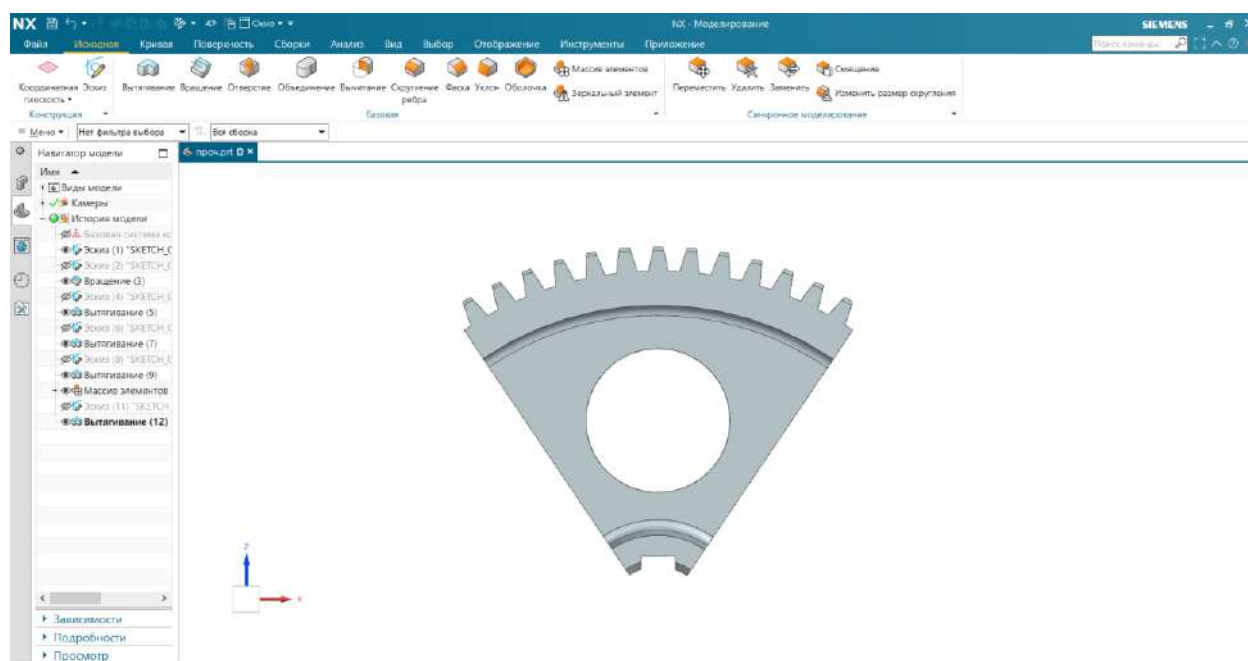


Рисунок 4.1 – 3D-модель частини деталі

Далі 3D-модель було розбито на сітку кінцевих елементів (рис. 4.2).

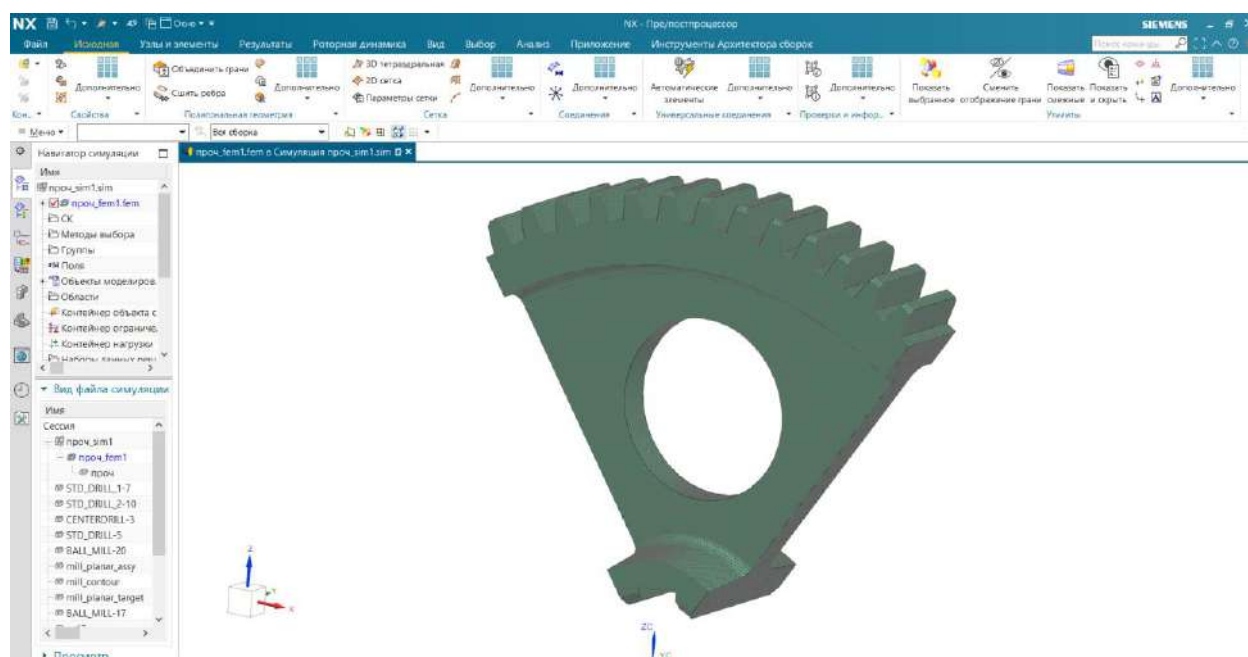


Рисунок 4.2 – 3D-модель, розбита на сітку кінцевих елементів

На наступному етапі на деталі було прикладено обмеження:

закріплення в шпонковому пазі та сили на зубці (рис. 4.3).

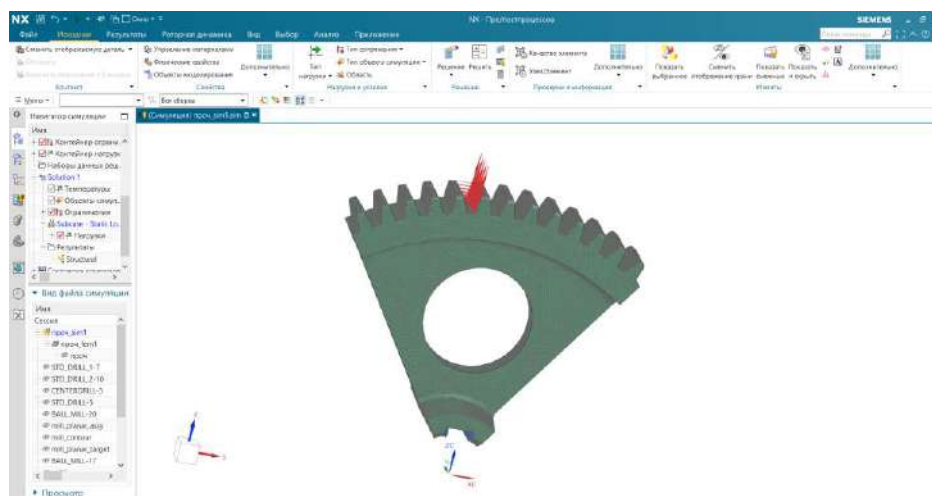


Рисунок 4.3 – 3D-модель з накладеними обмеженнями

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Далі був виконаний розрахунок напружено-деформованого стану зубчастого колеса та отримано графічне зображення розподілу напружень (рис. 4.4).

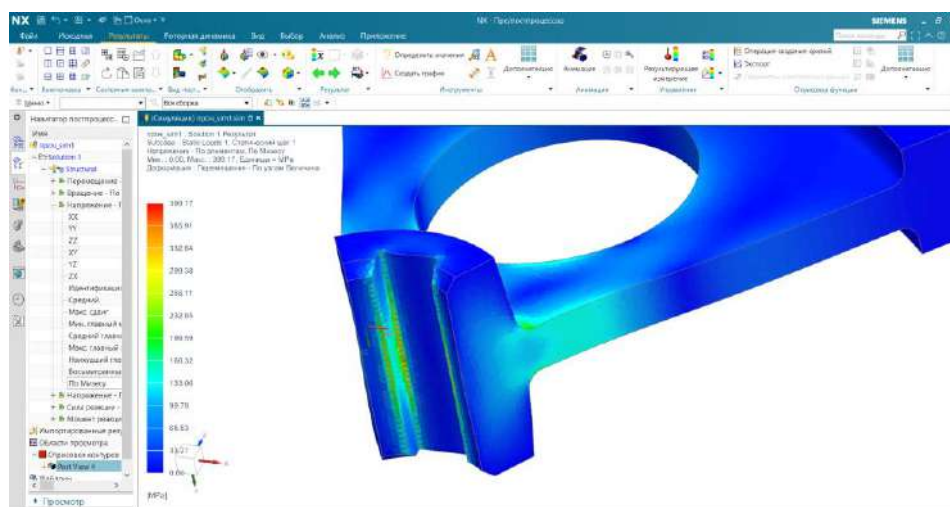


Рисунок 4.4 – Розподіл напружень

Максимальне значення напруження становило 399,17 МПа. Небезпечний переріз знаходився в гострих кутах шпонкового пазу.

4.3 Оптимізація геометрії деталі

Виконаємо для небезпечного перерізу перевірку запасу міцності. Коефіцієнт запасу міцності по напруженням визначається за формулою (4.2):

$$k = \frac{785}{399,17} = 1,96$$

Проведена перевірка виявила більше ніж 1,5 рази запас міцності зубчастого колеса. Тому конструкцію деталі ті її розміри можна вважати прийнятими.

5 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАЧИСТКИ ЗАДИРОК НА ЗУБЦЯХ

Вітчизняні виробники постійно шукають способи виробництва продукції з максимальною ефективністю [14]. Роботизовані модулі та системи допомагають досягти такої ефективності та відновлюють конкурентні переваги багатьох компаній, особливо в галузі виробництва зубчастих коліс та видалення задирок. (рис. 5.1)

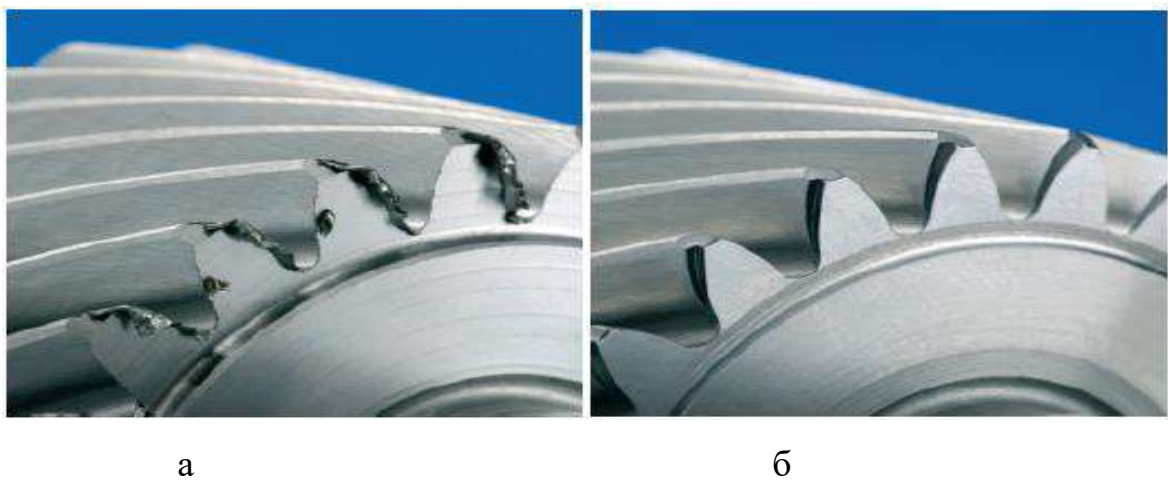


Рисунок 5.1 – Шестерні до видалення задирок (а) та після (б) [14]

Поки зубчасті колеса нарізаються з цілісних шматків заготовлі, необхідність видалення задирок, що утворюються в процесі обробки, не зникне. Найпростіший метод зняття задирок з зубчастих коліс – пневматична шліфувальна машина. Високі обороти, широкий вибір різних зернистостей та форм інструменту, а також відносно низька вартість початкового етапу зробили цей тип ручного видалення задирок одним з найпоширеніших методів, що використовуються сьогодні. Ручне видалення задирок за допомогою пневматичної шліфувальної машини не є непродуктивним. Якість обробки кромки на кожному зубі кожної окремої шестерні залежить від рівня кваліфікації оператора, що виконує шліфування, і, отже, залежить від людського фактора. Навіть при використанні висококваліфікованої праці, яка зводить до мінімуму проблеми з якістю, неможливо уникнути прямих

трудовитрат, пов'язаних із видаленням задирок вручну. На світовій арені, в якій багато хто з нас конкурує, домашні процеси ручного зняття задирок повинні бути зарезервовані для особливих обставин, оскільки більшість вироблених зубчастих коліс просто не можуть витримувати важкого утримання ручної праці [14].

Тип і твердість матеріалу визначають, чи використовуємо твердосплавну фрезу (рис. 5.2) у високошвидкісному шпинделі для надання форми зубу або замість цього ми повинні шліфувати потрібні розміри за допомогою абразивних дисків (рис. 5.3), ременів або кругів [15]. Геометрія зубчастого колеса також може диктувати метод зняття задирок, оскільки деякі інструменти просто не підходять для вузьких місць у деяких зубчастих колесах. Різання – це швидкий спосіб надати форму зуба. Належні подачі та швидкості повинні забезпечити зняття матеріалу без вібрацій. Якщо дозволяє місце, шліфування може видалити вихідний матеріал і надати форму зубцям як на необроблених, так і на твердих зубчастих колесах.



Рисунок 5.2 – Твердосплавна фреза знімає задирки на зубчастому колесі [15]

Прості форми автоматизованого видалення задирок існують уже багато років. Багато з цих машин обертали шестерню, тоді як пневматична шліфувальна машина з невеликим різальним диском ударяла по кожному зубу,

зрізуючи край. Інші машини були схожі, за винятком того, що абразивна щітка заміняла відрізний круг і шліфувала край кожного зуба по периметру шестерні [15]. Хоча ці методи цілком підходили і ефективні для деяких зубчастих коліс, вони безперечно були універсальними, в яких кожна модель і стиль зубчастого колеса значною мірою шліфувалися так само, як і інші моделі, незалежно від того, чи дав цей процес найкращі результати.

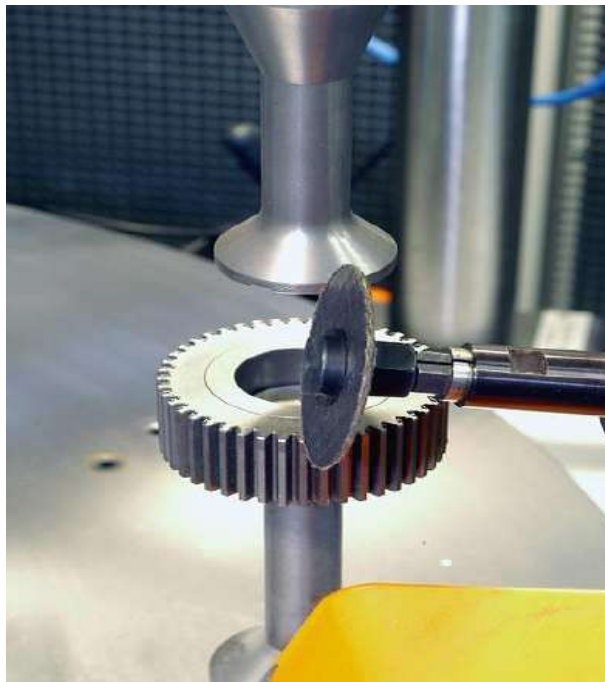


Рисунок 5.3 – Зачистка задирок різальним диском [15]

Абразивні щітки бувають різних розмірів, стилів та складів. Щітки з нержавіючої сталі (рис. 5.4) або залізного дроту вже багато років використовуються для видалення дрібних задирок [15]. Щітки доступні в різних конфігураціях, від тонких дротів до важких вузлуватих конфігурацій. Кожен дає різні рівні абразивності та швидкості видалення. При використанні на шестернях із чорних металів щітки із сталевого дроту дуже ефективні для видалення задирок, але не для видалення вихідного матеріалу. При роботі з більш м'якими шестернями слід бути обережними, щоб уникнути зносу деталі або забруднення залізом.



Рисунок 5.4 – Зачистка задирок металевими щітками [15]

Спеціалізовані щітки сьогодні зазвичай виготовляються з нейлону або подібних пластикових матеріалів і часто просочуються різними абразивами для отримання бажаного кінцевого результату. Нейлонові щітки (рис. 5.5) з карбіду часто використовуються для видалення задирок зі сталевих та чавунних шестерень [15]. Нейлон служить носієм твердосплавного зерна та забезпечує надзвичайно високу швидкість різання. Ці щітки не тільки видаляють задирки, але також видаляють частину вихідного матеріалу, створюючи ефект «плавлення» на краях, з якими вони стикаються. У одних випадках це дуже бажано, а інших неприйнятно.



Рисунок 5.5 – Зачистка задирок абразивно-полімерною щіткою [15]

Також існує метод видалення задирок методом пластичної деформації (рис. 5.6). Спосіб включає позаполюсне зачеплення оброблюваного колеса з інструментом і зняття задирок і фасок зрізанням за рахунок ковзання бічних поверхонь зубів інструмента щодо бічних поверхонь колеса, що обробляється [15]. При цьому в якості інструменту використовують двовінцеве конічне прямозубе колесо, на бічних поверхнях зубців якого виконані ріжучі кромки, швидкість ковзання в контактній точці профілю зуба оброблюваного циліндричного колеса щодо профілю зуба інструменту встановлюють змінною, нерівною нулю на активній ділянці лінії зачеплення, відповідності а після здійснення інструментом кількості обертів, рівного або кратного числу зубів оброблюваного колеса для забезпечення однакових умов різання на протилежних бокових сторонах зубів колеса, проводять реверсування напрямку обертання зубчастої пари інструмент - колесо, що обробляється. Для вирівнювання умов обробки на вхідний і вихідний сторонах після кожного проходу проводять врізання шляхом зближення осей інструменту та оброблюваного циліндричного зубчастого колеса до утворення фаски необхідних геометричних розмірів.



Рисунок 5.6 – Зачистка задирок методом пластичної деформації [15]

Не так багато років тому верстати з ЧПУ вважалися розкішшю, яку могли собі дозволити лише деякі малі підприємства. Однак, сьогодні вони є даністю. Якщо ви гравець у бізнесі, ви, ймовірно, володієте кількома з них.

Подібно до того, як багатоосьові обробні центри з ЧПУ зробили революцію в механічних цехах і тепер вважаються звичайним явищем, шести- і навіть семіосьові роботи революціонізують спосіб виробництва зубчастих коліс.

Пристаюючи до виробництва зубчастих колес роботизованим способом, важливо спочатку визначити, чи потрібен вам спеціальний модуль для вирішення конкретних завдань чи виробнича система, що охоплює всі ваші процеси, найкраще відповідає вашим потребам та цілям. Наприклад, спеціальний роботизований осередок для зняття задирок може бути запрограмований і забезпечений інструментами для шліфування, вирізання або видалення задирок з зубів шестерень. Він буде виконувати цей такт послідовно і надійно і продовжуватиме робити це доти, доки йому буде забезпечений стабільний запас деталей. Хоча фактичний процес зняття задирок був автоматизований, виробнику, як і раніше, потрібна пряма праця, що не додає цінності для завантаження і розвантаження зуборізного верстата перед зняттям задирок, а потім додаткова праця для завантаження і розвантаження роботизованого осередку для видалення задирок [15].

Виробнича система починається з кінцевої мети і спрямована на оптимізацію та вирішення всіх аспектів процесу виготовлення зубчастих коліс. Замість того, щоб просто автоматизувати видалення задирок, інтегратор проектує комірку таким чином, щоб робот виконував усі основні завдання та виробляв шестірню максимально ефективним способом. Роботизовані завдання включають:

- 1) Автоматичний підбір заготовок шестерень із піддону, бункера чи конвеєра;
- 2) Автоматичне завантаження та розвантаження зуборізного верстата;
- 3) Автоматичне зняття задирок з шестерень;
- 4) Автоматичне промивання або занурення в інгібітор іржі, якщо це необхідно;

5) Автоматичне завантаження обробленого зубчастого колеса у пристрій для термообробки, інший верстат або, можливо, навіть у остаточне пакування.

У системному підході робот повністю використовується, щоб дозволити комірці працювати автономно, замість того, щоб кожен процес вимагав прямої праці. Хоча розмір і тип зубчастого колеса визначають кінцевий час виконання завдання, один оператор часто може обслуговувати дві або три такі системи. Як тільки об'єм осередку чи системи визначено, ми переходимо до специфіки конкретного процесу (процесів), який ми маємо виконувати, та необхідного для цього обладнання.

Кожен проект автоматизації повинен починатися з найпростіших питань: звідки беруться деталі; які процеси нам потрібно виконати; і куди далі йдуть запчастини? Хоча ці питання здаються досить простими, відповіді на них будуть глибшими.

Якщо осередок повинен працювати переважно без нагляду, то спосіб, яким осередок отримує деталі, безпосередньо впливає вартість і складність осередку. Крупногабаритні металеві контейнери, заповнені кованими нерозрізаними шестернями, є зовсім іншим набором завдань і вимог, ніж плоскі заготовки шестерень, акуратно укладені в пластикову опору або круглі заготовки, що розрізають по довжині, що переміщаються по конвеєру з витками. Справжнім фактором тут є те, чи ми знаємо, де знаходяться деталі.

Залежно від ваших конкретних потреб кілька піддонів з деталями, що надходять, можуть розміщуватися на конвеєрі, що живить осередок. Коли робот знімає всі деталі з піддону, порожній піддон вивантажується зі станції та подається новий піддон (рис. 5.7) [15]. Такий обмін часто відбувається під час циклу нарізування зубчастих коліс, що дозволяє відновити автоматичну роботу осередку практично без перерви у роботі. нарізка та виготовлення зубчастих коліс.

Щоб звести до мінімуму час, необхідний для видалення нарізаного зубчастого колеса та подальшого завантаження наступної заготовки, у роботах

часто використовується кілька наборів інструментів, встановлених на загальній основі. Перш ніж верстат для різання зупиниться, робот вибирає наступну заготовку в одному наборі своїх інструментів. Коли двері відчиняються, робот тягнеться всередину, бере нарізану шестірню в порожнє захоплення, повертає інструмент, щоб уявити свіжу заготовку, перезавантажує заготовку верстата, а потім швидко забирається за двері.



Рисунок 5.7 – Роботизовані модулі для видалення задирок [15]

Отримані результати шорсткості [16] від режимів обробки (рис. 5.8) дозволяє прогнозувати очікувану шорсткість при проектуванні технологічного процесу виготовлення деталей. Встановлено, що при розглянутому способі обробки в оброблюваному матеріалі виникають стискаючі залишкові напруги на малій глибині залягання, що позитивно впливає на експлуатаційні властивості деталей (рис. 5.9).

На підставі проведеного аналізу стану поверхневого шару за допомогою металографічної та електронної мікроскопії слід зробити висновок про те, що при зачистці задирок на зубцях полімерно-абразивними щітками отримані найкращі результати якості стану поверхонь. Встановлено [17], що еластичними полімерно-абразивними кругами можна ефективно видаляти задирки на зубцях.

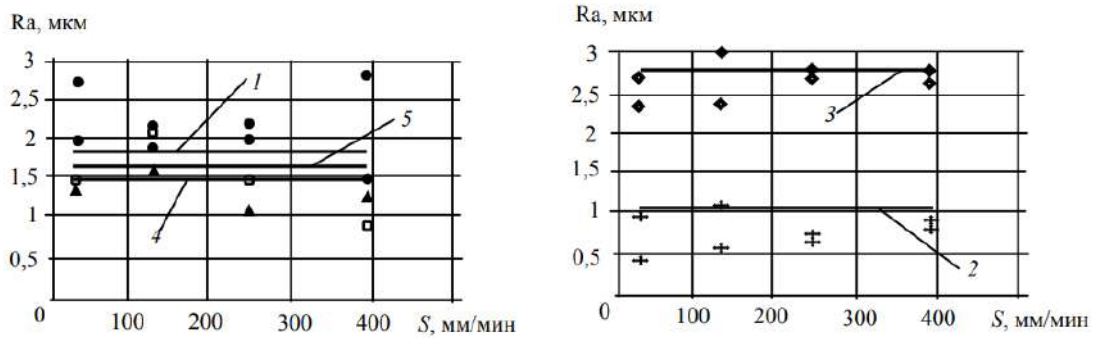


Рисунок 5.8 – Залежність параметра шорсткості від повздовжньої подачі для щіток: 1 – FS-WL 8A MED; 2 – FS-WL 6S FIN; 3 – FS-WL 2S CRS; 4 – DB-WL 8S MED; 5 – CF-FB 0.5A FIN [17]

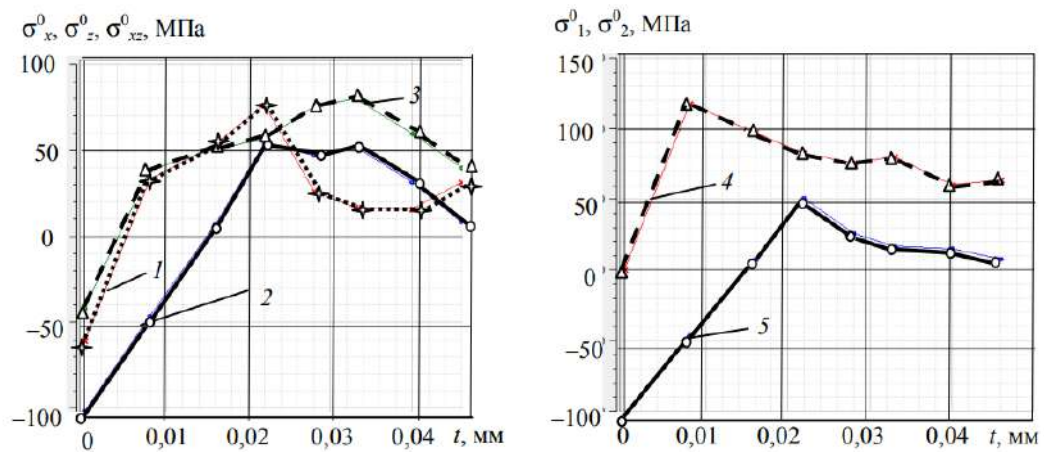


Рисунок 5.9 – Епюри розподілу залишкових напружень по глибині після обробки щіткою FS-WL-8A MED: 1 – σ_z^0 ; 2 – σ_{xz}^0 ; 3 – σ_x^0 ; 4 – σ_1^0 ; 5 – σ_2^0 . [17]

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Зубчасте колесо» було замінено обробку на універсальних токарних верстатах обробкою на верстатах з ЧПК (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія		
Модель верстата	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20	16K20T1	16K20T1	16K20T1
Штучний час $t_{шт}$, хв	20	18	15	10	12	5	14,99	18,4	9,05
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	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
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	278477						1435896		
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань N_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	11	11	11	11	11	11	11	11	11

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [18]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_b \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

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

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

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

K_6 – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні, $K_6=0,39$;

$k_{доп}$ – 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 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_o$, грн
010	Токарна	20	76,6	1,2	1,4	42,90
015	Токарна	18	76,6	1,2	1,4	38,61
020	Токарна	15	76,6	1,2	1,4	32,17
025	Токарна	10	76,6	1,2	1,4	21,45
030	Токарна	12	76,6	1,2	1,4	25,74
035	Токарна	5	76,6	1,2	1,4	10,72
					Σ	171,58

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_o$, грн
015	Токарна	14,99	57,5	1,2	1,4	24,13
020	Токарна	18,4	57,5	1,2	1,4	29,62
025	Токарна	9,05	57,5	1,2	1,4	14,57
					Σ	68,33

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [18]:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{тар} \cdot Ч_n \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (6.2)$$

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

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

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

m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	19,66
020	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	19,66
025	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	19,66
						Σ	78,63

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання за формулою [18]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кi}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

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

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [18]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{інij}} \cdot t_{\text{штij}} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

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

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

η_m – 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.

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ці грн	п _{ін}	T, хв	п _j	η _{мl}	S _{ін} грн
015	Токарна	14,99	Різець підрз.	250	1	180	4	0,4	1,11
			Різець канав.	250	1	180	4	0,4	0,55
020	Токарна	18,4	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,89
			Різець розт.	250	1	180	4	0,4	0,67
			Різець канав.	250	1	180	4	0,4	0,49
025	Токарна	9,05	Різець прохід.	250	1	180	4	0,4	0,56
			Різець розт.	250	1	180	4	0,4	0,44
								Σ	4,72

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [18]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{од} \cdot k_w \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

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

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

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

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

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 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Ц _е грн	N _е кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _е	k _в	S _е
010	Токарна	20	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,97
015	Токарна	18	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	3,58
020	Токарна	15	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,98
025	Токарна	10	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	1,99
030	Токарна	12	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	2,38
035	Токарна	5	3,45	11	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	0,99
										Σ	15,9

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Ц _е грн	N _е кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _w	η _е	k _в	S _е
015	Токарна	14.99	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	7,33
020	Токарна	18.4	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	9,00
025	Токарна	9.05	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	4,43
										Σ	20,75

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	278477	0,02	0,23	0,26
015	Токарна	278477	0,02	0,21	0,23
020	Токарна	278477	0,02	0,17	0,19
025	Токарна	278477	0,02	0,11	0,12
030	Токарна	278477	0,02	0,14	0,16
035	Токарна	278477	0,02	0,06	0,07
				Σ	1,02

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [18]:

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.6)$$

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

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
015	Токарна	1435896	0,02	0,17	0,98
020	Токарна	1435896	0,02	0,21	1,21
025	Токарна	1435896	0,02	0,1	0,57
				Σ	2,76

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [18]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{гн} \cdot t_{ін} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.7)$$

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

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

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

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

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

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{гн}$, грн/год	n_i	$t_{ін}$, хв	K_T	T_M	m	S_n грн
015	Токарна	Різець підпрз.	9	50,9	6	4	0,9	180	4	0,05
		Різець канав.	4,2	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
020	Токарна	Різець прохід.	7,2	50,9	6	4	0,9	180	4	0,04
		Різець розт.	5,2	50,9	6	4	0,9	180	4	0,03
		Різець канав.	3,8	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
025	Токарна	Різець прохід.	4,5	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
		Різець розт.	3,5	50,9	6	4	0,9	180	4	0,02
									Σ	0,21

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [18]:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг} \quad (6.8)$$

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

$$I_{n1} = 171,58 \cdot 0,2 = 34,31 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 68,33 \cdot 0,2 = 13,67 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [18]:

$$C_T = Z_o + Z_n + A_{від} + S_{ін} + S_e + S_p + S_n + I_n \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у табл. 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	Z_o	171,58	68,33
Заробітна плата наладчика	Z_n		78,63
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	13,13	30,86
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	12,12	4,72
Витрати на електроенергію	S_e	15,9	20,75
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	1,02	2,76
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n		0,21
Витрати інші	I_n	34,31	13,67
Технологічна собівартість	C_T	248.06	219.93

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою:

$$E_{ур} = (C_{T1} - C_{T2}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{ур} = (248.06 - 219.93) \cdot 2500 = 70325 \text{ грн}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки деталі «Зубчасте колесо» з заміною обробки на універсальних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 70325 грн.

7. ЗАХОДИ ПО ЗАБЕЗПЕЧЕННЮ БЕЗПЕКИ В МАШИНОБУДУВАННІ

Одним із основних заходів забезпечення безпеки на виробництві є дотримання нормативних вимог ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» в процесі його проектування, будівництва, розміщення обладнання та розробки технологічного процесу. Для забезпечення безпеки необхідно раціонально розміщувати основне та допоміжне обладнання та дотримуватись нормативних вимог. [19-22]. Орієнтовна площа устаткування та рекомендована відстань між верстатами в залежності від його габаритів показана в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 Залежність розміру робочих місць від габаритів технологічного обладнання

Тип обладнання	Габарити обладнання мм	Орієнтовна площа, м ²	Мінімальна відстань до стіни, м	Мінімальна відстань до колон, м	Мінімальна відстань між верстатами, м
Малогабаритні верстати	1800 x 800	10– 12	0,6	0,6	1,30
Верстати середні	4000 x 2000	15 – 25	1,0	0,8	1,5
Великі верстати	8000 x 4000	30 – 45	1,1	0,9	1,8

Для гарантії комфортного самопочуття працюючих передбачено, що мінімальна площа на одну особу - 4.5м², а об'єм -15м³, в адміністративних приміщеннях- площа на одне робоче місце не менше 6 м², а об'єм – не менше 20 м³. Для максимальної продуктивності праці та запобігання механічного травмування, конструкція технологічного обладнання, організація місць зберігання інструменту, пристосувань, готової продукції повинні враховувати антропометричні дані та фізіологічні можливості людини. (ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування» [20].

Звільнена тара має бути видалена з робочого місця в спеціально відведене для неї місце. Висота штабелів заготовок на робочому місці вибрана з урахуванням їх стійкості і зручності зняття з них деталей. Вона дорівнює 0,7 м; ширина між штабелями 0,8 м. Крім того, безпека праці забезпечується [21, 22]:

- використанням в конструкціях технологічного устаткування спеціальних захисних засобів;
- включенням вимог безпеки в технічну документацію по монтажу, експлуатації, ремонту устаткування.

Для швидкої евакуації у надзвичайних ситуаціях та можливості вільного переміщення габаритного обладнання, заготовки та деталі, згідно технологічного процесу, передбачена ширина проходів та проїздів не менше - 4500 мм та 2000 мм. У відповідності до ДСТУ ISO 6309:2007 «Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір» проходи та проїзди цехів та ділянок позначаються розмежувальною лінією білого кольору не менше 100 мм. Прходи та проїзди, а також люки колодязів є вільними та не засмічені елементами, що мінімізує можливість виникнення травм та забезпечує швидку евакуацію.

Розрахуємо площу адміністративно-побутового приміщення [23].

Загальна кількість працівників по списку $N = 75$, з них:

- робітників $N_p = 41$;
- інженерно-технічних працівників (ІТР) $N_{in} = 14$;
- службовців $N_{cl} = 20$.

Кількість робочих місць, обладнаних комп'ютерами — 20

Співвідношення чоловіків і жінок — 0,4:0,6 (тобто 40 та 60%)

Коефіцієнт складу найчисленнішої зміни — 0,8

Групи виробничих процесів — 2а, 3а [5]:

Визначаємо очікувану кількість чоловіків і жінок в механічному цеху:

$$N_q = 0,4 \cdot N = 0,4 \cdot 75 = 30 \text{ осіб}, \quad (7.1)$$

$$N_{\text{ж}} = 0,6 \cdot N = 0,6 \cdot 75 = 45 \text{ осіб.} \quad (7.2)$$

Серед працівників робітничих професій:

$$N_{\text{р ч}} = 0,4 \cdot N_{\text{р}} = 0,4 \cdot 41 = 16,4 \text{ осіб, приймаємо 16 чоловіків} \quad (7.3)$$

$$N_{\text{р ж}} = 0,6 \cdot N_{\text{р}} = 0,6 \cdot 41 = 24,6 \text{ особи, тобто 21 жінка} \quad (7.4)$$

Очікувана кількість жінок та чоловіків у найчисленнішій зміні:

$$N^3_{\text{ч}} = 0,8 \cdot N_{\text{ч}} = 0,8 \cdot 30 = 24 \text{ особи,} \quad (7.5)$$

$$N^3_{\text{ж}} = 0,8 \cdot N_{\text{ж}} = 0,8 \cdot 45 = 36 \text{ осіб,} \quad (7.6)$$

$$N^3 = 24 + 36 = 60 \text{ осіб.}$$

Серед працівників робітничих професій:

$$N^3_{\text{р ч}} = 0,8 \cdot N_{\text{р ч}} = 0,8 \cdot 16 = 12 \text{ осіб,} \quad (7.7)$$

$$N^3_{\text{р ж}} = 0,8 \cdot N_{\text{р ж}} = 0,8 \cdot 24 = 19 \text{ осіб,} \quad (7.8)$$

$$N^3_{\text{р}} = N^3_{\text{р ч}} + N^3_{\text{р ж}} = 12 + 19 = 31 \text{ особа.} \quad (7.9)$$

Визначаємо необхідні площі адміністративних та побутових приміщень.

Гардеробні

Площі гардеробних повинні становити:

$$\text{· для жінок } S_{\text{г ж}} = 0,9 \cdot N_{\text{ж}} = 0,9 \cdot 45 = 40,5 \text{ м}^2$$

$$\text{· для чоловіків } S_{\text{г ч}} = 0,9 \cdot N_{\text{ч}} = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ м}^2$$

В обох гардеробних планується розмістити відповідно 45 та 30 шаф (1 шафа на 1 працівника).

Загальна площа гардеробних становитиме:

$$S = S_{\text{г ж}} + S_{\text{г ч}} = 40,5 + 27 = 67,5 \text{ м}^2 \quad (7.10)$$

Душові

В даному випадку проектується будівля з поєднанням виробничих процесів груп 2а та 3а.

Враховуючи, що розрахункова кількість працівників робітничих професій на одну душову сітку становить 25 осіб, визначаємо необхідну кількість сіток у жіночій та чоловічій душових [23]:

$$n_{дж} = N^3_{рж} / 25 = 24 / 25 = 0,96; \quad (7.11)$$

$$n_{дч} = N^3_{рч} / 25 = 16 / 25 = 0,64. \quad (7.12)$$

У кожній душовій необхідно встановити по 1 душовій сітці, а площа душової враховує, що рекомендована площа однієї душової-2м, повинна становити:

$$S_{дж} = 3 \cdot 2 = 6 \text{ м}^2$$

$$S_{дч} = 2 \cdot 2 = 4 \text{ м}^2.$$

Загальна площа душових:

$$S_{\partial} = S_{дж} + S_{дч} = 4 + 6 = 10 \text{ м}^2. \quad (7.13)$$

Розраховуючи кількість умивальників та групу виробничих процесів (За –7 кранів) у жіночій умивальні необхідно встановити 3 штуки, а в чоловічій – 2 крани:

$$n_{дж} = N^3_{рж} / 7 = 19 / 7 = 2,71; \quad (7.14)$$

$$n_{дч} = N^3_{рч} / 7 = 12 / 7 = 1,71. \quad (7.15)$$

Площі цих санітарно-побутових приміщень повинні становити відповідно 3 м² та 2 м²

Необхідна кількість унітазів (підлогових чаш) в жіночому та чоловічому туалетах буде:

$$n_{\text{жс}} = N^3_{\text{жс}} / 15 = 36 / 15 = 2,4; \quad (7.16)$$

$$n_{\text{ч}} = N^3_{\text{ч}} / 15 = 24 / 15 = 1,6. \quad (7.17)$$

Приймаємо 3 унітази в жіночому та 2 в чоловічому туалетах, площі яких тоді становитимуть ([23], табл. 3.2):

$$S_{\text{тжс}} = 3 \cdot 2,5 = 7,5 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{тч}} = 2 \cdot 2,5 = 5 \text{ м}^2.$$

Загальна площа туалетів $S_{\text{т}} = 12,5 \text{ м}^2$.

Таким чином, сумарна площа всіх санітарно-побутових приміщень друкарні, що проектується буде становити $S_{\text{сп}} = 103 \text{ м}^2$ (для жінок – 61 м^2 , для чоловіків – 42 м^2).

Приймаємо медичний пункт загальною площею $S_{\text{м}} = 12 \text{ м}^2$

Оскільки очікувана кількість працівників найчисельнішої зміни менша 100 осіб, то для їх харчування передбачаємо буфет з кількістю посадкових місць:

$$n_{\text{відв}} = N_{\text{змни}} / 4 = 60 / 4 = 15; \quad (7.18)$$

при цьому кількість чотиримісних столиків дорівнює $15 / 4 = 3,75 \approx 4$.

Приймаємо $n_{\text{відв}} = 15$.

Площа буфету становитиме:

$$S_{\text{харч}} = n_{\text{відв}} \cdot 1 = 15 \text{ м}^2. \quad (7.19)$$

Враховуючи, що при розробці технологічних процесів 15 працівників мають комп'ютеризовані робочі місця, а площа на одне робоче місце повинна бути не менше 6 м^2 , а інші 20 — некомп'ютеризовані, площа приміщень управлінь становитиме:

$$S_{\text{упр}} = 20 \cdot 4 + 14 \cdot 6 = 164 \text{ м}^2.$$

При визначенні площі профкому враховується кількість працюючих на виробництві, доцільно прийняти її 12 м^2 та куток охорони праці 20 м^2 . Сумарна площа адміністративних приміщень становить:

$$S_a = S_{\text{упр}} + S_{\text{проф}} + S_{\text{оп}} = 164 + 12 + 24 = 200 \text{ м}^2. \quad (7.20)$$

Загальна площа адміністративних та побутових приміщень:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{сп}} + S_{\text{оз}} + S_{\text{харч}} + S_{\text{зб}} + S_a = 103 + 30 + 15 + 24 + 200 = 372 \quad (7.21)$$

На базі проведених розрахунків, визначено, що для комфортної роботи слід передбачити щонайменшою 372 м^2 .

На одного працівника підприємства припадає $372 \text{ м}^2 / 75 \text{ осіб} = 4,96 \text{ м}^2$ площі адміністративних та побутових приміщень.

Таким чином, дотримання вимог НПАОП 0.00-7.14 «Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівників», ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» дає можливість забезпечити здорові та безпечні умови праці.

ВИСНОВКИ

Було розроблено технологічний процес виготовлення зубчатого колеса. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки на КГШП, розраховано масу заготовки 5,637 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,46. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 28025грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить замість токарної обробки на універсальних верстатах обробку на верстатах з ЧПК. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення. Економія склала 70325грн.

Для токарної, свердлильної та зубофрезерних операцій з ЧПК була розроблена керуюча програма в програмному забезпеченні NX.

Було спроектовано робоче пристосування для зубофрезерної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний пневмоциліндр діаметром 180 мм. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зовнішнього діаметра.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
2. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
4. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
5. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
8. 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.
9. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

10. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.
11. Конспект лекцій з дисципліни «Технологічна оснастка» для студентів зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» освітня програма «Металорізальні верстати та » усіх форм навчання / Укл. О.Б. Козлова. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 118 с.
12. Shop Hands Over Gear Deburring to a Robot. [Electronic resource]. – Regime of access: <https://www.mmsonline.com/articles/shop-hands-over-gear-deburring-to-a-robot> (date of the application: 13.11.2023). – Header from the screen.
13. Automated deburring of gearing components. [Electronic resource]. – Regime of access: https://www.yaskawa.eu.com/application/case/automated-deburring-of-gearing-components_u11337 (date of the application: 13.11.2023). – Header from the screen.
14. Robotic Gear Processing. [Electronic resource]. – Regime of access: <https://gearsolutions.com/features/robotic-gear-processing/> (date of the application: 13.11.2023). – Header from the screen.
15. Димов Ю.В. Производительность и качество поверхности при обработке эластичными абразивными кругами / Димов Ю.В., Подашев Д.Б. // Металлообработка. 2012. – Т. 4. – №70. – С. 7-11.
16. Подашев Д.Б. Оценка качества поверхностного слоя деталей из алюминиевых сплавов после обработки эластичными полимерно-абразивными кругами / Подашев Д.Б. // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2020. – Т. 22. – № 4. – С. 75-86.
17. Проволоцкий А. Е. Использование полимераабразивного эластичного инструмента на операциях чистовой обработки. / Проволоцкий А. Е., Негруб С. Л. // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. 2006. – №23. – С. 106–108.
18. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності

131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 – 41 с.

19. ДБН В.2.2-28:2010. Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення. – [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. – К. : Міненбуд України. 2011. – 31 с.

20. ДСТУ EN 894-3:2017. Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування., затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2009 р. № 1262.

21. НПАОП 0.00-7.14. Вимоги безпеки та захисту здоров'я під час використання виробничого обладнання працівниками. затверджено Наказом Міністерства соціальної політики України 10.04.2018 №486.

22. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Розрахунок площ адміністративних та побутових приміщень» з дисципліни “ Охорона праці вгалузі” для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл. : В.І. Шмирко, Ю.В.Якімцов:– Запоріжжя: ЗНТУ, 2011 – 22 с.

ДОДАТОК А

Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX

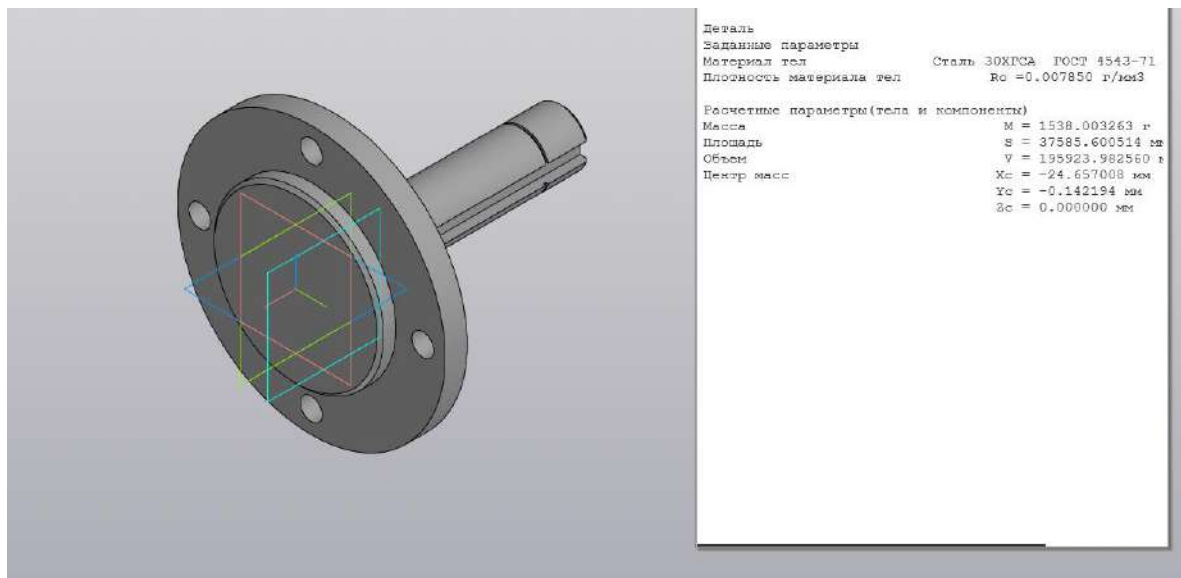


Рисунок А.1 – Визначення ваги деталі

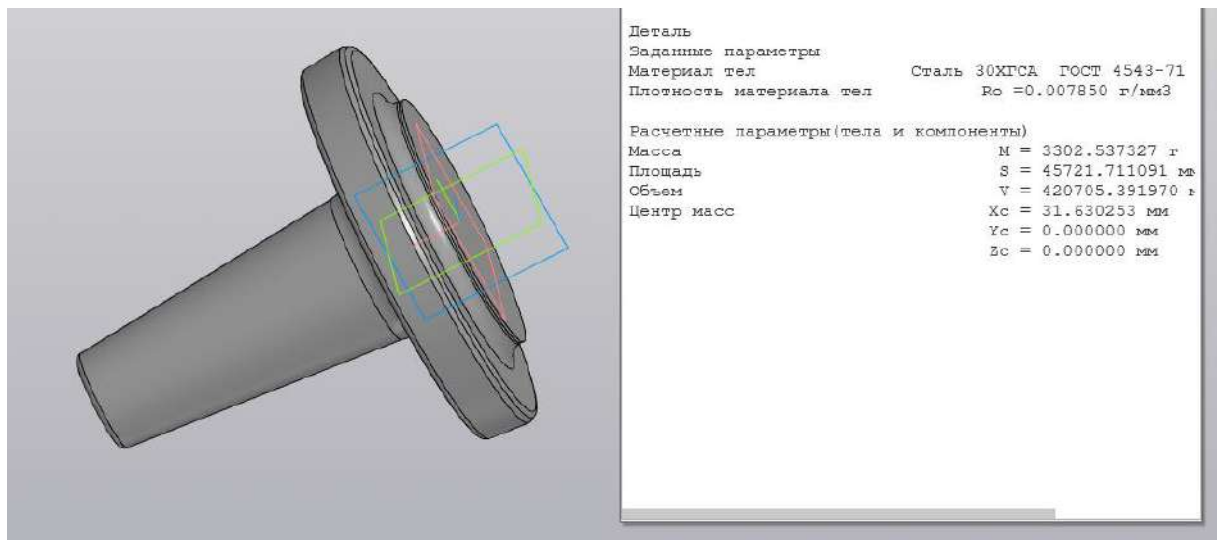


Рисунок А.2 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на КГШП

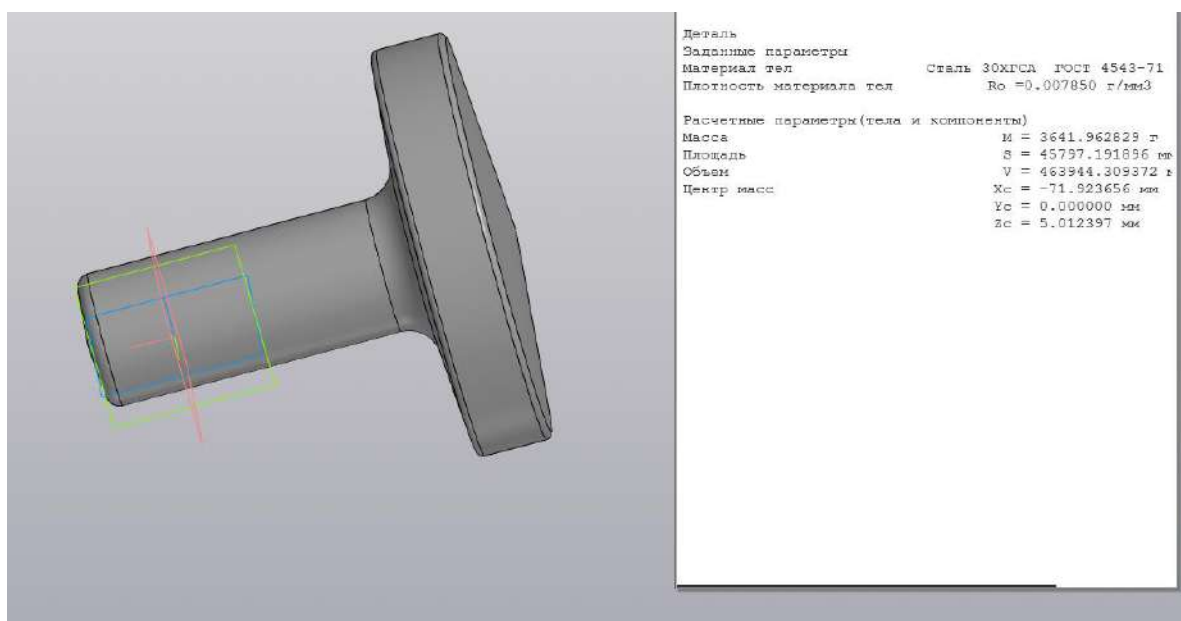


Рисунок А.3 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на молоті

ДОДАТОК Б
Специфікація робочого пристосування

Формат Знак		Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Лист примен						
				Документация		
				Сборочный чертеж		
				Детали		
Сторон №		1		Корпус	1	
		2		Палець	1	
		3		Шток	1	
		4		Стакан	1	
		5		Поршень	1	
		6		Кришка	1	
		7		Штуцер	1	
		8		Гайка	1	
		9		Пружина	1	
		10		Кришка	1	
		11		Шток	1	
		12		Кришка	1	
		13		Шайба розрізна	1	
Лист и дата						
Инд. № докл.						
Взам. инд. №						
Лист и дата						
Инд. № подл.						
НУЗП 293226.001						
Пристосування для фрезерування зубців						
Лит. Лист Листов						
1 2						
НУЗП М-112М						

[illegible]

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

