

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний
(повне найменування факультету)

Технологія машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проєкту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Технологічне забезпечення підвищення експлуатаційної стійкості
деталі «Гайка»»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи М-122м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

ПОЙДЕНКО М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОЗЛОВА О.Б.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ФРОЛОВ М.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

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 С.І. ДЯДЯ

«_____» _____ 2023 року

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

ПОЙДЕНКО Михайло Валерійович

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Технологічне забезпечення підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка»»

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. КОЗЛОВА Олена Борисівна

(науковий ступінь, вчене звання, ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові.)

затверджені наказом закладу вищої освіти від 14.11.2023 року №436

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення гайки; річна програма випуску N=5000 шт

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. Економічний розрахунок..... 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

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

Креслення деталі, заготовки; плакат 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.

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРІЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	КОЗЛОВА О.Б., доц.		
6	ПУХАЛЬСЬКА Г.В., доц.		
7	ШМИРКО В.І., доц.		
нормоконтроль	ДЯДЯ С.І., зав. каф.		

7. Дата видачі завдання 04 вересня 2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація	09.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	23.10.2023	
5	Спецзавдання	30.10.2023	
6	Економічний розрахунок	06.11.2023	
7	Охорона праці	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	27.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	20.12.2023	

Студент(ка)

_____ Михайло ПОЙДЕНКО
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Олена КОЗЛОВА
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 112 с., 21 табл., 25 рис., 2 дод., 21 джерело.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГАЙКА, ЗАГОТОВКА, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, МАРШРУТ ОБРОБКИ, МІЦНІСТЬ, ОСНАСТКА, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження - деталь «Гайка».

Мета роботи - технологічно забезпечити підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка».

Основний метод дослідження в даній магістерській роботі - це розрахунково-аналітичний підхід. Для визначення експлуатаційного навантаження деталі використовується комп'ютерне моделювання. Для аналізу процесів механічної обробки гайки використовується комп'ютерна симуляція.

У магістерській роботі було розроблено технологічний процес виготовлення гайки, вибрано необхідне обладнання та інструменти. Відповідно до цього були розраховані режими різання та норми часу. Також були спроектовані робоче та контрольне пристосування.

Для оцінки міцності деталі було проведено розрахунок з використанням комп'ютерного моделювання. Були проаналізовані методи досягнення точності при обробці, а також були запропоновані рекомендації та обладнання для обробки гайки. Для поліпшення ефективності процесу були розглянуті заходи щодо автоматизації та механізації. Не менш важливими у роботі є заходи щодо безпечної роботи персоналу.

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 і форми організації робіт	12
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	13
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі.....	18
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....	18
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	19
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	24
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	24
1.6 Розрахунок режимів різання	30
1.7 Технічне нормування операцій	39
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	42
1.8.1 Розробка токарної операції.....	42
1.8.2 Розробка свердлильної операції	45
1.8.3 Розробка фрезерної операції	47
2 Конструкторська частина	49
2.1 Проектування робочого пристосування	49
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	49
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність	51
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	54
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	57
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування	57

2.2.2 Розрахунок на точність	58
3 Автоматизація	61
3.1 Контрольно-вимірювальна машина	61
4 Розрахунок деталі на міцність	72
5 Спеціальне завдання. Підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка.».....	77
5.1 Міднення як засіб підвищення експлуатаційної стійкості деталі....	77
5.2 Кінетика процесу гальванічного міднення.....	79
5.3 Процеси у кислих електролітах міднення.....	81
5.4 Процеси в лужних електролітах міднення.....	83
5.4.1 Ціаністе міднення.....	83
5.4.2 Міднення за способом біполярного розташування деталей у ванні.....	85
5.4.3 Пірофосфатне міднення.....	86
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки або заходів ...	89
7 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	103
Висновок	107
Перелік джерел посилання	108
Додаток А. Специфікація робочого пристосування	111
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування.....	112

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ГКМ	Горизонтально кувальна машина
ЕОМ	Електронно-обчислювальна машина
КП	Керуюча програма
КВМ	Контрольно-вимірювальна машина
КВП	Контрольно-вимірювальний прилад
КГШП	Кривошипно-горячештамповочний прес
МОП	Маршрут обробки поверхні
МОР	Мастильно-охолоджуюча рідина
ППТіЯ	Послідовність показників точності і якості
РТК	Розрахунково-технологічна карта
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
ТВ	Технічні вимоги
ХТО	Хіміко-термічна обробка

ВСТУП

Оптимізація технологічних процесів є важливою частиною сучасної промисловості. Використання передових методів виготовлення та обробки заготовок допомагає покращити ефективність виробництва, якість продукції та конкурентоспроможність на ринку.

Технологічні інновації дозволяють забезпечити підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка» за допомогою високопродуктивного обладнання, зменшення витрат на сировину та енергію, а також скорочення часу виробництва, використання передових методів отримання заготовок та їх обробка відкривають нові можливості для підвищення продуктивності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище під час виробництва.

Реалізація цих завдань супроводжується ускладненням конструкції виробу, посиленням норм точності, оптимізацією запасів міцності деталей, застосуванням нових матеріалів, що в свою чергу вимагає вишукування технічних рішень, спрямованих на зниження собівартості виготовлення як деталей і вузлів, так і всього виробу в цілому.

З метою зниження собівартості, доцільно проводити автоматизацію окремих технологічних операцій і економічне обґрунтування прийнятих рішень.

З урахуванням викладеного, був розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Гайка».

1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Гайка» (рис. 1.1) призначена для кріплення корпусу втулки несучого гвинта гелікоптера який в свою чергу з'єднується з валом головного редуктора по евольвентиним шлицам. Затяжку гайки виконують спеціальним гідравлічним ключем. Гайка контрується на корпусі втулки несучого гвинта за допомогою штифтів.

Деталь «Гайка» - є особлизовідповідальною, так званою «гайкою життя», а у випадку поломки відбудеться катастрофа гелікоптера, тому що вона фактично не дозволяє корпусу втулки несучого гвинта сповзти із зачеплення з головним редуктором.

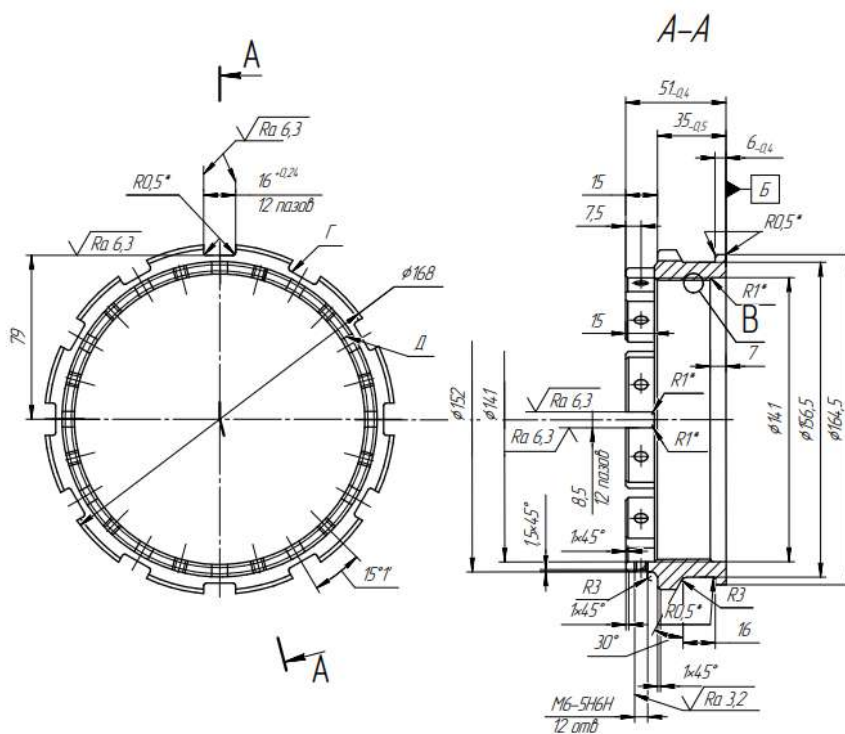


Рисунок 1.1 - Деталь «Гайка»

Матеріал деталі - сталь 40ХН2МА.

Леговані метали характеризуються високими експлуатаційними властивостями, що дозволяє їх використовувати повсюдно. Конструкційна сталь 40ХН2МА відноситься до низьковуглецевих сплавів нормальної міцності, вона застосовується для створення будівельних конструкцій, повністю задовольняючи вимоги нормативних документів.

До основних переваг матеріалу відносяться:

- 1) мартенситний стан;
- 2) загартування на повітрі;
- 3) відсутність крихкості;
- 4) стійкість до динамічних навантажень;
- 5) стійкість до негативних температур;
- 6) здатність зберігати показники при температурі до +300-400 градусів.

До недоліків відносяться досить висока вартість у порівнянні з іншими сталями, низька технологічність при різанні та схильність до утворення флоків.

Хімічний склад сталі 40ХН2МА наведено у таблиці 1.1

Таблиця 1.1 - Хімічний склад сталі 40ХН2МА [1]

Fe	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	Cu
90	0,37 – 0,44	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	1,25 – 1,65	до 0,025	до 0,025	0,6 – 0,9	0,15 – 0,25	до 0,3

Кожен компонент сталі 40ХН2МА впливає на покращення її характеристик. Хром і нікель забезпечують твердість і стійкість до корозії, мідь збільшує в'язкість і теплопровідність, марганець і кремній пов'язують вільне залізо і знижують вплив сірки і фосфору.

Сталь 40ХН2МА несхильна до руйнування після відпускання за рахунок присутності молібдену. Її висока міцність дозволяє використовувати матеріал для виробництва конструкцій, що працюють при навантаженні.

Найбільш ефективним методом термообробки сталі 40ХН2МА є загартування при 850°C. Охолодження відбувається у воді, а відпускання проводиться у масляній ванні при 620°C.

Поліпшення властивостей сталі забезпечується повним загартуванням і високим відпусканням. Матеріал належить до перлітного класу, тому перехід відбувається за температур 730°C і 820°C. Сплав, що містить у собі доевтектоїдні компоненти, повністю загартовується при 850-870°C, утворюючи аустенітну структуру, яка при охолодженні перетворюється у мартенсит.

У обох випадках зерно сталі характеризується невеликими розмірами. Аустенітні зерна формуються при переході з фериту в цементит.

Охолодження у воді відбувається досить швидко, що сприяє утворенню мартенситу з дрібними зернами, що містять твердий пересичений розчин вуглецю в залізі.

Сталь 40ХН2МА в такому стані схильна до появи тріщин, сколів та інших крихких деформацій через залишкові напруги в твердій структурі. Щоб уникнути цього ризику, проводиться відпускання при температурах 450-650°C. Під час відпускання відбувається дифузія, яка дозволяє мартенситу перетворитися в перліт, але вуглець залишається в тій же структурі сталі.

В результаті сплав набуває феритно-цементитної структури.

Відпускання марки сталі 40ХН2МА проводять у три етапи: виділення метастабільного карбіду, розпад мартенситної структури і карбідної фази, закінчення розпаду мартенситної структури і зміна структури фериту та карбідів.

Витримка під час відпускання необхідна для стабілізації властивостей металу і зазвичай триває 1-2 годин.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Попередньо тип виробництва вибираємо по таблиці 1.2 .

Таблиця 1.2 - Вибір типу виробництва [5]

Тип виробництва	Кількість оброблюваних деталей в рік		
	Тяжкі, m>100 кг	Середні, m=10...100 кг	Легкі. m<10 кг
Одиничне	до 5	до 10	до 100
Дрібносерійне	5...10	10...200	100...500
Серійне	100...300	200...500	500...5000
Багатосерійне	300.1000	500...5000	5000...50000
Масове	вище 1000	вище 5000	вище 50000

Дивлячись на вагу деталі m=1,585 кг і річну програму випуску N=5000 шт, тип виробництва обираємо серійним.

У зв'язку з тим що мною обрано серійне виробництво, найліпше буде примінити змінно-поточну форму організації робіт, при якій деталі поступають на ділянку партіями, але обробка виконується поточним методом.

При цьому величина партії заготовок, визначається за формулою [4, с. 274]:

$$n = \frac{a \cdot N}{250}, \quad (1.1)$$

де a - періодичність запуску деталі у виробництво - 5 [4] ,

N - річна програма випуску деталі - 5000 шт.

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

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Кожен метод отримання заготовки повинен відповідати наступним вимогам:

- 1) забезпечувати необхідні властивості заготовки, що дозволяють виконувати її службові функції при заданих умовах експлуатації;
- 2) дозволяти отримувати заготовки з заданого матеріалу та конструкції;
- 3) забезпечувати продуктивність виготовлення заготовок з урахуванням заданої програми випуску.

Якщо декілька методів (наприклад, лиття, гаряче штампування, прокат) відповідають цим умовам і, більше того, декілька способів в межах кожного з цих методів, то необхідно вибрати найбільш економічний варіант. При цьому використовують два критерії економічної доцільності: вартість виготовлення заготовки та коефіцієнт використання матеріалу.

Вихідні дані:

Ескіз 3D - моделі деталі «Гайка» наведено на рис. 1.2

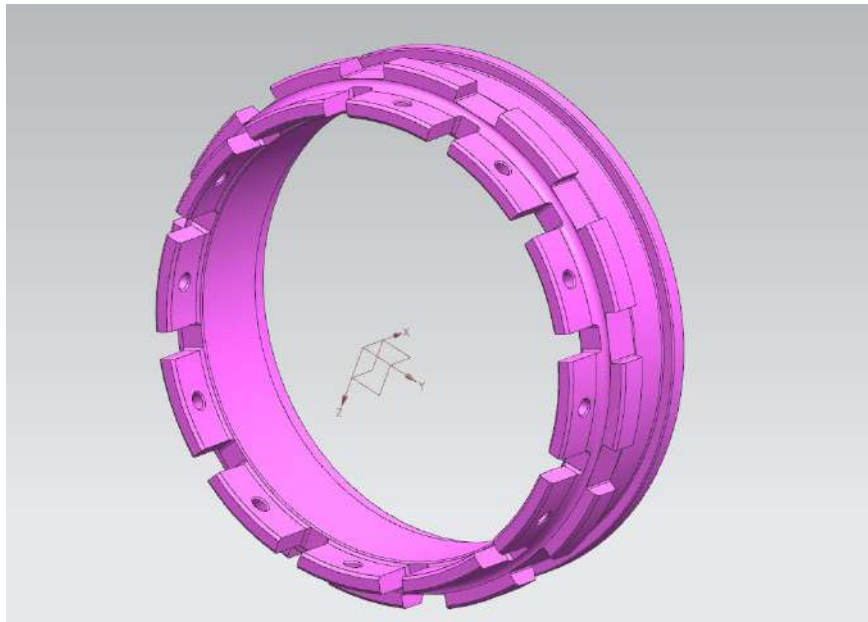


Рисунок 1.2 - 3D модель деталі «Гайка»

Маса деталі $q=1,585$ кг.

Матеріал сталь 40ХН2МА, густина $\rho=7870$ кг/м³.

Річна програма випуску $N=5\ 000$ шт.

Постановка задачі:

економічно обґрунтувати доцільність використання одного із двох способів отримання заготовок "Гайка" другого класу точності:

- 1) на ГKM (рис. 1.3);
- 2) на КГШП (рис. 1.4).

Розраховуємо масу заготовок Q_1 і Q_2 , одержуваних кожним способом.

На ГKM:

Припуск на сторону дорівнює 3,5 мм [3, табл. 1.3, с.12].

$Q_1=2,956$ кг.

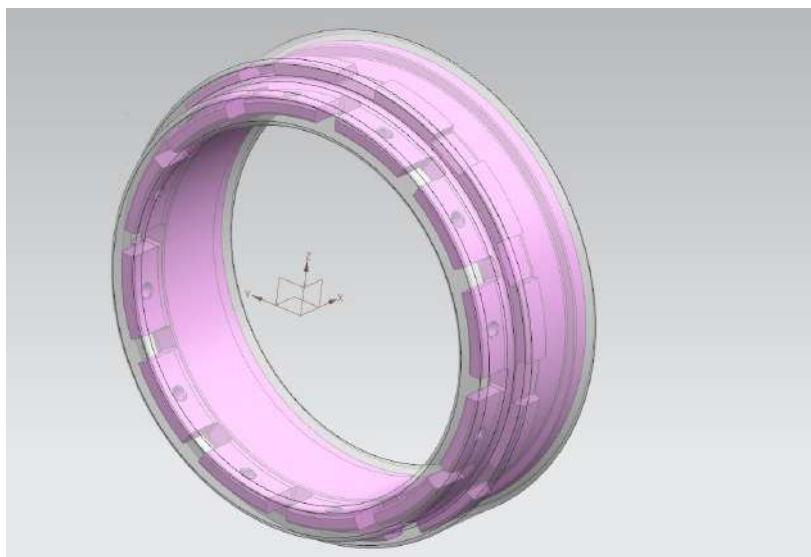


Рисунок 1.3 - 3D - модель заготовки на ГКМ

На КГШП:

Припуск на сторону дорівнює 2,9 мм [3, табл. 1.3, с. 12].

$Q_2=2,29$ кг.

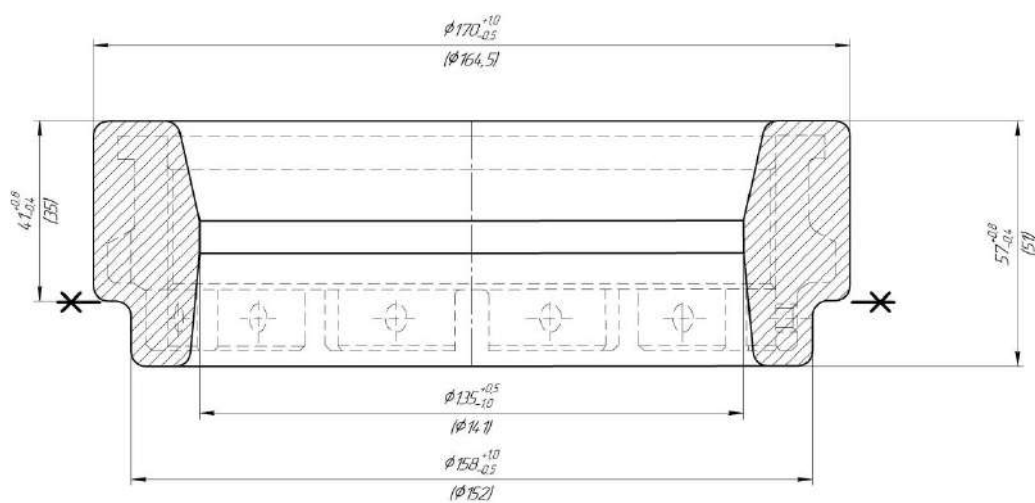


Рисунок 1.4 - Заготовка на КГШП

3D - модель заготовки на КГШП представлена на рис. 1.5.

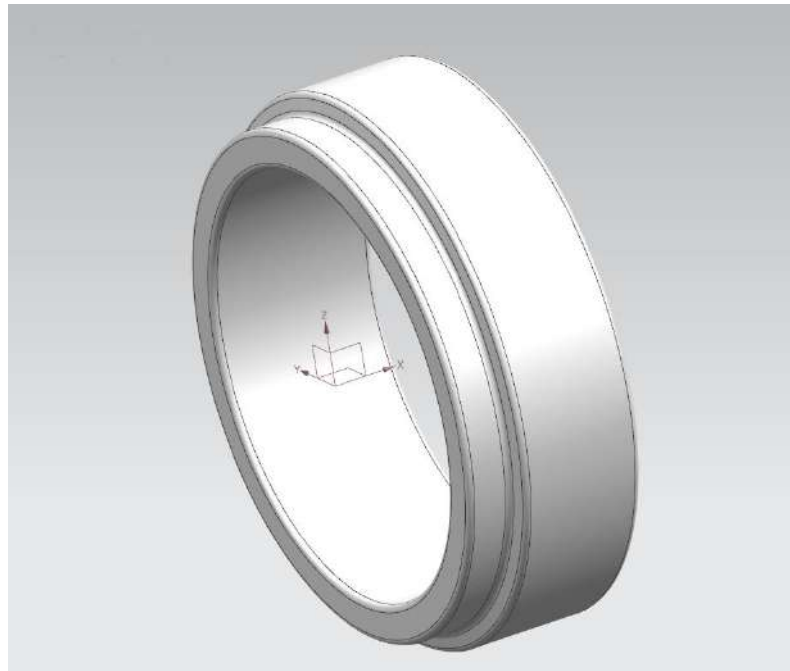


Рисунок 1.5 - 3D - модель заготовки на КГШП

Розраховуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою [3, с. 276]:

$$\eta = \frac{q}{Q} . \quad (1.2)$$

$$\eta_1 = \frac{1,585}{2,956} = 0,53 .$$

$$\eta_2 = \frac{1,585}{2,29} = 0,69 .$$

Розраховуємо вартість однієї заготовки B_1 , одержаної на ГKM [3, с. 276]:

$$B = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \cdot \frac{B_{\text{відх}}}{1000} , \quad (1.3)$$

де B_6 - початкова (базова) вартість виготовлення 1 т заготовок [1, табл. 1.4, с. 13]; $B_6=82000$ грн;

$B_{\text{відх}}$ - вартість 1 тонни стружки; $B_{\text{відх}}=40000$ грн;

Q_1 - маса заготовки; $Q_1=2,956$ кг;

q - маса деталі; $q=1,585$ кг.

K_T, K_M, K_C, K_B, K_P - незмінні фактори які враховують відповідно клас точності, матеріал, групу складності, масу заготовки, програму випуску. Значення коефіцієнтів вибираємо по [1, табл. 1.24-1.28, с. 18-19].

$$\begin{aligned} B_{гкм} &= \frac{82000}{1000} \cdot 2,956 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 1,11 \cdot 0,89 \cdot 1 - (2,956 - 1,585) \cdot \frac{40000}{1000} \\ &= 166,4 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Розраховуємо вартість однієї заготовки B_2 , одержаної на КГШП за формулою (1.3):

$$\begin{aligned} B_{кгшп} &= \frac{82000}{1000} \cdot 2,29 \cdot 1 \cdot 1,8 \cdot 1,11 \cdot 0,89 \cdot 1 - (2,29 - 1,585) \cdot \frac{40000}{1000} \\ &= 161,22 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Довідкові та розрахункові величини вносимо до зведеної таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Зведена таблиця результатів розрахунку економічної доцільності отримання заготовок різними методами

Показник	Позначення	Од.вимір	Метод	
			ГКМ	КГШП
Припуск на сторону	Z	мм	3,5	2,9
Маса заготовки	Q	кг	2,956	2,29
Базова вартість 1т заготовки	B_0	грн	82000	82000
Коефіцієнти	K_T		1	1
	K_M		1,8	1,8
	K_B		1,11	1,11
	K_C		0,89	0,89
	K_P		1	1
Вартість 1т стружки	B відх	грн	40000	40000
Вартість однієї заготовки	B	грн	166,4	161,2
Коеф. використання матеріалу	η		0,53	0,69

Отримали значення $B_1 > B_2$, $\eta_1 < \eta_2$, то порівнюємо виготовлення заготовок за 2 варіантом:

$$E_B = (B_1 - B_2) \cdot \Pi. \quad (1.4)$$

$$E_B = (166,4 - 161,2) \cdot 5000 = 26000 \text{ грн.}$$

Приймаємо виготовлення заготовок на КГШП.

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2):

$$\eta = 0,69.$$

По цьому показнику деталь не технологічна, $0,69 < 0,8$.

Коефіцієнт уніфікації визначається за формулою [3, с. 275]:

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{ye}}{Q_e} > 0,6, \quad (1.5)$$

де $Q_{y.e.}$, Q_e - відповідно кількість уніфікованих елементів та загальна кількість елементів.

$$K_{ye} = \frac{25}{35} = 0,74 > 0,6.$$

За цим показником деталь технологічна.

Коефіцієнт точності визначається за формулою [3, с. 275]:

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{сер}}} > 0,8, \quad (1.6)$$

де $A_{\text{сер}}$ - середній квалітет точності .

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{12,7} = 0,91 > 0,8 .$$

За цим показником деталь технологічна.

Коефіцієнт шорсткості визначається за формулою [3, с. 275]:

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{B_{\text{ср}}} < 0,32, \quad (1.9)$$

де $B_{\text{ср}}$ - середній квалітет шорсткості.

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{3,78} = 0,21 < 0,32.$$

За цим показником деталь технологічна.

Таким чином, за отриманими показниками деталь технологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

МОП (маршрут обробки поверхонь) необхідний для компоновання операцій ТП (технологічного процесу), розробки схем групових налагоджень.

Для поверхні $\varnothing 152h10_{(-0,16)}$ шорсткість складає $Ra=25$ мкм для заготовки, допуск $Td_3=3,6$ мм, шорсткість деталі $Ra=3,2$ мкм, допуск $Td=0,16$ мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості [3, с. 279]:

$$\varepsilon_{d0} = \frac{Td_3}{Td_{\text{дет}}}, \quad (1.10)$$

де $Td_{\text{дет}}$; $Td_{\text{заг}}$ - допуски геометричного розміру відповідно деталі та заготовки.

$$\varepsilon_{\Delta 0} = \frac{\Delta_3}{\Delta_{\text{дет}}}, \quad (1.11)$$

де $\Delta_{\text{дет}}$; $\Delta_{\text{заг}}$ - похибки форми та взаємного розташування відповідно деталі та заготовки.

$$\varepsilon_{Ra0} = \frac{Ra_3}{Ra_{\text{дет}}}, \quad (1.12)$$

де $Ra_{\text{дет}}$; $Ra_{\text{заг}}$ - шорсткість відповідно деталі та заготовки.

$$\varepsilon_{d0} = \frac{3,6}{0,16} = 22,5; \quad \varepsilon_{\Delta 0} = \frac{1,5}{0,05} = 30; \quad \varepsilon_{Ra0} = \frac{25}{3,2} = 7,81.$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник точності геометричного розміру, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо кількість переходів [3, с. 280]

$$Kd = 2 \cdot \lg \varepsilon_{d0}, \quad (1.13)$$

$$Kd = 2 \cdot \lg 22,5 = 2,7.$$

Приймаємо $k=3$.

Різниця класів шорсткості та їх розподіл $IT=IT16-IT10=6=3+2+1$.

Встановлюємо послідовність показників точності: IT16-IT14-IT13-IT10.

Призначаємо методи обробки за переходами.

Заготовка - точіння чорнове - точіння чистове - шліфування .

За [1, табл. 32, с. 192] призначаємо допуски та шорсткість за переходами.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового:

$$Td_1=630 \text{ мкм}, \quad T_{Ra1}=6,3 \text{ мкм}, \quad T_{\Delta 1}=300 \text{ мкм}.$$

$$\varepsilon_{d1} = \frac{3600}{630} = 5,71, \quad \varepsilon_{\Delta 1} = \frac{1500}{300} = 5.$$

2-й перехід - точіння чистове:

$$Td_2=250 \text{ мкм}, \quad T_{Ra2}=3,2 \text{ мкм}, \quad T_{\Delta 2}=100 \text{ мкм}.$$

$$\varepsilon_{d2} = \frac{630}{250} = 2,52, \quad \varepsilon_{\Delta 2} = \frac{300}{100} = 3,0, \quad \varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,97.$$

3-й перехід – шліфування:

$$Td_4=160 \text{ мкм}, \quad T_{Ra4}=3,2 \text{ мкм}, \quad T_{\Delta 4}=40 \text{ мкм}.$$

$$\varepsilon_{d4} = \frac{250}{160} = 1,562, \quad \varepsilon_{\Delta 4} = \frac{100}{40} = 2,5, \quad \varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{2,5} = 1,28.$$

Загальне уточнення:

$$\prod_{i=4}^k \varepsilon d_i = 5,71 \cdot 2,52 \cdot 1,562 = 22,57 \geq \varepsilon d_0$$

До таблиці 1.4 заносимо отримані дані.

Таблиця 1.4 -Маршрут обробки поверхонь

Характер та показники точності та якості поверхонь в деталі та в заготовці	Показники	Уточнення	Кількість переходів k		Різниця показників та ППТК	МОП		Допуск, мм			Уточнення		
			Розрахункові	Приняті		i	Метод обробки	Розміру	Взаємного розташування	Шорсткості Ra	Розміру	Взаємного розташування	Шорсткості Ra
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Зовнішня циліндрична поверхня Ø152 h10 (-0,16); биття - 0,05 мм Ra 3,2 Заготовка Ø156 ^{+2,4} _{-1,2} IT 16 биття - 1,5мм Ra 25	d	22,5	2,73	3	$\nabla_{\text{кв}} = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = IT16 - h10 = 6$ квалітетів $= 3 + 2 + 1$ $IT16 \Rightarrow h13 \Rightarrow (TO) \Rightarrow h11 \Rightarrow h10$ $\Delta_{\text{ст}} = \text{ст.заг} - \text{ст.дет} = \text{ст.16} - \text{ст.10} = 6 = 3 + 2 + 1$ $\text{ст.16} \Rightarrow \text{ст.13} \Rightarrow (TO) \Rightarrow \text{ст.11} \Rightarrow \text{ст.10}$ $Ra\ 25 \Rightarrow Ra\ 6,3 \Rightarrow (TO) \Rightarrow Ra\ 3.2$	1	Заготовка	3,6	1,5	25	-	-	-
	Δ	30				2	Точіння чорнове	0,63	0,3	6,3	5,71	5	3,97
	Ra	7,81				3	Точіння чистове	0,25	0,10	3,2	2,52	3,0	1,97
						4	Термообробка	-	-	-	-	-	-
						5	Шліфування	0,16	0,04	3,2	1,56	2,5	1,28
											22,7	30	10,01

Продовження таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Внутрішня циліндрична поверхня $\varnothing 141 \text{ H7 } (^{+0,03})$; биття - 0,05 мм Ra 3,2 Заготовка Td ₃ =1,4= IT 16 биття - 1,5 мм Ra 25	d	46,4	3,3	3	$\nabla_{\text{кв}} = \text{IT}_{\text{заг}} - \text{IT}_{\text{дет}} = \text{IT}16 - \text{H}7 = 9$ квалітет $= 3 + 3 + 3$ $\text{IT}16 \Rightarrow \text{H}13 \Rightarrow \text{H}10 \Rightarrow (\text{TO}) \Rightarrow \text{H}7$ $\Delta_{\text{ст}} = \text{ст. заг} - \text{ст. дет} = \text{ст. 16} - \text{ст. 7} = 9 =$ $= 3 + 3 + 3$ $\text{ст. 16} \Rightarrow \text{ст. 13} \Rightarrow \text{ст. 10} \Rightarrow (\text{TO}) \Rightarrow \text{ст. 10}$ $\text{Ra } 25 \Rightarrow \text{Ra } 6,3 \Rightarrow \text{Ra } 3,2 \Rightarrow (\text{TO}) \Rightarrow$ $\Rightarrow \text{Ra } 2,5$	1	Заготовка	1,4	1,5	25	-	-	-
	Δ	30				2	Розточування чорнове	0,33	0,4	6,3	4,24	3,75	3,97
	Ra	7,81				3	Розточування чистове	0,13	0,12	3,2	2,53	3,34	1,97
						4	Термообработка	-	-	-	-	-	-
						5	Шліфування	0,03	0,05	3,2	4,33	2,4	1,28

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) - це спільний план операцій, в якому встановлена послідовність операцій техпроцесу, вказані тип і модель верстата, вписане необхідне оснащення, показана установка деталей, вказані необхідні інструкції для робітників, і тому подібне.

Етапний маршрут виготовлення гайки:

- 1) одержання заготівлі;
- 2) механічна обробка - чорнове точення зовнішніх та внутрішніх поверхонь на верстатах з ЧПК;
- 3) слюсарна обробка;
- 4) механічна обробка - свердління отворів;
- 5) слюсарна обробка;
- 6) термообробка;
- 7) механічна обробка - шлифування діаметрів та торців;
- 8) слюсарна обробка;
- 10) контроль.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Аналітичний метод отримання припусків

Обираємо нормативні та розрахункові значення елементів найменших операційних припусків.

Нормативні значення R_z , та h обирають по [1, табл. 12, с. 186]:

$R_z=160$; $h=200$.

Розрахунок сумарного відхилення розміщення поверхні за формулою [3]:

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{км}}^2 + \Delta_y^2} = \sqrt{(\Delta_{\text{к}} \cdot e)^2 + (0,25 + T_{\text{дзар}})^2} \quad (1.14)$$

Для $\emptyset 152_{-0,16}$

де $\Delta_{\text{к}}=0,15$ мкм [1, табл. 18, с. 187];

$e=11$ мм;

$T_{\text{дзар}}=3600$ мкм.

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{(0,15 \cdot 11)^2 + (0,25 \cdot 3600)^2} = 550 \text{ мкм}$$

Після виконання чорнового точіння $\Delta_{\text{εзар}}$ зменшується до значення :

$$\Delta_{\text{ε1}} = K_y \cdot \Delta_{\text{εзар}} \quad (1.15)$$

де K_y - коефіцієнт уточнення.

$$\Delta_{\text{ε1}} = 0,11 \cdot 550 = 60,5 \text{ мкм}$$

Після чистового точіння $\Delta_{\Sigma 2}=0$ [1, табл. 25, с. 188].

Після шліфування $K_y=0,03$ [1, табл. 29, с. 190].

$$\Delta_{\Sigma 3} = 0,03 \cdot 60 = 1,8$$

$$\Delta_{\Sigma 4} = 0$$

Значення похибки установки $\varepsilon=0$ [1, табл. 25, с. 188].

Мінімальні значення припусків для технологічних переходів [3, с. 318]:

$$Z_3^{\text{min}} = 2 \cdot (25 + 25) = 100 \text{ мкм};$$

$$Z_2^{\text{min}} = 2 \cdot (50 + 50 + 60,5) = 321 \text{ мкм};$$

$$Z_1^{\text{min}} = 2 \cdot (160 + 200 + 550) = 1800 \text{ мкм}.$$

Номінальні припуски [3, с. 318]:

$$Z_3^H = 0,1 + 0,4 = 0,5 \text{ мм};$$

$$Z_2^H = 0,32 + 0,63 = 0,95 \text{ мм};$$

$$Z_1^H = 1,8 + 1 = 2,8 \text{ мм}.$$

Виконавчі розміри [3, с. 318]:

$$d_4^H = 152 \text{ мм};$$

$$d_2^H = 152 + 0,5 = 152,5 \text{ мм};$$

$$d_1^H = 152,5 + 0,95 = 153,45 \text{ мм};$$

$$d_{\text{заг}}^H = 153,45 + 2,8 = 156,25 \text{ мм}.$$

Максимальні припуски [3, с. 318]:

$$Z_3^{\text{max}} = 0,5 + 0,16 = 0,66 \text{ мм};$$

$$Z_2^{\text{max}} = 0,95 + 0,25 = 1,2 \text{ мм};$$

$$Z_1^{\text{max}} = 2,8 + 1 = 3,8 \text{ мм}.$$

Зводимо усі розрахунки до таблиці 1.5.

Розрахунок припусків табличним методом

Припуск призначається на кожену поверхню деталі, яка обробляється.

Загальним припуском Z_0 на обробку зветься шар матеріалу, знімаємий з поверхні вихідної заготовки під час процесу механічної обробки.

Операційний припуск Z_i - це шар матеріалу, знімаємий з заготовки при виконанні однієї технологічної операції. Якщо операція складається з декількох технологічних переходів то необхідно розрахувати припуски Z_{ji} , які знімаються на кожному j -му технологічному переході i -ї операції, при цьому [1]:

$$Z_i = \sum_{j=1}^k Z_{ji}, \quad (1.16)$$

де k - загальна кількість технологічних переходів для обробки поверхні на i -ї операції.

Операційний припуск може приймати значення :

- 1) -номінальне Z_i^H ,
- 2) -мінімальне Z_i^{min} ,
- 3) -максимальне Z_i^{max} .

Значення Z_i^{min} задаються у нормативних таблицях. При відомих Z_i^{min} можливо розрахувати [4]:

$$Z_i^H = Z_i^{min} + Td_{i-1}, \quad (1.17)$$

$$Z_i^{max} = Z_i^H + Td_i, \quad (1.18)$$

де Td_i та Td_{i-1} - відповідно технологічні допуски, які забезпечуються на даній та попередніх операціях.

Розрахунок слід починати з останньої операції , на якій забезпечується розмір, проставлений для розглядаємої поверхні на робочому кресленні деталі.

Для внутрішніх циліндричних поверхонь:

$$D_{i-1} = D_i + Z_{i-1}^H, \quad (1.19)$$

Вірність проведення розрахунків перевіряється за формулами:

$$Z_i^{max} - Z_i^{min} = Td_{i-1} + Td_i, \quad (1.20)$$

$$d_{заг}^H - d_{дет} = Z_0^H. \quad (1.21)$$

Якщо перевірка показала вірність розрахунків, то розміри необхідно вказати, округлив їх номінальні значення до того знаку після коми, з котрим вказані на них граничні відхилення.

Поверхня : $\varnothing 141^{+0,03}$

Встановлюємо значення мінімальних припусків [4]:

$$Z_1^{min} = 2,2\text{мм}; Z_2^{min} = 0,25\text{ мм}; Z_3^{min} = 0,2\text{мм}.$$

Розраховуємо значення номінальних припусків за формулою (1.16)

При розрахунку Z_i^H замість $TD_{заг}$ узяти $es_{заг}=2,4$.

$$Z_1^H = 2,2 + 2,4 = 4,6\text{ мм}$$

$$Z_2^H = 0,25 + 0,33 = 0,58\text{ мм}$$

$$Z_3^H = 0,2 + 0,13 = 0,33\text{ мм}$$

Отримані значення заносимо до таблиці 1.5.

Розраховуємо номінальні значення розмірів для кожної операції і для вихідної заготовки:

$$D_{2H} = D_{3H} - TD_3 - Z_3^H$$

$$D_{2H} = 141 - 0,03 - 0,33 = 140,64\text{ мм}$$

Згідно формули (1.19):

$$D_{1H} = 140,64 - 0,58 = 140,06\text{ мм}$$

$$D_{загH} = 140,06 - 4,6 = 135,46\text{ мм}$$

Розраховуємо максимальне значення операційних припусків за формулою:

$$Z_1^{max} = Z_1^H + ei_{заг} + TD_1$$

$$Z_1^{max} = 4,6 + 1,2 + 0,33 = 6,13 \text{ мм}$$

По формулі (1.20) :

$$Z_2^{max} = 0,58 + 0,13 = 0,71 \text{ мм}$$

$$Z_3^{max} = 0,33 + 0,03 = 0,36 \text{ мм}$$

Перевіряємо правильність розрахунків за формулою (1.21):

$$0,71 - 0,25 = 0,33 + 0,13$$

$$0,46 = 0,46$$

Усі розрахунки заносимо до табл. 1.5.

Таблиця 1.5 - Призначення припусків та розрахунок технологічних розмірів

N	Перехід (операція)	$\phi 152_{-0,16}^{\quad}, \text{ мкм}$				Номінальний припуск Z_i^H , мкм	Допуск Td_i , мм	Розрахунковий номінальний розмір, мм	$2 Z_{\min}$, мм	$2 Z_{\max}$, мм	Виконавчий розмір, $d_{\text{ном}}$, мм
		Rz_{i-1}	h_{i-1}	Δ_{i-1}	ε_i						
1	Заготовка	160	200	550	-		3,6	156,25			$156_{-1,2}^{+2,4}$
2	Чернове точіння	50	50	60,5	-	2800	0,95	153,45	1,8	3,8	$153,4_{-0,95}$
3	Чистове точіння	25	25	-	-	950	0,5	152,5	0,321	1,2	$152,5_{-0,5}$
4	Шліфування чорн	10	20	-	-	500	0,16	152	0,1	0,66	$152_{-0,16}$
	$\phi 141_{+0,03}^{\quad}$										
1	Заготовка					-	3,6	135,46	-		$135_{-1,2}^{+2,4}$
2	Чернове точіння					4600	0,33	140,06	2,2	6,13	$140_{+0,33}^{\quad}$
3	Чистове точіння					580	0,13	140,64	0,25	0,71	$140,6_{+0,13}^{\quad}$
4	Шліфування чорн					330	0,03	141	0,2	0,36	$141_{+0,03}^{\quad}$

1.6 Розрахунок режимів різання

Операція 020 - Токарна

Верстат - Лунх - 300М.

Обробити зовнішні поверхні в розмір 1, 2, 3, 4 (рис. 1.4).

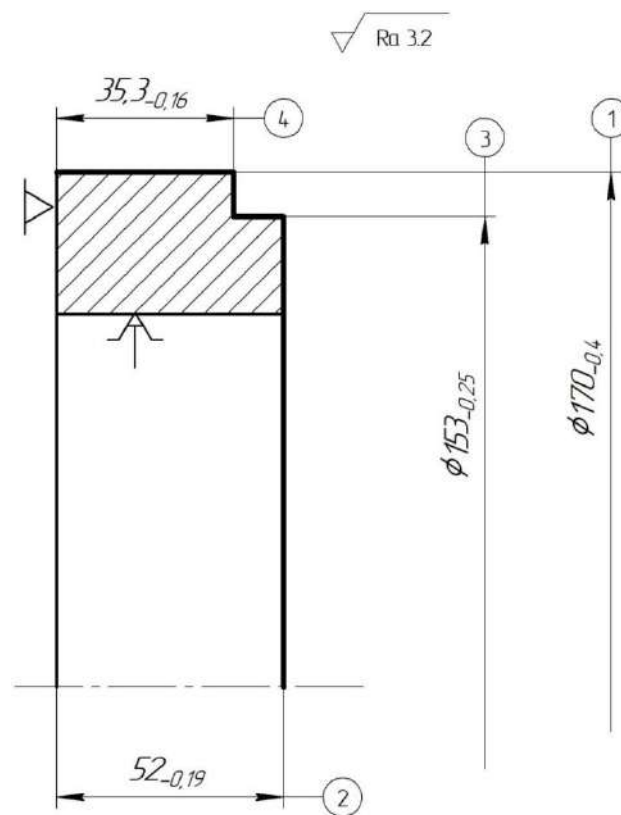


Рисунок 1.4 - Операційний ескіз до операції 020 - Токарна

Інструмент:

1) Різець підрізний 2112-0062, 25 x 20 x 140, T15K6, R=0,8 мм, ГОСТ 18880-83;

2) Різець прохідний упорний 2103-1132, 25 x 25 x 140, T15K6, R=0,8 мм, ГОСТ 18879-83.

Глибина різання для чорнового точіння $t_{\text{чорн}}=1$ мм.

Призначаємо подачу [2, табл. 11, с. 266]:

$S_{\text{нчерн}}=0,8-1,3$ мм/об. Нормативне значення за паспортом верстата призначаємо $S=0,8$ мм/об.

Швидкість різання по [2, с. 265]:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (1.16)$$

де T - середнє значення стійкості інструменту, $T=60$ хв [2, табл. 17, с. 269];

C_v - коефіцієнт, $C_v=350$ [2, табл. 17, с. 269];

x - показник ступеня подачі, $x=0,15$ [2, табл. 17, с. 269];

y - показник ступеня подачі, $y=0,35$ [2, табл. 17, с. 269];

m - показник ступеня стійкості інструменту, $m=0,20$ [2, табл. 17, с. 269].

$$K_v = K_{MV} \cdot K_{PM} \cdot K_{UV} \cdot K_{TU} \cdot K_{TC} \cdot K_r \quad (1.17)$$

де K_{MV} - коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу заготівлі, $K_{MV}=0,88$ [2, табл. 1, с. 261];

$$K_{MV} = K_r \left(\frac{750}{\delta_B} \right)^{n^v} \quad (1.18)$$

де K_r - коефіцієнт, що характеризує групу сталі по оброблюваності, $K_r=1$ [2, табл. 2, с. 262];

n^v - показник ступеня, $n^v=1,75$ [2, табл. 2, с. 262];

$$K_{MV} = 1 \cdot \left(\frac{750}{930} \right)^{1.75} = 0,68$$

де K_{nv} - коефіцієнт, що враховує злиття стану поверхні, $K_{nv}=1$ [2, табл. 5, с.263];

K_{uv} - коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу та інструменту, $K_{uv}=1,15$ [2, табл. 6, с. 263];

K_{mk} - коефіцієнт зміни переходу стійкості залежно від числа одночасно працюючих інструментів, $K_{mk}=1$ [2, табл. 7, с. 269];

K_{mc} - коефіцієнт зміни переходу стійкості залежно від числа верстатів, що обслуговуються одночасно, $K_{mc}=1$ [2, табл. 8, с. 264];

$K_{\varphi v}$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута у плані, $K_{\varphi v}=1,0$ [2, табл. 17, с. 269];

$K_{\varphi v}=0,97$ - коефіцієнт, що враховує вплив кута у плані, $K_{\varphi v}=0,94$ [2, табл. 17, с. 269].

$$K_v=0,68 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 0,94 \cdot 0,67=0,5$$

$$V_{\text{черн}} = \frac{350}{60^{0,2} \cdot 1^{0,15} \cdot 0,8^{0,35}} \cdot 0,5 = 83,73 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.19)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 83,73}{3,14 \cdot 153} = 174,3 \text{ об/хв}$$

.

Розрахункову частоту обертання узгоджуємо та приймаємо за паспортом верстата $n_{\text{пр}}=180$ об/хв

Знаходимо дійсну швидкість різання за формулою:

$$V_d = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}, \quad (1.20)$$

$$V_{д1} = \frac{3,14 \cdot 153 \cdot 180}{1000} = 86,5 \text{ м/хв}$$

$$V_{д2} = \frac{3,14 \cdot 170 \cdot 180}{1000} = 96 \text{ м/хв}$$

Машинний час визначається за формулою [4, с. 300]:

$$t_M = \frac{L_{px}}{S_0 \cdot n}, \quad (1.21)$$

де L_{px} - довжина робочого ходу, мм;

S_0 - подача, мм/об;

n - частота обертання шпінделя, хв⁻¹.

$$t_{M1} = \frac{6,5}{0,8 \cdot 180} = 0,4 \text{ хв.}$$

Сила різання визначається за формулою [2, с. 271]:

$$P_Z = 10 \cdot C_P \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_P, \quad (1.22)$$

де C_P по [2, табл. 22, стр. 273].

K_P - поправочний показник, про вплив якості обробки матеріалу на силові залежності. [2, табл.9, стр.264]. Визначається за формулою:

$$K_P = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n, \quad (1.23)$$

$$K_P = \left(\frac{930}{750} \right)^{0,75} = 1,17$$

$$P_Z = 10 \cdot 300 \cdot 1^{1,0} \cdot 0,8^{0,75} \cdot 86,5^{-0,15} \cdot 1,17 = 1504 \text{ Н}$$

Потужність різання визначається за формулою [2, с. 270]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} , \quad (1.24)$$

де P_z - сила різання, Н

V - швидкість різання, м/хв.

$$N = \frac{1504 \cdot 86,5}{1020 \cdot 60} = 2,12 \leq 30 \text{ кВт.}$$

що не перевищує потужності електродвигуна верстата.

Операція 050 (рис.1.5) - Свердлильна.

Обладнання: Оброблюючий центр VX-4.

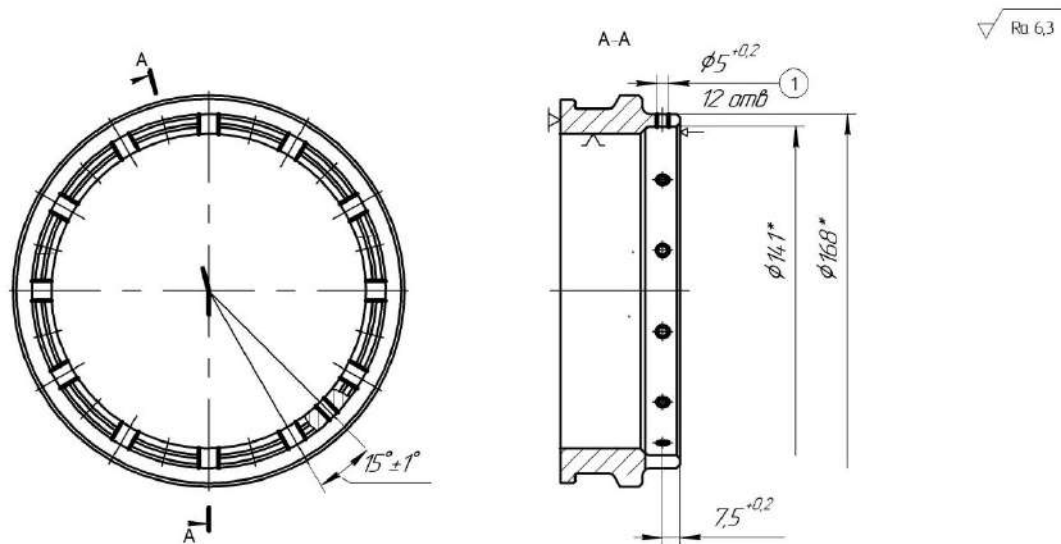


Рисунок 1.5 - Операційний ескіз до свердлильної операції 050

Інструмент:

1) центровка Ø 2 мм (2317-0104) ГОСТ 14592-75, матеріал Р6М5

2) свердло спіральне D=5 мм (2300-6574) ГОСТ 10902-77, матеріал Р6М5, стійкість свердла T=15 хв [7, табл. 30, с. 229].

Розрахунки ведемо для розсвердління отвору, режими різання для центрування наведені в табл. 1.7.

Глибина різання для свердління [2, с. 276]:

$$t=1,5 \text{ мм}$$

Обираємо подачу [2, табл. 25, с. 277]:

$$S_0=0,1 \text{ мм/об.}$$

Визначаємо швидкість різання [2, с. 276]:

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^{m \cdot t^x \cdot S_y}} \cdot K_v, \quad (1.26)$$

де T - середнє значення стійкості інструменту, T=15 хв [2, табл. 30, с. 279];

C_v - коефіцієнт, C_v=16,2 [2, табл. 29, с. 279];

x - показник ступеня подачі, x=0,2 [2, табл. 29, с. 279];

y - показник ступеня подачі, y=0,5 [2, табл. 29, с. 279];

q- показник ступеня подачі, q=0,4 [2, табл. 29, с. 279];

m - показник ступеня стійкості інструменту, m=0,20 [2, табл. 29, с. 279].

K_v - узагальнений швидкісний коефіцієнт.

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv} \quad (1.27)$$

де K_{vm} - коефіцієнт оброблюваності матеріалу, K_{vm}=0,525 [2, табл. 1, с. 261];

K_{vl} - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту, K_{vl}=1, [2, табл. 6, с. 266];

K_{vl} - коефіцієнт, що враховує довжину отвору, K_{vl}=1,0, [2, табл. 31, с. 280];

$$K_v=0,525 \cdot 1 \cdot 1=0,525$$

$$V = \frac{16,2 \cdot 5^{0,4}}{15^{0,2} \cdot 1,5^{0,2} \cdot 0,1^{0,5}} \cdot 0,525 = 27,56 \frac{\text{м}}{\text{хв.}}$$

Визначаємо частоту обертання шпинделя згідно формули (1.19):

$$n = \frac{1000 \cdot 27,56}{3,14 \cdot 5} = 1755 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо по паспорту $n=1755 \text{ хв}^{-1}$.

Дійсна швидкість різання за формулою (3.6):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 1755 \cdot 5}{1000} = 27,55 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Розраховуємо машинний час для обробки отвору за формулою (1.20):

$$t_M = \frac{13,5}{0,1 \cdot 1755} 12 = 0,92 \text{ хв.}$$

Таблиця 1.7 – Режими різання для свердлильної операції

	t	S _o	n	V	t _m
Центрування	1	0,07	3930	24,68	0,59
Свердлування	1,5	0,1	1755	27,55	0,92

$\Sigma=1,51 \text{ хв}$

Розраховуємо крутний момент за формулою [2, с. 277]:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P, \quad (1.28)$$

де коефіцієнт C_M та показники ступеня у формулі вибираємо за [2, табл. 32, с. 281].

K_P - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості обробки матеріалу на силові залежності. [2, табл. 9, с. 264], визначаємо за формулою (1.23):

$$K_P = \left[\frac{930}{750} \right]^{0,75} = 1,42.$$

$$M_{KP} = 10 \cdot 0,041 \cdot 5^{2,0} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,42 = 0,077 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Розраховуємо осьову силу різання визначаємо за формулою [2, с. 270]:

$$P_0 = 10 \cdot C_P \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.30)$$

де коефіцієнт C_P та показники ступеня у формулі вибираємо за [2, табл. 32, с. 281].

$$P_0 = 10 \cdot 143 \cdot 5^{1,0} \cdot 0,1^{0,7} \cdot 1,42 = 269,9 \text{ Н}.$$

Розраховуємо потужність різання за формулою (1.24):

$$N = \frac{0,077 \cdot 3400}{9750} = 0,023 \leq 5,5 \text{ кВт.}$$

- що не перевищує потужності електродвигуна верстата.

$$t_o = 1,51 \text{ хв.}$$

Операція 060 (рис. 1.6) - Фрезерна з ЧПК.

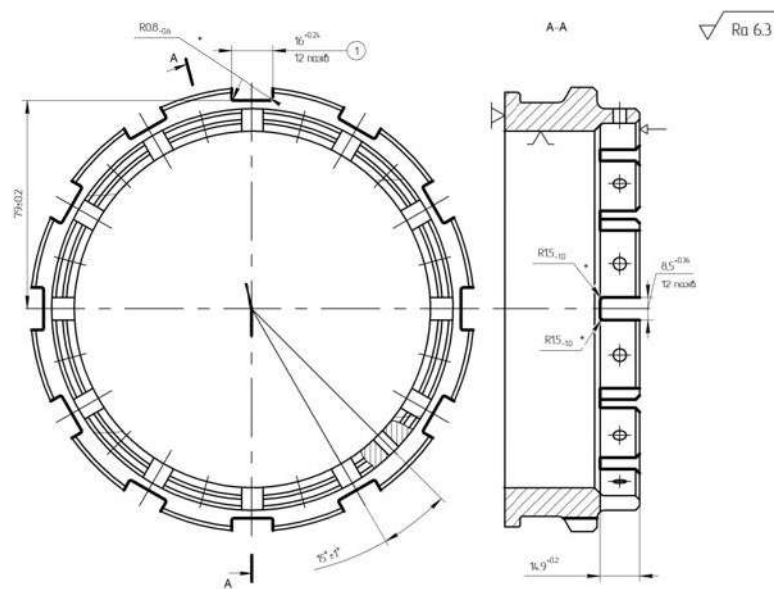


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз фрезерної операції 060

Верстат- Оброблюючий центр VX-4.

Фреза кінцева Ø 8, z=4, ГОСТ 17025-71

Глибина різання:

$t=1,5$ мм - 4 проходи;

Подача на один зуб [2, табл. 35, с. 284]:

$S_z=0,03$ мм .

Розраховуємо швидкість різання за формулою [2] :

$$V = \frac{C_v \cdot D^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_y \cdot B_n \cdot z^p} \cdot K_v, \quad (1.31)$$

де T - середнє значення стійкості інструменту, $T=80$ хв [2, табл. 40, с. 290];

C_v - коефіцієнт, $C_v=46,7$ [2, табл. 39, с. 287];

x - показник ступеня подачі, $x=0,5$ [2, табл. 39, с. 287];

y - показник ступеня подачі, $y=0,5$ [2, табл. 39, с. 287];

q - показник ступеня подачі, $q=0,45$ [2, табл. 39, с. 287];

z - кількість зуб'їв, $z=4$;

p - показник ступеня подачі, $p=0,1$ [2, табл. 39, с. 287]

m - показник ступеня стійкості інструменту, $m=0,33$ [2, табл.39, с. 287].

K_v - узагальнений швидкісний коефіцієнт.

$$K_v = K_{vm} \cdot K_{nv} \cdot K_{lv} \quad (1.32)$$

де K_{vm} - коефіцієнт оброблюваності матеріалу, $K_{vm}=0,525$ [2, табл. 1, с. 261];

K_{vl} - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу інструменту, $K_{vl}=1,0$ [2, табл. 6, с. 266];

K_{vn} - коефіцієнт, що враховує стан поверхні, $K_{vn}=1,0$, [2, табл. 5, с. 268];

$$K_v = 0,525 \cdot 1 \cdot 1 = 0,525.$$

$$V = \frac{46,7 \cdot 8^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 1,5^{0,5} \cdot 0,03^{0,5} \cdot 4^{0,1}} \cdot 0,525 = 62,49 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Розраховуємо швидкість обертання шпинделя за формулою (1.19):

$$n = \frac{1000 \cdot 62,49}{3,14 \cdot 8} = 2487 \frac{\text{об}}{\text{хв}}.$$

Корегуємо за паспортом верстата $n_d=2500$ об/хв.

Знаходимо дійсну швидкість різання за формулою (1.20) :

$$V = \frac{3,14 \cdot 8 \cdot 2500}{1000} = 62,8 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

Розраховуємо машинний час для обробки за формулою (1.21):

$$t_M = \frac{10054,6}{0,03 \cdot 2500} = 35,2 \text{ хв.}$$

1.7 Технічне нормування операцій

Норма штучно-калькуляційного часу у серійному виробництві визначається за формулою :

$$T_{ш.к.} = T_{ш.п.} + \frac{T_{п.з}}{n}, \quad (1.31)$$

де $T_{п.з}$ - підготовчо-заключний час, [5, к. 60, с. 301];

n - кількість деталей у настроювальній партії, $n=100$ шт;

$T_{ш.п.}$ - штучний час, час виготовлення однієї деталі.

Операція 020 Токарна

Машинний час роботи верстата: $t_M=1,3$ хв.

Оперативно-допоміжний час обчислюємо за формулою:

$$T_{\text{доп}} = T_{\text{вст}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{контр}}, \quad (1.32)$$

де $T_{\text{вст}}$ - допоміжний час, пов'язаний із встановленням, зняттям деталі;

$T_{\text{пер}}$ - допоміжний час пов'язаний з переходом;

$T_{\text{контр}}$ - допоміжний час на контрольні виміри.

$$T_{\text{вст}} = 0,18 + 0,06 = 0,24 \text{ хв} \quad [8, \text{ карта } 10];$$

$$T_{\text{пер}} = 0,13 + 0,13 + 0,13 = 0,39 \text{ хв} \quad [8, \text{ табл. } 1.13];$$

$$T_{\text{контр}} = 0,1 + 0,075 \cdot 3 = 0,325 \text{ хв} \quad [8, \text{ карта } 76].$$

$$T_{\text{доп}} = 0,24 + 0,39 + 0,325 = 0,955 \text{ хв.}$$

Штучний час згідно формулі:

$$T_{\text{шт}} = (T_o + T_B) \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{обсл}}}{100} \right) \quad (1.33)$$

де $a_{\text{тех}}$, $a_{\text{орг}}$, $a_{\text{обсл}}$ - час на технічне, організаційне обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби робітника [8].

$$T_{\text{шт}} = (1,3 + 0,955) \cdot (1 + (10/100)) = 4,09 \text{ хв.}$$

Штучно-калькуляційний час за формулою:

$$T_{\text{шт.к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} \quad (1.34)$$

де $T_{\text{пз}}$ - підготовчо-заклучний час на налаштування операції;

n - кількість деталей у партії, що запускається.

Підготовчо-заклучний час:

$$T = 25 \text{ хв} \quad [8, \text{ карта } 10].$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.34):

$$T_{\text{шт.к}} = 4,09 + \frac{25}{100} = 4,34 \text{ хв.}$$

Операція 060 Фрезерна.

Машинний час:

$$t_M = 35,2 \text{ хв.}$$

Операційно-допоміжний час за формулою (1.32):

$$T_B = (0,18 + 0,26 + 0,426) \cdot 8 = 5,196 \text{ хв.},$$

де $T_{вст} = 0,02 + 0,16 = 0,18 \text{ хв.}$ [5, карта 10];

$$T_{пер} = 0,03 + 0,2 + 0,03 = 0,26 \text{ хв.}, [3, \text{табл. 1.13}];$$

$$T_{контр} = 0,12 + 0,12 + 0,12 + 0,066 = 0,426 \text{ хв.}, [5, \text{карта 76}].$$

Штучний час за формулою (1.33):

$$T_{шт} = (35,2 + 5,196)(1 + (10/100)) = 44,43 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:

$$T_{пз} = 35 \text{ хв.} [8, \text{карта 10}].$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.34):

$$T_{шт.к} = 44,43 + \frac{25}{100} = 44,68 \text{ хв.}$$

Операція 050 Свердлильна.

Машинний час:

$$t_M = 1,51 \text{ хв.}$$

Оперативно-допоміжний час за формулою (1.32):

$$T_{дон} = 0,34 + 0,491 + 0,12 = 0,971 \text{ хв}$$

де $T_{уст} = 0,06 \cdot 4 + 0,16 = 0,34 \text{ хв.}$ [8, карта 10].

$$T_{пер} = 0,13 + 0,13 + 0,077 \cdot 3 = 0,491 \text{ хв.}, [8, \text{табл. 1.13}]$$

$$T_{контр} = 0,12 \text{ хв.}, [8, \text{карта 76}].$$

Штучний час за формулою (1.33):

$$T_{шт} = (1,51 + 0,971)(1 + (10/100)) = 4,29 \text{ хв.}$$

Підготовчо-заклучний час:

$$T = 28 \text{ хв [8, карта 10].}$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.34):

$$T_{шт.к} = 4,29 + \frac{25}{100} = 4,54 \text{ хв.}$$

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції

Розробка операції виконується у програмному комплексі Siemens NX.

Орієнтація та вибір інструменту представлена на рис. 1.6.

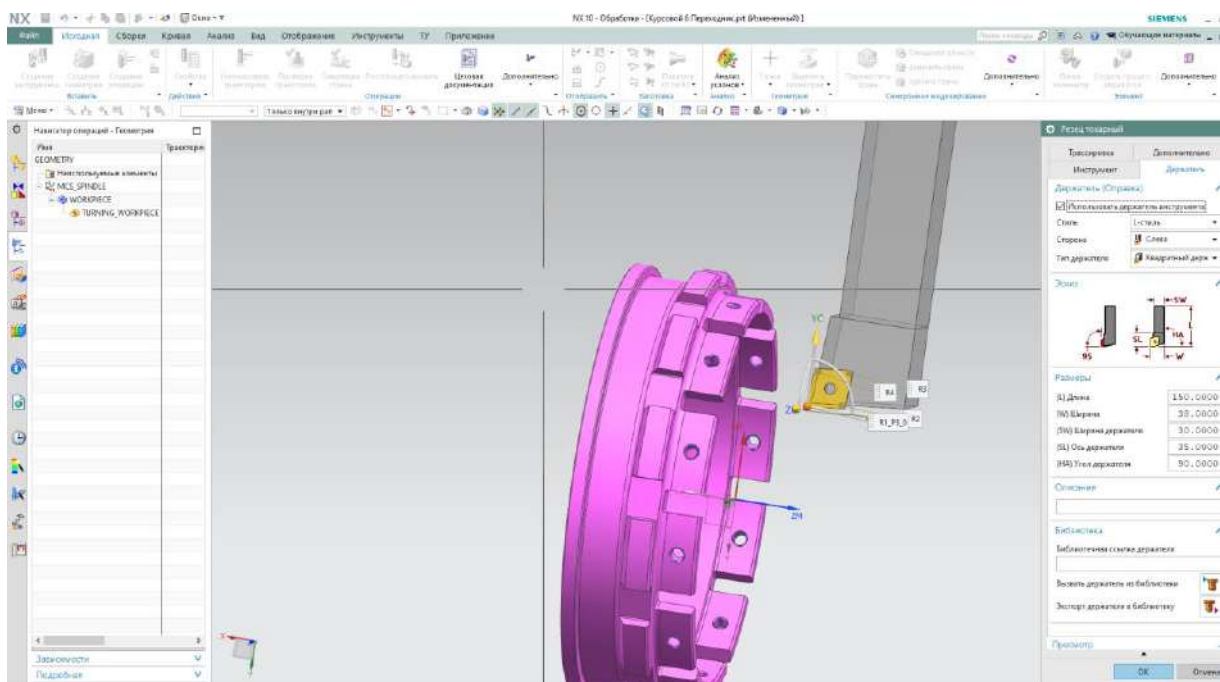


Рисунок 1.6 - Орієнтація інструменту на токарній операції перехід1

Траєкторія руху представлена на рис. 1.7.

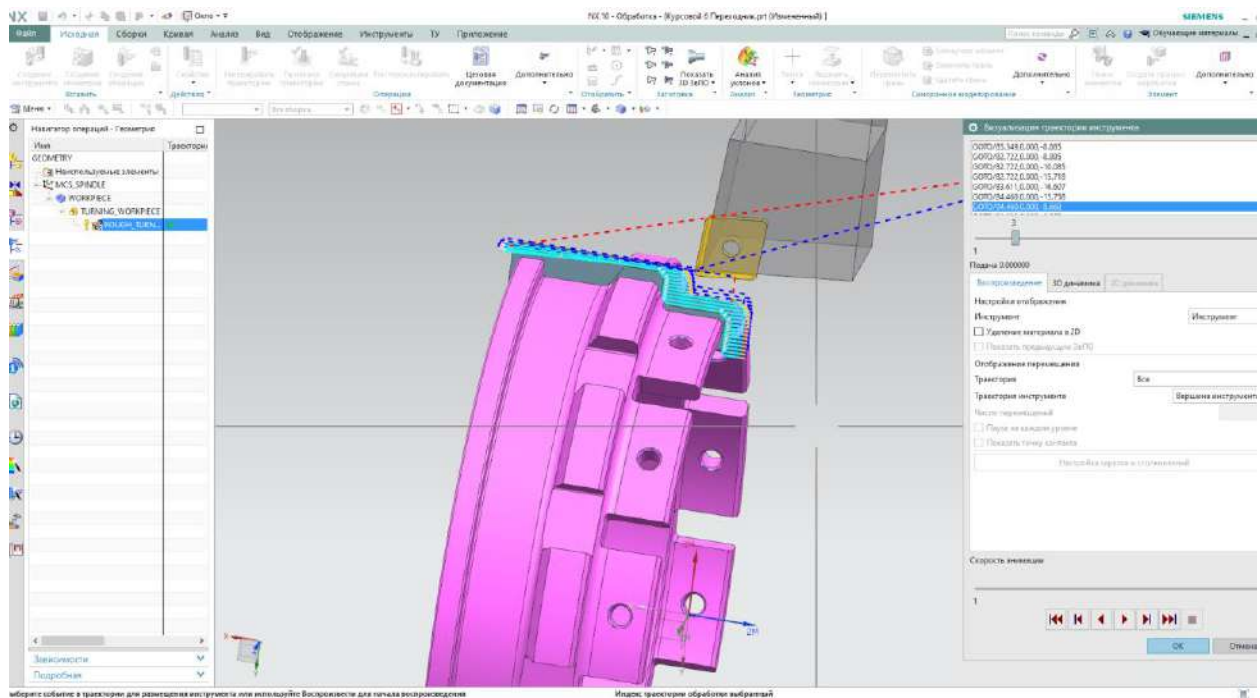


Рисунок 1.7 - Траєкторія руху різця

Деталь після токарної операції представлена на рис. 1.8.

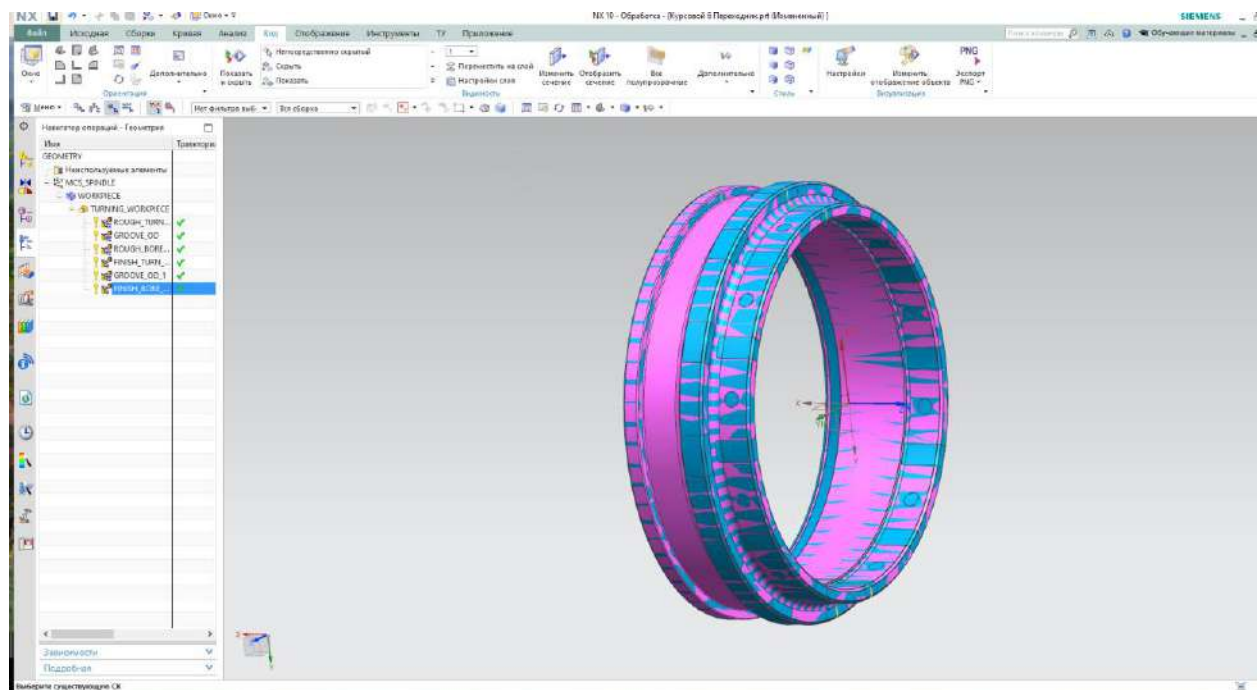


Рисунок 1.8 - Деталь після токарної операції

Керуюча програма представлена на рис. 1.9

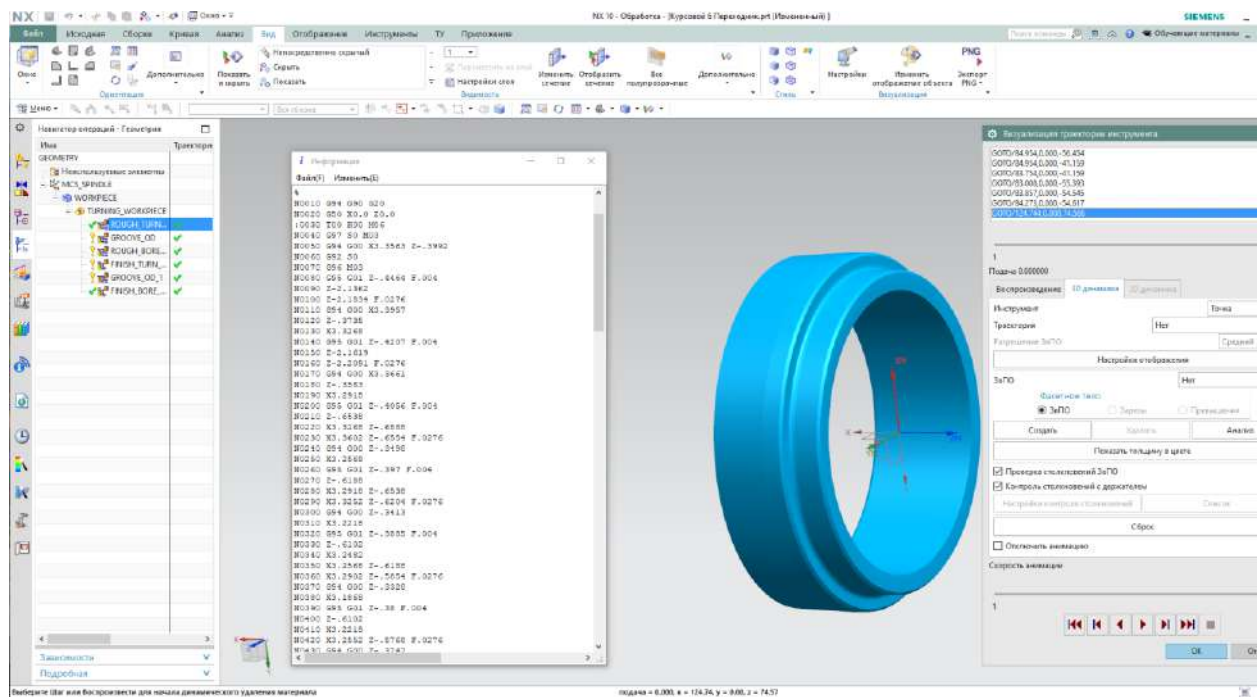


Рисунок 1.9 - Керуюча програма

1.8.2 Розробка свердлильної операції за допомогою модуля NX CAM

Розробка операції представлена на рис. 1.10 - 1.13.

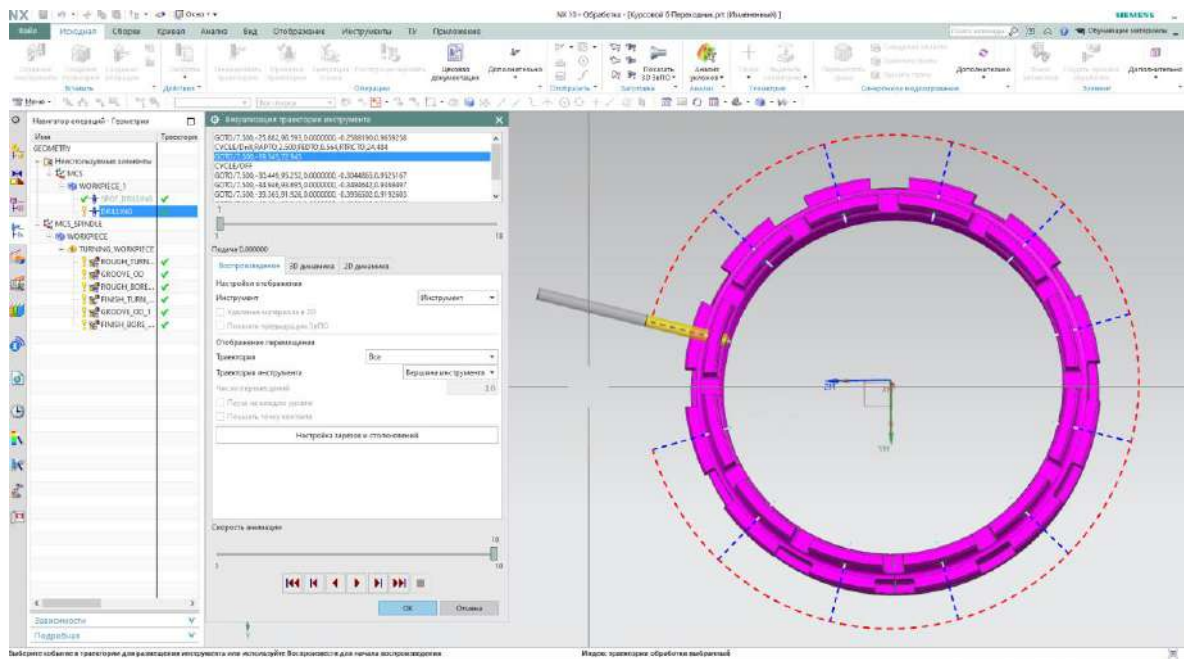


Рисунок 1.12 - Траектория

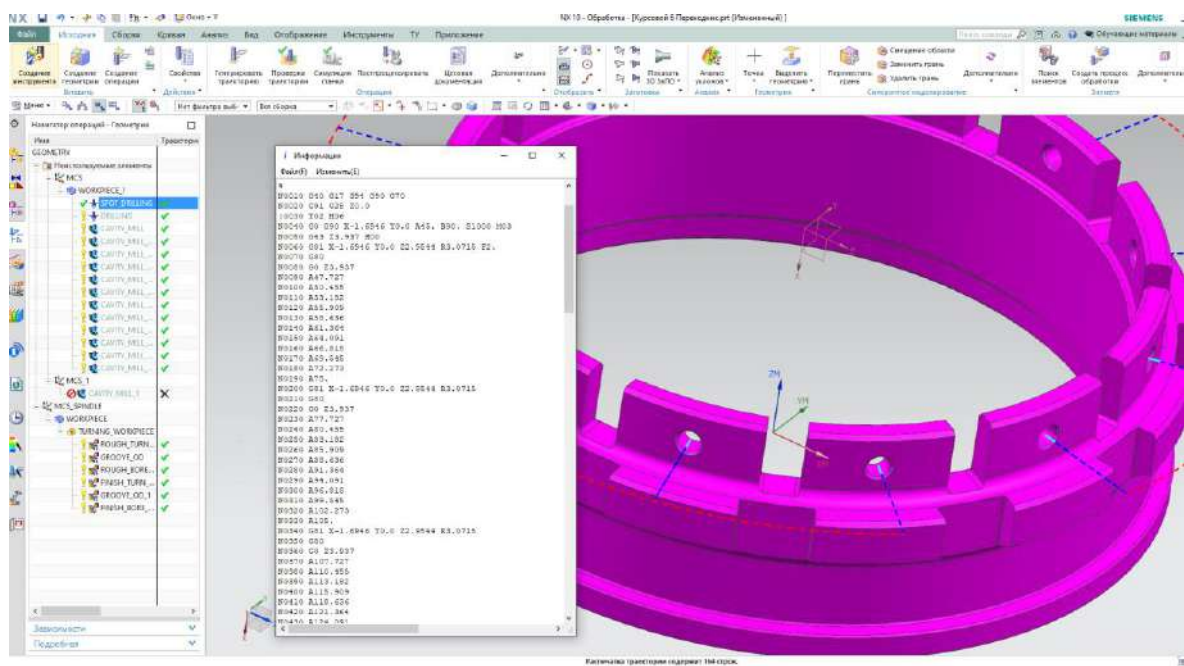


Рисунок 1.13 - Керующая программа

1.8.3 Розробка фрезерної операції за допомогою модуля NXCAM

Розробка операції представлена на рис. 1.14 - 1.16

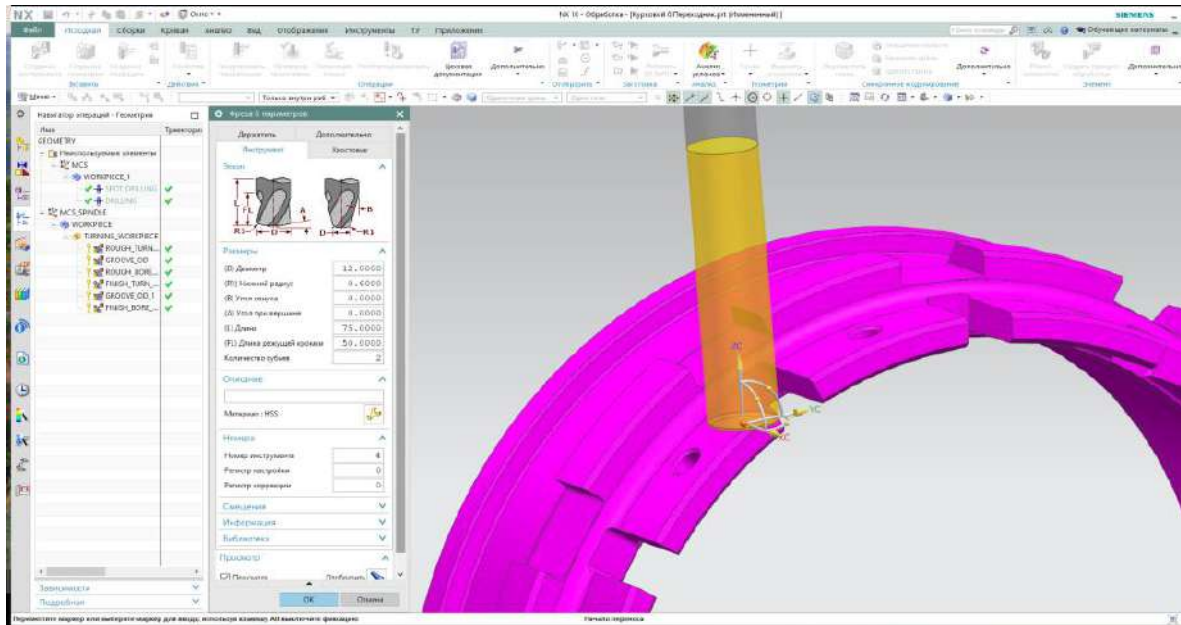


Рисунок 1.14 - Орієнтація інструменту на фрезерній операції в NXCAM

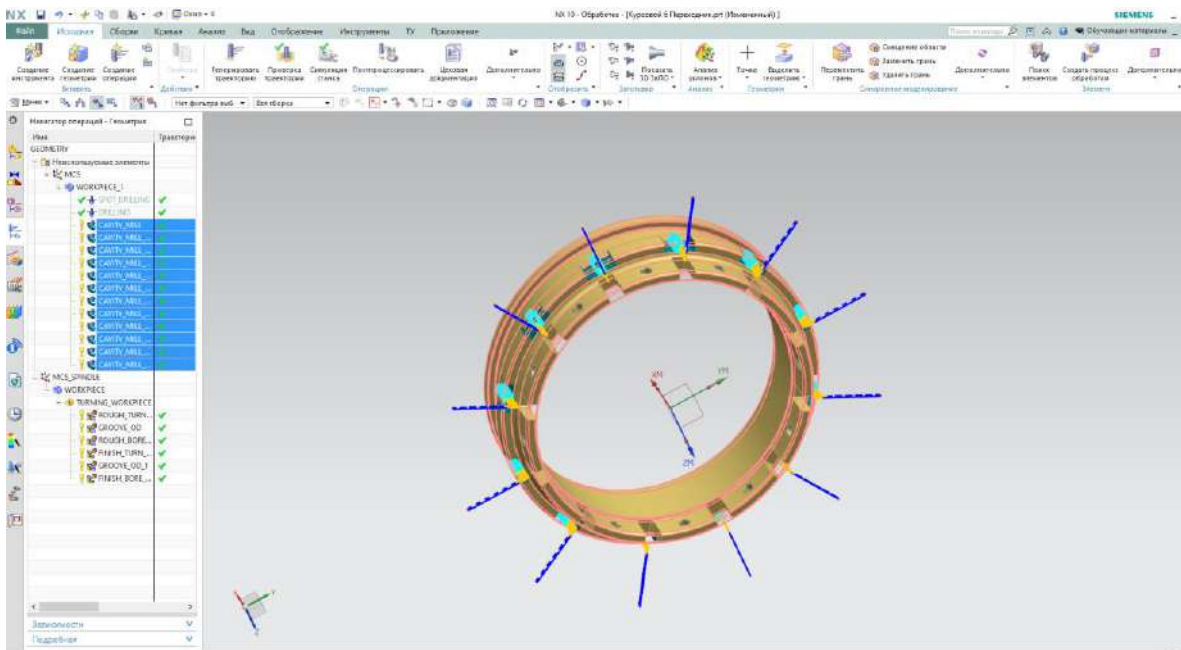


Рисунок 1.15 - Траєкторія в модулі NXCAM

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

Пристроями в машинобудуванні називають додаткові пристрої до технологічного обладнання, що застосовуються під час виконання технологічних операцій (обробка заготовок, збирання виробів, контроль). За рахунок використання пристроїв усувається необхідність розмітки заготовок, розширюються технологічні можливості металообробного обладнання, зростає продуктивність праці, підвищуються точність обробки та якість виробів. Забезпечується можливість багатOVERSTATного обслуговування, застосування прогресивних норм часу, зниження потрібної кваліфікації та чисельності робітників, створюються умови для механізації та автоматизації процесів виробництва, знижується собівартість продукції, покращуються умови безпеки праці.[9]

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Мембранний пристрій відноситься до центруючих затискачів і застосовується для встановлення заготовки по зовнішній циліндричній поверхні. Воно складається з круглої, що пригвинчується до планшайби 1 верстата пластини (мембрани) 3 та симетрично розташованими виступами - кулачками (12 шт.). У середині шпинделя верстата проходить шток пневмоциліндра 6, при включенні якого шток, рухаючись вперед, прогинає пластину, розсовуючи її кулачки. При відході штока назад пластина, прагнучи повернутись у вихідне положення, стискає своїми кулачками заготовку. Затискач оброблюваної деталі здійснюється за рахунок пружної

деформації мембрани 3. За допомогою гайки 5, яка з'єднується зі стійкою 4, згинаємо мембрану 2, створюючи мінімальний гарантований зазор між заготівлею і центруючим діаметром мембрани $\varnothing 192$. Заготівля упирається до пальця 12. Вся система змонтована на планшайбі 1, яка виставляється з високою точністю щодо шпинделя верстата по поверхні А і кріпиться до планшайби за допомогою гвинтів М10[9].

Матеріал пластини - сталь 30 ХГС, твердістю HRC 40...45. Мембранний пристрій забезпечує точність центрування 0,003-0,005 мм, для чого кулачки мембрани шліфуються в закріпленому стані. Ескіз мембранного пристрою показаний на рис. 2.1. [9, с. 279]

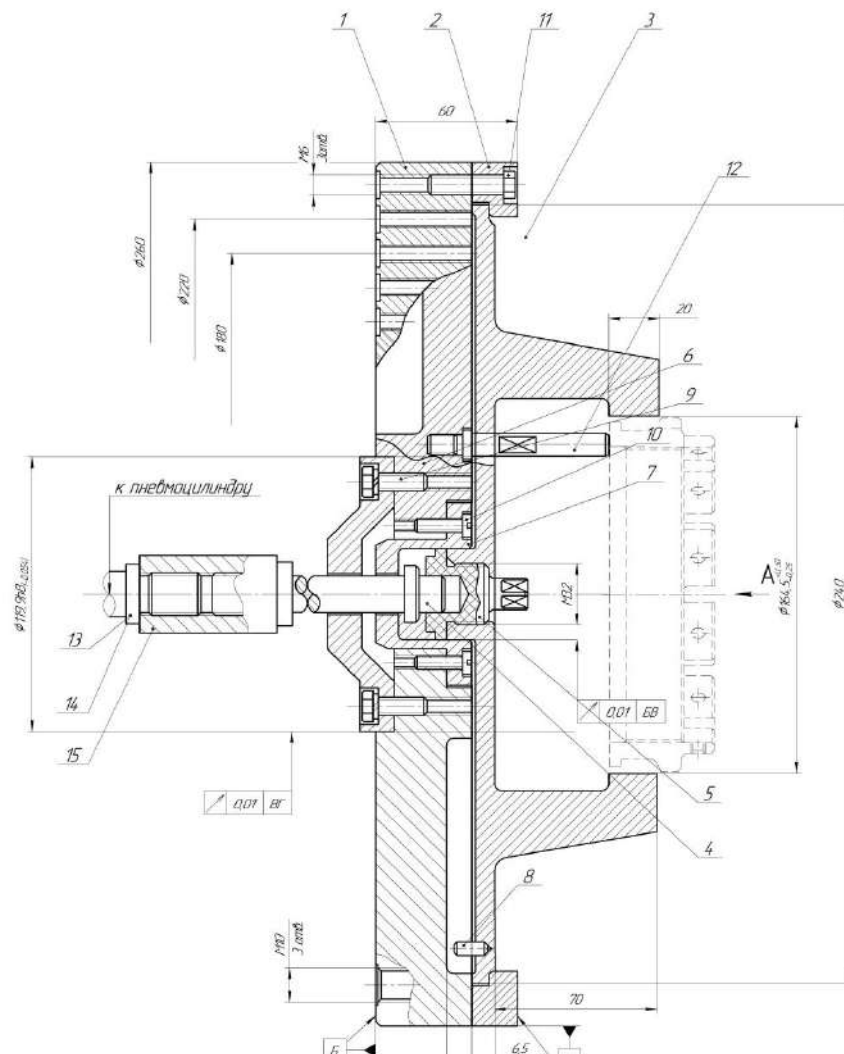


Рисунок 2.1 - Ескіз мембранного пристосування

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Похибка встановлення заготовки в мембранному пристосуванні визначається за формулою [9, с. 30]:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_6^2 + \varepsilon_3^2 + \Delta_{\text{пр}}^2} \quad (2.1)$$

де ε_6 - похибка базування заготовки у пристосуванні, [9] ;

ε_3 - похибка закріплення заготовки, що виникає внаслідок дії сил затиску [9];

$\Delta_{\text{пр}}$ - похибка розташування заготовки, залежна від пристосування [9];

$$\Delta_{\text{пр}} = \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{вст}} + \varepsilon_{\text{зн}} \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_{\text{пр}}$ - охибка виготовлення пристосування за вибраним параметром, що залежить від похибок виготовлення та збирання настановних та інших елементів пристосування [9];

$\varepsilon_{\text{вст}}$ - похибка встановлення пристосування на верстаті [9];

$\varepsilon_{\text{зн}}$ - похибка положення заготівлі, що виникає в результаті зношування елементів пристосування [9].

Похибка базування є відхилення фактичного положення заготовки від необхідного і дорівнює відстані між граничними положеннями проекцій вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру.[9]

Похибка закріплення заготовки є різницею найбільшої і найменшої проекцій зміщення вимірювальної бази на напрямок виконуваного розміру при додатку до заготовки сили закріплення.

У мембранному пристрої при сталевих кулачках (посадка без зазору) похибка базування дорівнює половині допуску на діаметр заготовки [9]:

$$\varepsilon_6 = \delta/2 = 0,185/2 = 0,09 \text{ мм.}$$

Похибка закріплення по [9, табл. 4.4, с. 47]: $\varepsilon_3 = 0,09 \text{ мм.}$

Похибка положення заготовки $\Delta_{\text{пр}} = 0,005 \text{ мм}$ забезпечується за рахунок шліфування кулачків мембрани у складальній одиниці [9, табл. 5.1, с. 57].

Тоді, максимальна похибка установки заготовки в мембранному пристрої за формулою (2.1):

$$\varepsilon = \sqrt{0,09^2 + 0,09^2 + 0,005^2} = 0,13 \text{ мм.}$$

Реальна похибка встановлення завжди менше чи дорівнює максимальній, тому, що реальне $\varepsilon_{\text{б.р.}}$ менше розрахункового ε_6 за рахунок того, що дійсний розмір лежить у полі допуску на діаметр, отже реальний допуск на діаметр δ_r менше, або дорівнює розрахунковому δ .

При обробці деталі у пристосуванні повинна дотримуватися умови точності [9, с. 98] :

$$T_{\text{обр}} \geq \sum \varepsilon_i .$$

де:

$$\sum \varepsilon_i = \varepsilon_{\text{вст}} + \varepsilon_{\text{прист}} + \varepsilon_{\text{налашт}} . \quad (2.3)$$

Визначаємо компоненти похибки пристосування [9, с. 98]:

$$\varepsilon_{\text{прист}} = \Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3 . \quad (2.4)$$

де Δ_1 - частина похибки обробки, що визначається неточністю установки настановних елементів пристосування, тобто. величиною допуску на їх виготовлення, $\Delta_1 = 0,03 \text{ мм}$ [9];

Δ_2 - частина похибки установки, викликана допустимим зносом настановних елементів пристосування, визначається за формулою [9]:

$$\Delta_2 = C \cdot \sqrt{N}, \quad (2.5)$$

$$\Delta_2 = 0,2 \cdot \sqrt{1} = 0,2 \text{ мм.}$$

де C - для плоских опор, $C = 0,2$ [9];

N - кількість опорних точок що знаходяться в контакті із заготівлею[9];

Δ_3 - частина похибки обробки, спричинена неточністю установки пристосування на верстаті. Для токарного верстата ця величина визначається максимальним биттям пристосування щодо шпинделя верстата, $\Delta_3=0,02$ мм [9];

$$\varepsilon_{\text{прист}}=0,03+0,2+0,02=0,29 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{\text{налашт}}$ - похибка, що виникає в процесі налаштування пристосування на розмір обробки, визначається за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\text{налашт}}=\Delta_4+\Delta_5+\Delta_6. \quad (2.6)$$

де Δ_4 - допуск виготовлення габариту. Для пристроїв нормальної точності $T_H=0,05$ мм [9]

$$\Delta_4 = \pm \frac{T_H}{2}, \quad (2.7)$$

$$\Delta_4 = \frac{0,05}{2} = 0,025 \text{ мм.}$$

Δ_5 - допуск на виготовлення щупа, $\Delta_5=0$ [9];

Δ_6 - похибка, викликана неточністю налаштування різального інструменту при підведенні його до щупа, $\Delta_6=0$ [9]

$$\varepsilon_{\text{налашт}}=0,025+0+0=0,025 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{\text{обр}}$ - похибка, що виникає безпосередньо в процесі обробки деталі на верстаті, визначається за формулою [9]:

$$\varepsilon_{\text{обр}} = \Delta_7 + \Delta_8 + \Delta_9 + \Delta_{10}, \quad (2.8)$$

де Δ_7 - частина похибки, спричинена геометричною неточністю верстата, $\Delta_7 = 0,002$ мм [9];

Δ_8 - похибка обробки, викликана неточністю виготовлення ріжучого інструменту в межах свого допуску. Допуск на виготовлення різального інструменту для верстатів з ЧПК складає 0,0015 мм [9].

Δ_9 - частина похибки, викликана допустимим зносом ріжучого інструменту, $\Delta_9 = 0,01$ мм [9];

Δ_{10} - частина похибки, спричинена пружним та температурним відтисканням системи СНІД, $\Delta_{10} = 0,023$ мм [9].

$$\varepsilon_{\text{обр}} = 0,002 + 0,0015 + 0,01 + 0,023 = 0,037 \text{ мм.}$$

$$\sum \varepsilon_i = 0,13 + 0,025 + 0,037 = 0,192 \text{ мм.}$$

Перевіряємо умову точності обробки:

$$0,6 \text{ мм} > 0,192 \text{ мм.}$$

Умова точності виконується, отже, пристосування може бути застосоване для цієї операції.

2.1.3 Розрахунок необхідного зусилля кріплення заготовки та вибір приводу

Вихідними даними для розрахунку є: сила різання $P_z = 1504$ Н та діаметр базової поверхні деталі $d = 164,5$ мм.

Сила затиску при токарній обробці [9]:

$$W = \frac{k \cdot P_z \cdot R_{\text{обр}}}{f \cdot R_{\text{уст}}}, \quad (2.9)$$

де k - коефіцієнт запасу, $k = 1,2$; [9, табл. 11.3, с. 287];

f - коефіцієнт тертя на робочих поверхнях кулачків, $f = 0,25$; [9, табл. 11.3, с. 287].

$$W = \frac{2,5 \cdot 1504 \cdot 120}{0,16 \cdot 82} = 34390 \text{ Н.}$$

Визначаємо величину вигибного моменту мембрани [9]:

$$M_{\text{виг}} = \frac{W \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot r}, \quad (2.10)$$

де l - відстань від середини кулачків до середньої площини мембрани,

$l = 52,77 \text{ мм}$ [9, табл. 11.3, с. 287];

$$M_{\text{виг}} = \frac{34390 \cdot 52,77}{2 \cdot 3,14 \cdot 82} = 3612,2 \text{ Нм.}$$

Звідси:

$$M_3 = 0,355 \cdot M_{\text{виг}}, \quad (2.11)$$

$$M_3 = 0,355 \cdot 3612,2 = 1282,3 \text{ Нм.}$$

Визначаємо циліндричну жорсткість мембрани [9, табл. 11.3, с. 287]:

$$B = \frac{E \cdot b^3}{12(1 - \mu^2)}, \quad (2.12)$$

де E - модуль пружності, $E = 0,2 \cdot 10^6 \text{ МПа}$; $\mu = 0,3$; [9, табл. 11.3, с. 287].

$$B = \frac{0,2 \cdot 10^6 \cdot 6,5^3}{12(1 - 0,3^2)} = 5029304 \text{ МПа.}$$

Визначаємо кут φ розтискання кулачків при закріпленні деталі з найменшим граничним розміром [9, табл. 11.3, с. 287]:

$$\varphi = \frac{M_3 \cdot d}{2B(1 + \mu)}, \quad (2.13)$$

$$\varphi = \frac{1282 \cdot 164,5}{2 \cdot 5029304(1 + 0,3)} = 0,007 \text{ рад.}$$

Визначаємо кут φ' максимального розтиску кулачків [9, табл. 11.3, с. 287]:

$$\varphi' = \varphi + \frac{\delta}{2l} + \frac{\Delta}{2l}, \quad (2.14)$$

де δ - допуск на неточність виготовлення оброблюваної деталі по базовій поверхні [9];

Δ - зазор між оброблюваною деталлю та кулачками для закладання деталі, $\Delta=0,01 \dots 0,03$ мм [9, табл. 11.3, с. 287].

$$\varphi' = 0,007 + \frac{0,185}{2 \cdot 52,77} + \frac{0,01}{2 \cdot 52,77} = 0,009 \text{ рад.}$$

Визначаємо силу на штоку приводу, необхідну для прогину мембрани та розтискання кулачків на максимальний кут, φ' [9]:

$$Q = \frac{4 \cdot \pi \cdot B \cdot \varphi'}{2,3 \ln(R/r)}, \quad (2.15)$$

$$Q = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 5029304 \cdot 0,009}{2,3 \ln 1,46} = 6534,6 \text{ Н}$$

Визначаємо діаметр пневмоциліндра, у робочій камері якого шток відсутній [9]:

$$D_1 = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot \rho \cdot \eta}}, \text{ мм}, \quad (2.15)$$

де ρ - тиск стислого повітря, $\rho = 0,6$ МПа [9];

η - к.п.д. привода, $\eta = 0,9$ [9].

$$D_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot 6534}{3,14 \cdot 0,6 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 0,136 \text{ м} = 136 \text{ мм}.$$

Приймаємо діаметр циліндра по [9, стр.139, табл. 7.3] $D_1 = 150$ мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Контрольний пристрій призначений для перевірки радіального биття.

Пристрій (рис. 2.2) складається з плити 2, до якої встановлюється кільце 4. На це кільце встановлюється деталь. Годинник індикаторного типу підводиться до вимірюваної поверхні деталі. Далі деталь перевіряють, тим самим вимірюючи похибки [10].

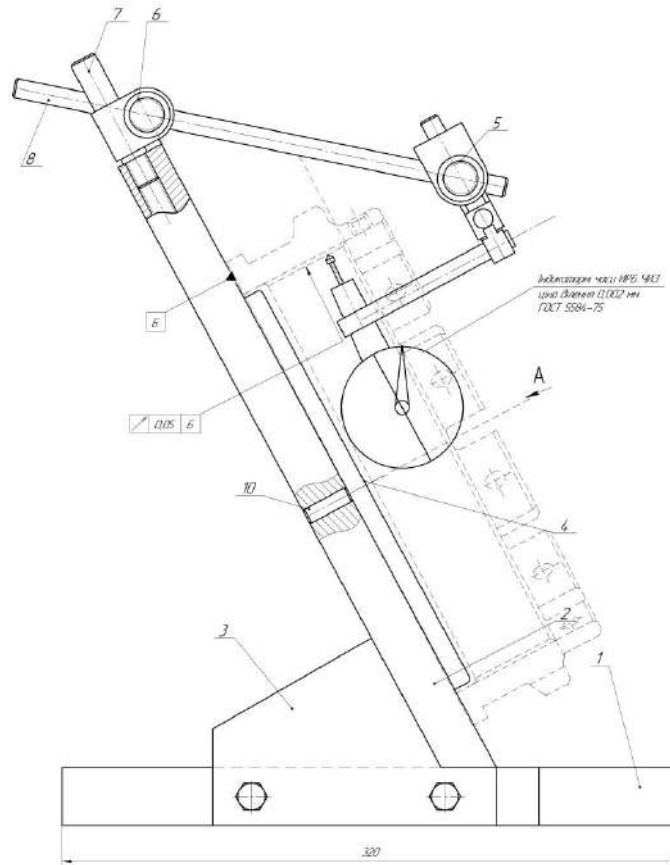


Рисунок 2.2 - Ескіз контрольного пристрою

2.2.2 Розрахунок на точність

Контрольно-вимірювальні прилади призначені для отримання інформації про фактичні значення параметрів виробів у заданих одиницях виміру (міліметри, радіани, градуси)[10].

Важливими етапами проектування вважаються підбір схеми базування, принципової схеми та конструкції елементів контрольно-вимірювальних приладів [10].

За допустиму сумарну похибку вимірювань пристосування приймають лише частину (8...30%) заданого допуску розміру робочому кресленні деталі.

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою [10]:

$$\varepsilon_{\text{вим}} = \varepsilon_{\text{ве}} + \varepsilon_{\text{вп}} + \varepsilon_{\text{вн}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{\text{вс}}^2 + \varepsilon_{\text{зп}}^2 + \varepsilon_{\text{зв}}^2 + \varepsilon_{\text{ип}}^2}, \quad (2.16)$$

де $\varepsilon_{\text{ве}}$ - систематична похибка, викликана неточністю виготовлення настановних елементів та неточністю їх розміщення на корпусі КВП (контрольно-вимірювальний пристрій) при його збиранні [10];

$\varepsilon_{\text{вп}}$ - систематична похибка, спричинена неточністю виготовлення передавальних елементів [10];

$\varepsilon_{\text{вн}}$ - систематична похибка, викликана неточністю виготовлення настановних заходів та еталонних деталей, які використовуються для налаштування засобів вимірювання [10];

$\varepsilon_{\text{нб}}$ - похибка, викликана невідповідністю вимірювальної бази та технологічної (пристосування для міжопераційного контролю) або конструкторської (пристосування для кінцевого контролю) [10];

ε_3 - похибка, що виникає внаслідок закріплення контрольованого об'єкта внаслідок його деформації [10];

$\varepsilon_{\text{вс}}$ - похибка, яка залежить від вимірюваної сили, що виникає в результаті зміщення вимірювальної бази деталі від заданого положення у процесі вимірювання [10];

$\varepsilon_{\text{зп}}$ - похибка, яка виникає через зазор між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності [10];

$\varepsilon_{\text{зв}}$ - похибка використовуваного засобу вимірювання [10];

$\varepsilon_{\text{ип}}$ - інші похибки, які спричинені дією випадкових факторів [10].

Для визнання КВП (контрольно-вимірювальний пристрій) придатним для даного виміру необхідно, щоб виконувалася умова [10]:

$$\varepsilon_{\text{зм}} \leq [\varepsilon_{\text{зм}}]$$

Бачимо, що допустима похибка КВП становить $[\delta_{зм}] = 5 \text{ мкм}$.

Визначаємо сумарну похибку пристосування, що проектується.

$\varepsilon_{вм} = 0$, оскільки настановні заходи та еталонні деталі налаштування засобів вимірювання в даному пристрої не використовуються [10];

$\varepsilon_{нб} = 0$, оскільки вимірювальна база збігається з конструкторською, і похибка базування дорівнює 0 [10];

$\varepsilon_{вс} = 0$, оскільки схема вимірювання не дозволяє вимірювальним силам поєднувати вимірювальну базу [10];

$\varepsilon_{з} = 0$, оскільки схема вимірювання не дозволяє вимірювальним силам поєднувати вимірювальну базу [10];

Таким чином формула (2.16) набуває наступного вигляду [10]:

$$\varepsilon_{вим} = \varepsilon_{ву} + \varepsilon_{вп} + \sqrt{\varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{зв}^2 + \varepsilon_{іп}^2} \quad , \quad (2.17)$$

де $\varepsilon_{ву} = 0,001 \text{ мм}$ [10]

$$\varepsilon_{вп} = 0 \text{ [10]}$$

$$\varepsilon_{зп} = 0,001 \text{ мм. [10]}$$

$\varepsilon_{зв}$ - визначається нормативною документацією на засіб вимірювання, для багатооборотного індикатора ИРБ - 0 $\varepsilon_{зв} = 0,002 \text{ мм. [10]}$;

$\varepsilon_{іп}$ - визначається узагальнено, як (0,03...0,05) допуску на контрольований розмір, $\varepsilon_{іп} = 0,003 \text{ мм [10]}$.

$$\varepsilon_{вим} = 0,001 + \sqrt{0,001^2 + 0,002^2 + 0,003^2} = 0,004 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{вим} = 0,004 \text{ мм} < [\varepsilon_{вим}] = 0,005 \text{ мм}$ – умова придатності виконується, пристрій можна використовувати для даної контрольної операції.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Контрольно-вимірювальні машини

Контрольно-вимірювальна машина (КВМ) - це швидкодіючий автоматичний пристрій для виміру чисельних розмірів деталі безпосередньо під час виробничого процесу [12].

Контрольно-вимірювальні машини класифікуються: за призначенням; за розмірами контрольованих деталей; за видом контрольованих деталей; за точністю; за конструктивним виконанням [12].

За призначенням КВМ поділяються на універсальні та спеціальні. За розмірами контрольованих деталей КВМ на: малогабаритні об'ємом до $0,1 \text{ м}^3$, середньо - габаритні об'ємом $(0,1 \dots 2,5) \text{ м}^3$, великогабаритні об'ємом понад $2,5 \text{ м}^3$ [12].

За видом контрольованих деталей КВМ поділяються на машини: для корпусних деталей; для деталей типу тіл обертання та універсальні машини [12].

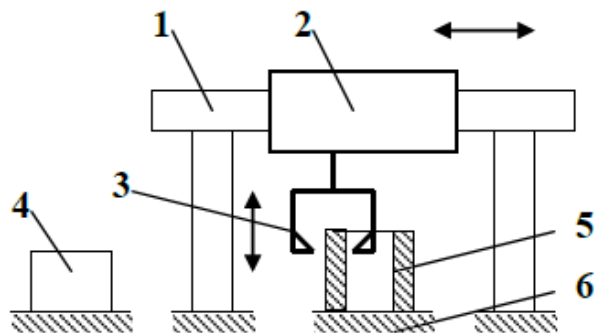
По точності КВМ поділяються: на прецизійні з точністю вимірювання $0,01 \text{ мкм}$, виробничі з точністю вимірювання $0,025 \text{ мкм}$ та машини з низькою точністю $0,2 \text{ мкм}$ [12].

За конструктивним виконанням КВМ поділяються на: консольні, безконсольні, мостові та портално-мостові [12].

Структурну схему КВМ наведено на рис. 3.1.

КВМ обладнується датчиками, що переміщуються у горизонтальній та вертикальній площині за заданою програмою. Отримана інформація передається на ЕОМ (електронно-обчислювальна машина), де зберігаються розміри деталі згідно з кресленням. У результаті порівняння ЕОМ видає документ на придатність деталі (шлюб або деталь придатна) і реальні розміри

деталі. Крім цих робіт ЕОМ робить статистичну обробку результатів контролю деталей, оцінює їх стабільність та тенденції до змін [12].



1 - портал; 2 - привод вимірювальних головок; 3 - датчики; 4 - ЕОМ; 5 - контролює деталь; 6 - контрольна позиція

Рисунок 3.1 - Структурна схема КВМ [12]

Перші КВМ були розроблені у 1950-х роках шотландською компанією Ferranti для потреб авіакосмічної та військової промисловості. Це були найпростіші 2-осьові машини. У 1960-х з'явилися 3-осьові КВМ італійської компанії DEA. А у 1970-х завдяки американській Sheffield у КВМ почали впроваджувати комп'ютерне управління [12].

Сьогодні розрізняють кілька типів КВМ [12]:

- 1) Мостові - найпоширеніші.
- 2) Консольні - з односторонньою підтримкою мосту.
- 3) Портальні - з двосторонніми напрямними як у фрезерних верстатів.
- 4) З горизонтальним важелем - для великих тонких деталей.
- 5) З переносним важелем - для роботи в польових умовах.

У кожного типу є свої плюси та мінуси.

Основні компоненти КВМ:

- 1) Датчик визначення координат поверхні.
- 2) Інтерфейс та блок обробки даних.
- 3) Кріплення для встановлення деталі.
- 4) Рухливі осі переміщення датчика.

Залежно від схеми роботи перетворювачів КВМ бувають із послідовною, паралельною та комбінованою системою вимірювань [12].

За типом датчиків розрізняють контрольно-вимірювальні машини контактні та безконтактні, а за способом вимірювань - скануючі та тригерні [12].

Контрольно-вимірювальні машини використовуються [12]:

- 1) У лабораторіях контролю якості з ідеальними умовами для максимальної точності.
- 2) Безпосередньо у виробничих цехах для оперативної перевірки деталей.
- 3) Портативні КВМ застосовують для вимірювань у польових умовах.

КВМ користуються попитом в авіабудуванні, машинобудуванні, металургії, на підприємствах будь-якого масштабу - від великих заводів до невеликих цехів. Завдяки точному управлінню КВМ можна випускати дрібні деталі зі складною геометрією КВМ, що допомагають поєднувати етапи складних техпроцесів і підтримувати потрібну точність [12].

Точність КВМ розраховується за формулою стандарту ISO [12]:

$$\text{Точність (мкм)} = 1,0 + L/K,$$

де L - Довжина деталі (мм),

K – коефіцієнт КВМ.

На точність впливають температура, вібрація, матеріали конструкції. Безконтактна контрольно-вимірювальна машина в ідеальних лабораторних умовах може досягати похибки близько 1 мкм. Це приблизно в 10 разів вище, ніж розміри дрібних деталей, які вона здатна точно вимірювати [12].

Постачальники КВМ серед провідних світових виробників контрольно-вимірювальних машин можна виділити такі компанії, як Hexagon, Nikon Metrology, Mitutoyo, Zeiss.

Сучасні КВМ активно інтегруються з іншими передовими рішеннями [12]:

- 1) Лазерні 3D сканери дозволяють за лічені хвилини отримувати повну цифрову модель об'єкта.
- 2) Спеціалізоване ПЗ виконує обробку даних, порівняння з еталоном.
- 3) Застосування КВМ в адитивному виробництві прискорює створення точних прототипів.
- 4) Зворотне проектування за допомогою КВМ відтворює 3D-моделі реальних об'єктів.

Конструкція КВМ постійно оптимізується[12]:

- 1) Застосування композитних матеріалів у станинах для покращення жорсткості та термостабільності.

- 2) Використання аеростатичних напрямних підвищує точність.

- 3) Вбудовування систем активного гасіння вібрацій.

Розробляються нові методи вимірювання на КВМ [12]:

- 1) Високошвидкісне сканування складних поверхонь.

- 2) Багатодатчикові вимірювальні головки.

- 3) Алгоритми роботи з «великими даними» від КВМ.

Перспективні області для КВМ [12]:

- 1) Медицина – протезування, планування операцій.

- 2) Автопром - розробка та контроль кузовних деталей.

- 3) Ювелірна промисловість – вимір діамантів.

Сучасні КВМ оснащуються функціями автоматизації [12]:

- 1) Автоматичне захоплення та центрування деталей.

- 2) Автоматична зміна датчиків та насадок.

- 3) Роботизоване завантаження-розвантаження деталей

Це підвищує продуктивність та знижує вплив людського фактора.

Активно розвивається спеціалізоване програмне забезпечення для КВМ [12]:

- 1) Автоматична обробка великих масивів даних.
- 2) Візуалізація результатів вимірювань у AR/VR.
- 3) Інтеграція із системами управління якістю підприємства.

Впроваджуються хмарні рішення на базі КВМ [12]:

- 1) Віддалений моніторинг роботи КВМ.
- 2) Автоматичне резервне копіювання даних.
- 3) Доступ до архівів вимірів з будь-якої точки.

Приділяється увага захисту даних КВМ [12]:

1) Шифрування трафіку між КВМ та серверами Системи контролю доступу до функцій КВМ та ПЗ.

2) Блокування зовнішніх підключень.

КВМ Global (координатно-вимірювальні машини Global) (рис.3.2) - універсальне обладнання для проведення точних та швидких координатних вимірювань. Виробник - італійський бренд Brown & Sharpe DEA, який вважається одним із провідних у галузі. Зокрема, у виробництві обладнання для контролю лабораторних та промислових вимірів [21].



Рисунок 3.2 - Координатно-вимірювальна машина Global [21]

Обладнання Global має багато переваг [21]:

- 1) конкурентоспроможна вартість;
- 2) прецизійна точність;
- 3) висока швидкість сканування;
- 4) сучасна ергономіка та дизайн;
- 5) автоматичне енергозбереження та сигнальні вогні
- 6) якісний захист від вібраційного ефекту;
- 7) зручний доступ до робочого простору практично з будь-якої сторони вимірювальної машини Global;
- 8) просте, зручне навантаження/вивантаження деталей;
- 9) стійкість до температурних стрибків, а також інших змін навколишнього середовища.

Контрольно-вимірювальна машина Global Classic від Hexagon декларує точність за формулою ISO на рівні $1.0+L/300$ мкм. Це одна з найпопулярніших і найнадійніших високоточних контрольно-вимірювальних машин [21].

Вартість КВМ залежить від розмірів, точності, функціоналу. Вона може становити від кількох сотень тисяч до десятків мільйонів гривень. Але впровадження високоточної КВМ окупається за рахунок економії на шлюбі, прискорення та оптимізації виробництва, підвищення якості. Майбутнє КВМ у перспективі очікується подальше підвищення точності вимірювань КВМ за збереження мобільності та гнучкості. Розширяться сфери застосування КВМ у концепції «Індустрія 4.0» [21].

Характеристики [21]:

- 1) Діапазон переміщення (мм):
 - X:1500
 - Y:2600
 - Z:1350
- 2) Точність: ISO 10360-2, мкм.

3) Щуп: HP-S-X5MPPE , мкм: $3.0 + L/333$.

До контактних засобів активного контролю відносяться контрольно-вимірювальні головки [13].

В даний час компанія Renishaw - світовий лідер в області виробництва інноваційного метрологічного обладнання, випускає два типи вимірювальних головок, що відрізняються за механізмом спрацьовування: кінематичні та тензометричні [13].

Вимірювальні головки першого покоління, засновані на кінематичній схемі спрацьовування (вони мають в позначенні двозначні числа, наприклад OMP40 або OMP60), дозволяють проводити вимірювання з точністю спрацьовування 12 мкм (після калібрування по кільцю) при направленні вимірювання вздовж осей X і Y [13].

Істотним їх недоліком є значне зниження точності при просторових вимірах - до 20 мкм. Більшість верстатів за замовчуванням оснащуються даним типом датчиків. Щоб вирішити проблему 3D вимірів, Renishaw розробила новий тип головок, заснованих на тензодатчиках [13].

Після калібрування (в даному випадку по сфері) точність спрацьовування в будь-якому напрямку становить 1 мкм [13].

Позначаються такі головки тризначними числами, наприклад OMP400 або OMP700 [13].

Слід сказати, що дані результати отримані при використанні щупа довжиною 50 мм. При збільшенні довжини щупа показники будуть погіршуватися [13].

Таким чином, при правильному виборі і коректній експлуатації похибка в роботі вимірювальної системи не вносить істотного внеску в загальну похибку вимірювань, а отже, нею можна знехтувати [13].

На рис.3.3 наведено приклад інфрачервоної вимірювальної головки.



Рис.3.3 Інфрачервона вимірювальна головка [13]

Вони фіксують фактичний стан вимірювального щупа, що знаходиться в контакті з контрольованою поверхнею деталі при переміщенні робочого органу по керуючій програмі [13].

Перевагою вимірювальних головок є можливість негайного корегування виявлених помилок і відхилень. Інфрачервоний вимірювальний датчик являє собою комутаційну контактну систему [13].

При торканні до поверхні деталі вимірювальний щуп відхиляється, і за допомогою інфрачервоного променя сигнал передається на приймач [13].

Головку відхилення для визначення розмірів деталей закріплюють в оправці [13].

За основу вимірювань міжосьових відстаней деталей взято використання вимірювальної головки Renisaw TP20 з ціною поділення 0,001 мм, як засобу контролю міжосьових відстаней. Для вимірювання міжцентрових відстаней

насадку щупа встановлювали таким чином, щоб кулька щупа торкалась стінки отвору у чотирьох діаметрально-протилежних точках [13].

Приклад замірів зміщення пазів та розташування отворів відносно вісі деталі «Гайка» наведено на рис. 3.5-3.8.

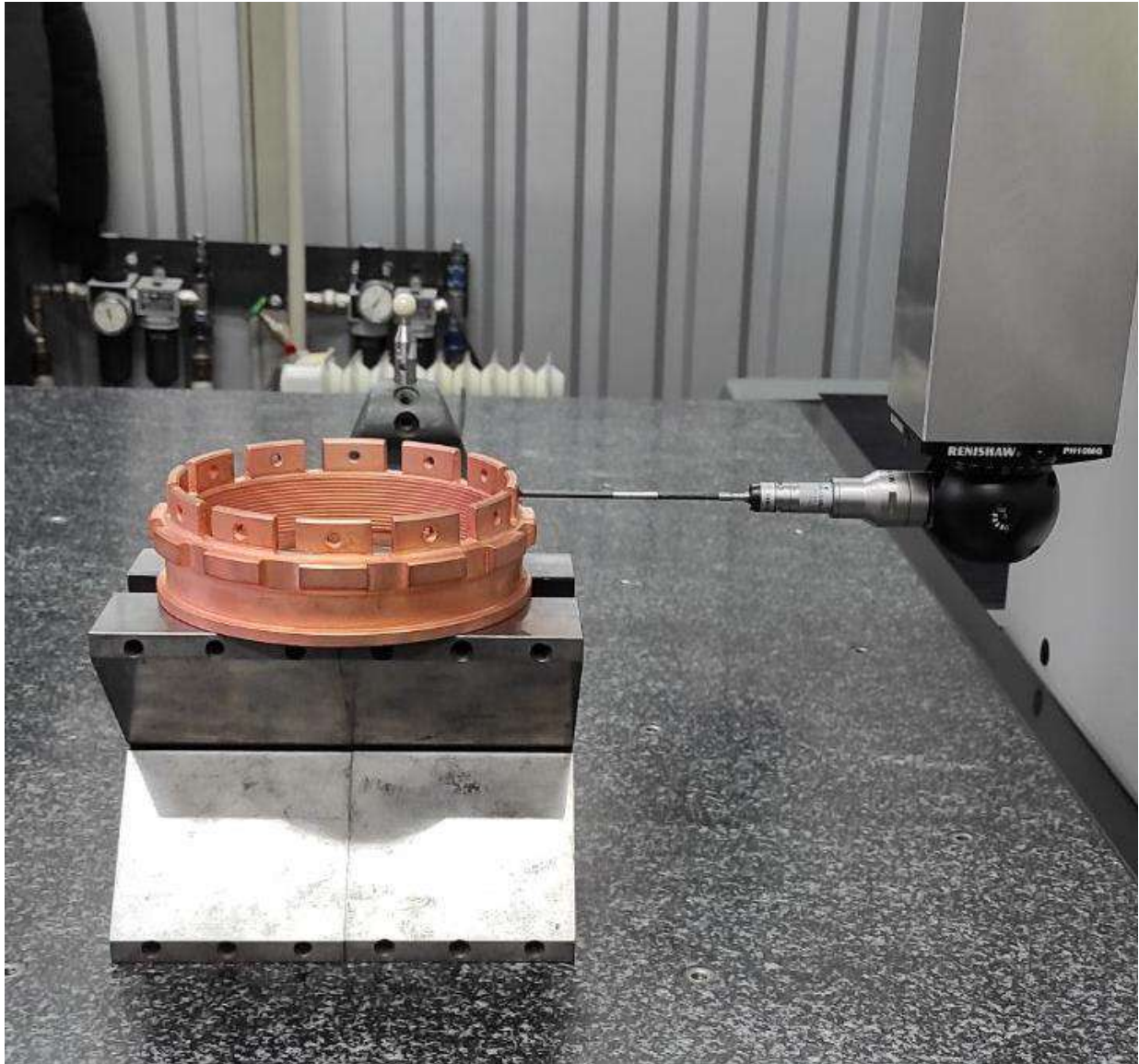


Рисунок 3.4 – Встановлення деталі для замірів

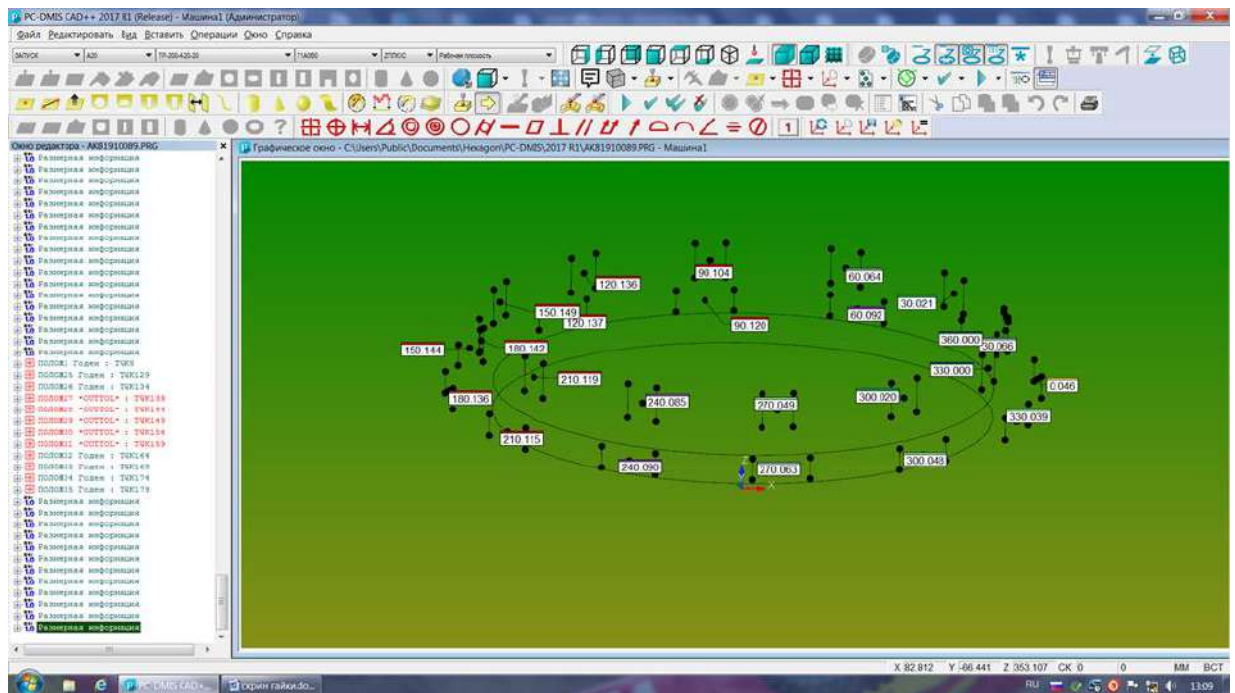


Рисунок 3.5 - Замер зміщення пазів

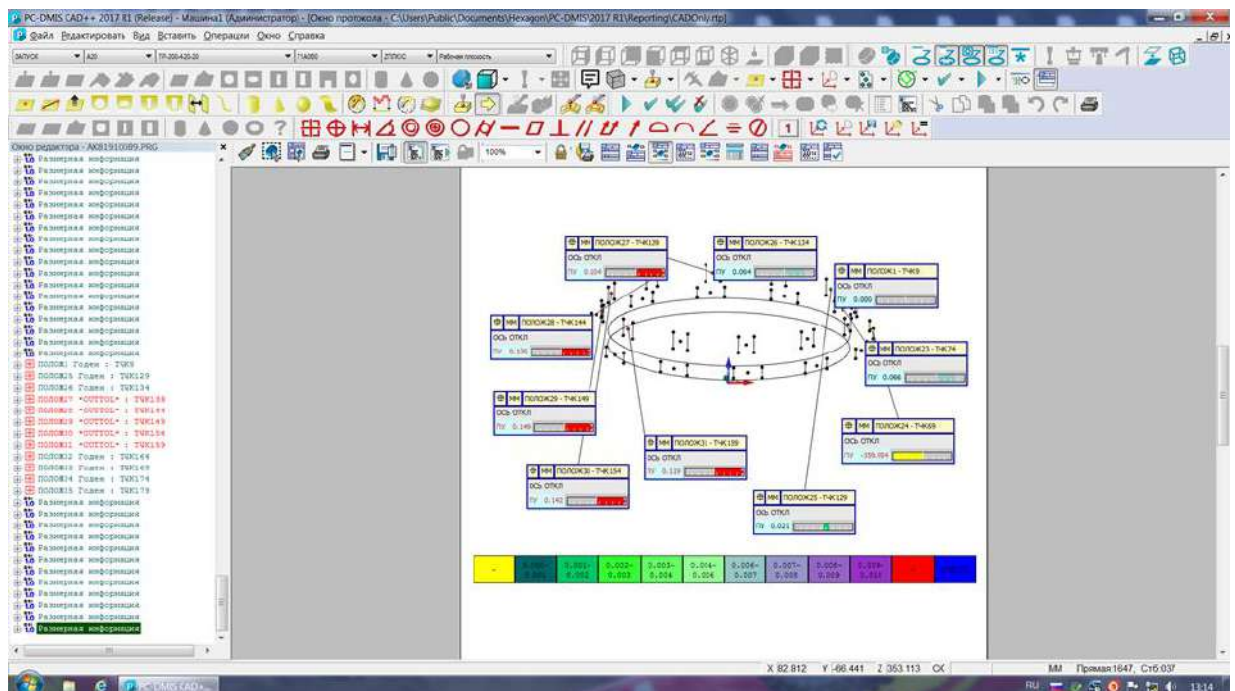


Рисунок 3.6 - Результаты замірів зміщення пазів

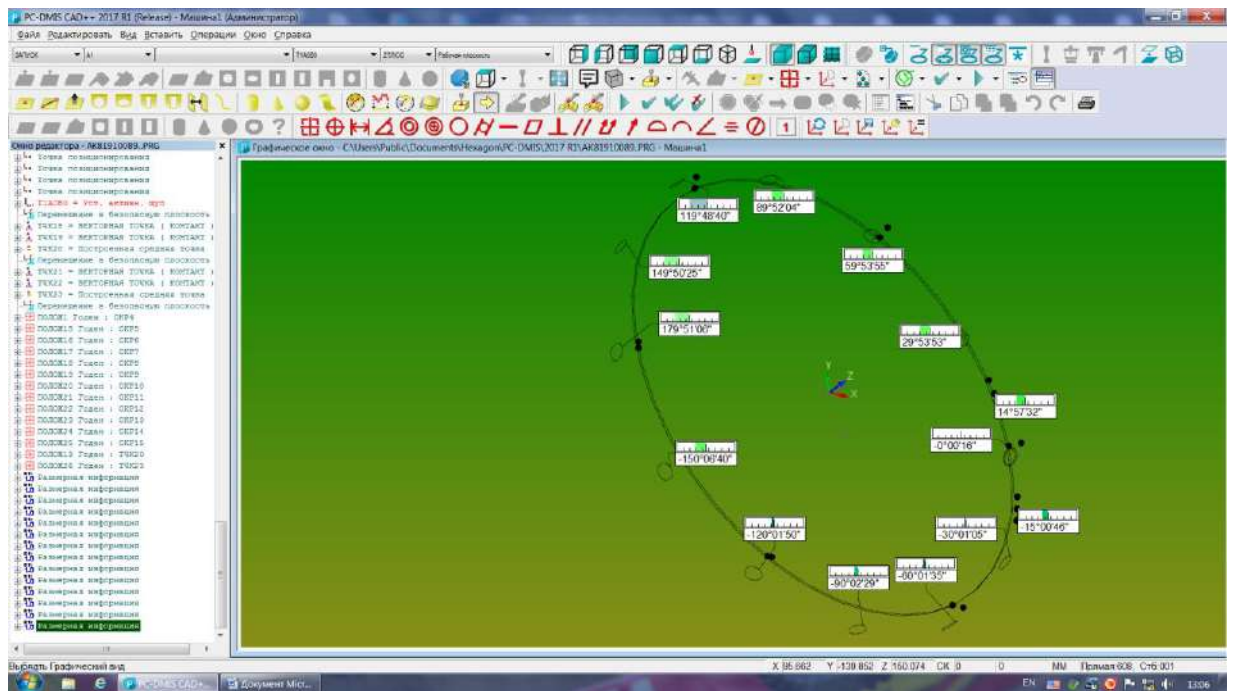


Рисунок 3.7 - Замір розташування отворів відносно нульового отвору

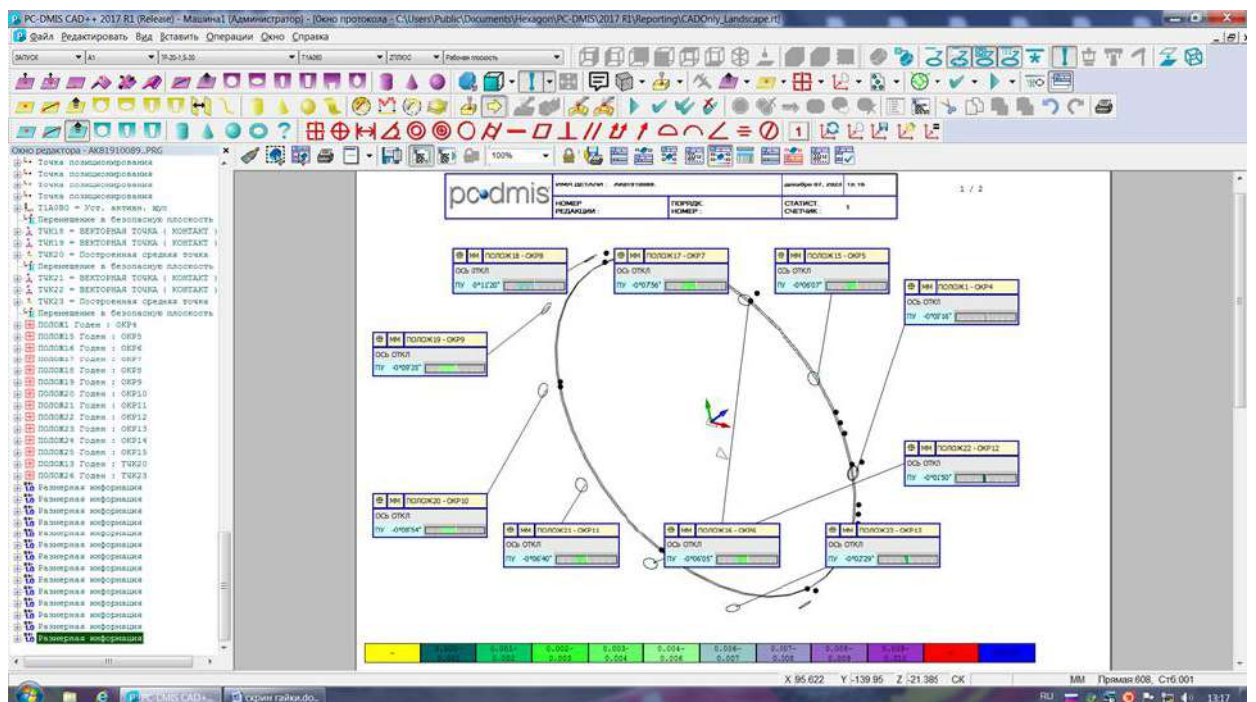


Рисунок 3.8 - Результати замірів розташування отворів відносно вісі деталі

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО- ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Забезпечення міцності та жорсткості деталей машин передбачає врахування їх розмірів і конструкції, щоб вони могли витримувати навантаження, яке не перевищує допустимих меж. При цьому, важливо мати запас міцності при статичному навантаженні від 1,5 до 3. Запас міцності враховує розкид механічних властивостей матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей, і залежить від рівня відповідальності конструкції та умов експлуатації. Для обчислення запасу міцності за напруженням використовується спеціальна формула:

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

де $[\sigma]$ - допустиме значення границі плинності для сталі 40ХН2МА, $[\sigma]=930$ МПа;

σ_{max} - максимальне напруження.

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

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

$$\sigma_{max} = \frac{930}{1,5} = 620 \text{ МПа}.$$

Розрахунок напружено-деформованого стану виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION. Тривимірна модель показана на рис. 4.1.

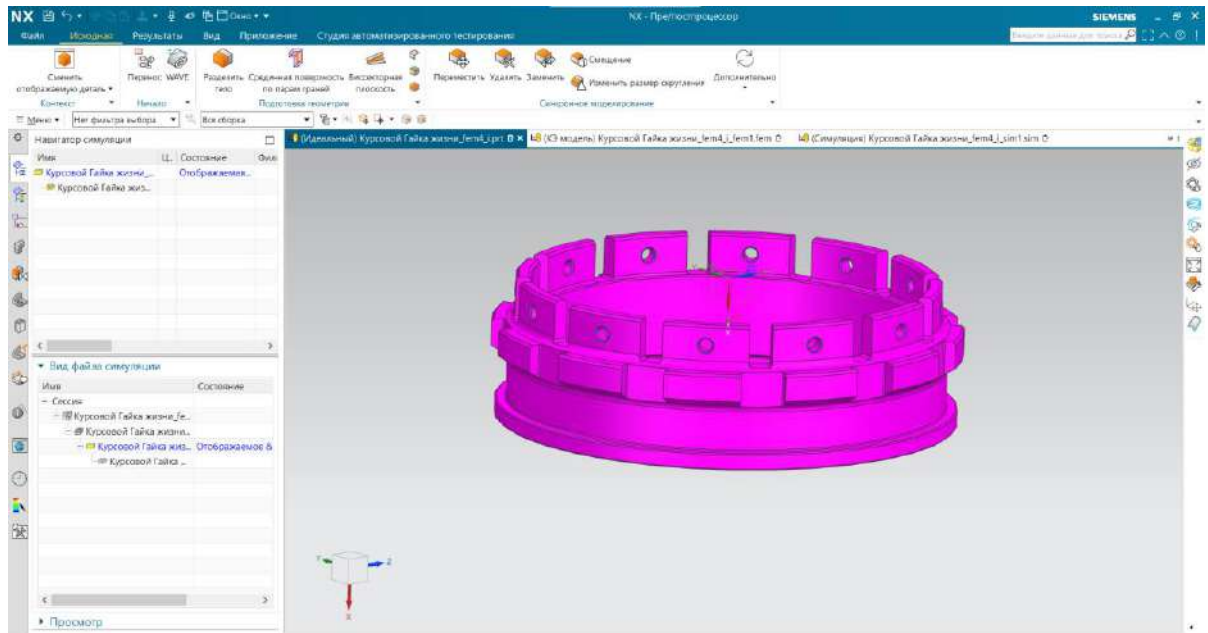


Рисунок 4.1 - Тривимірна модель деталі Гайка

На початковому етапі розрахунку ми проводимо розподіл моделі за допомогою сітки кінцевих елементів з розміром 500 на міліметр. Результат показаний на рис. 4.2.

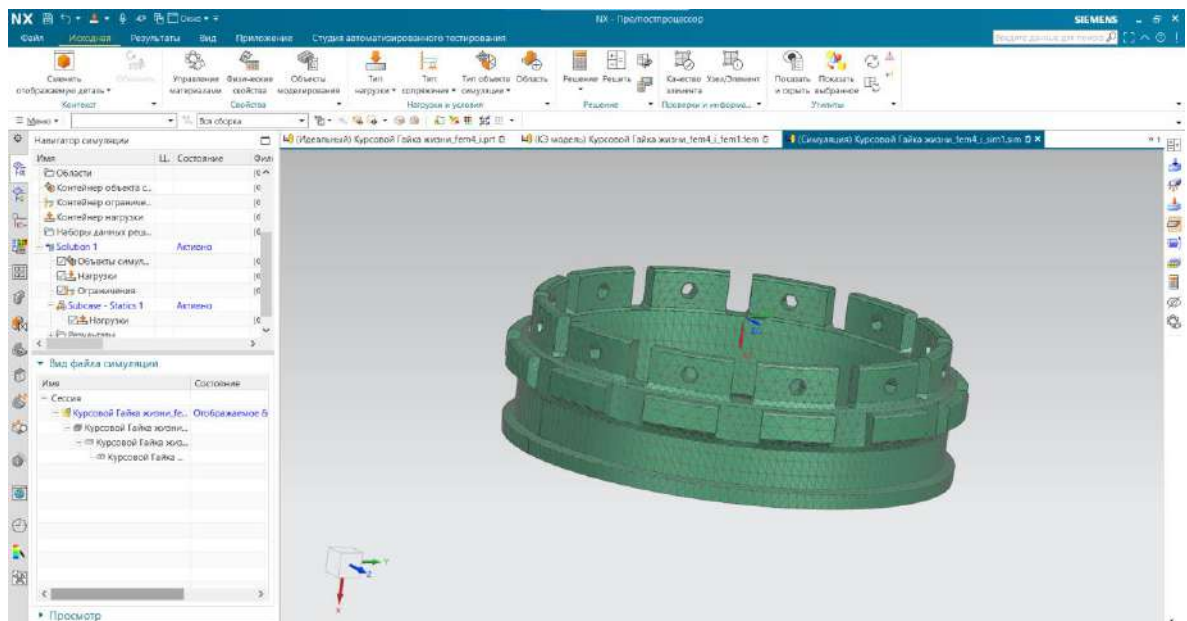


Рисунок 4.2 - Розбивка на сітку

Наступним етапом прикладаємо обмеження, що унеможливають переміщення деталі у окремих напрямках (рис. 4.3).

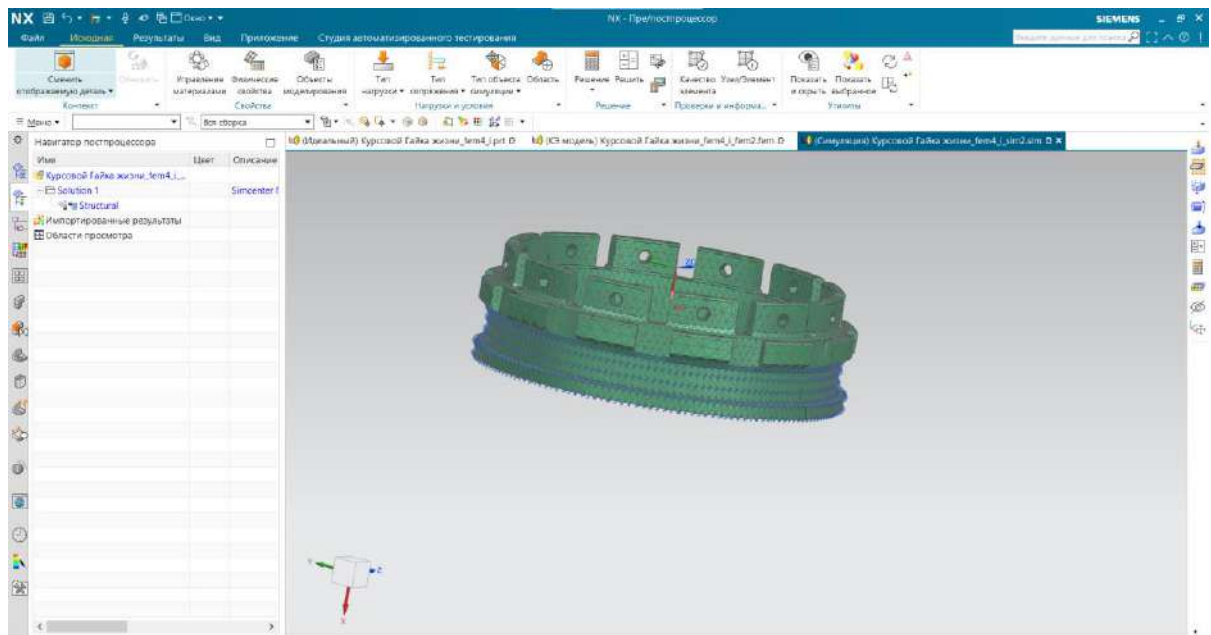


Рисунок 4.3 - Схема прикладення обмежень

Далі виконуємо прикладання навантажень (рис. 4.4).

Тип навантаження - тиск прикладений до внутрішнього діаметру з торцями.

Прикладена сила дорівнює: 100 МПа, 250 МПа та 500 МПа.

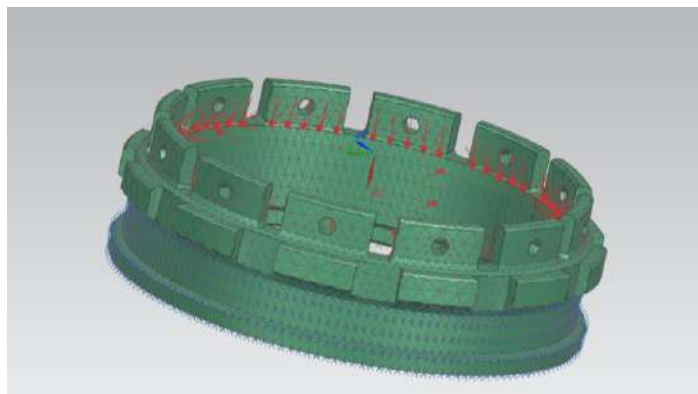


Рисунок 4.4 - Схема прикладання навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану при навантаженні 100 МПа (рис. 4.5).

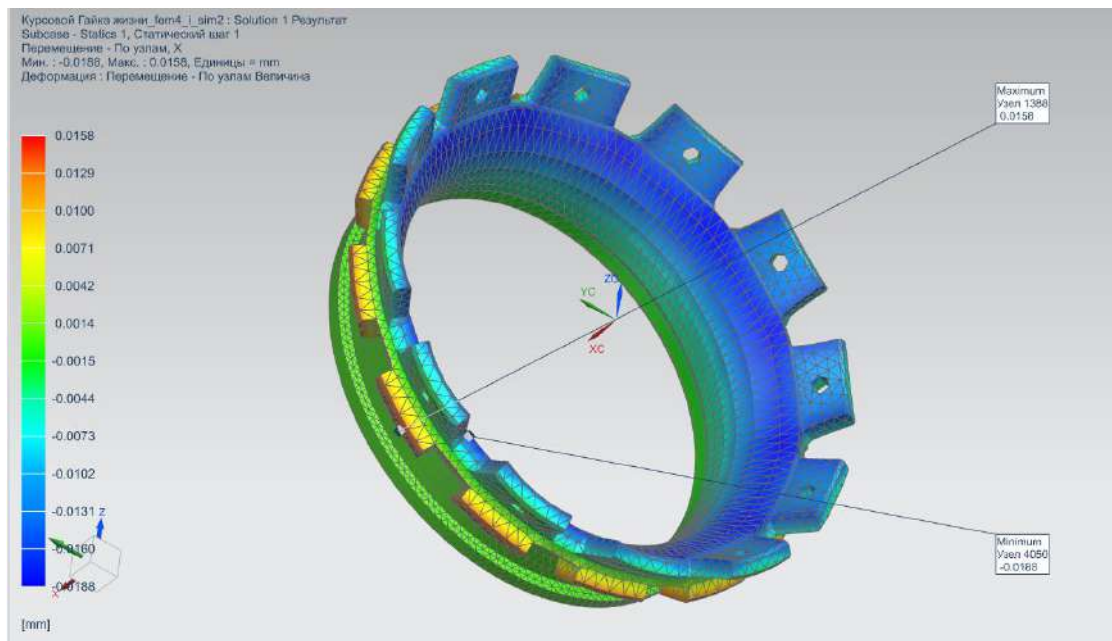


Рисунок 4.5 - Результат розрахунку напружено деформованого стану 100 МПа

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану при навантаженні 250 МПа (рис. 4.6).

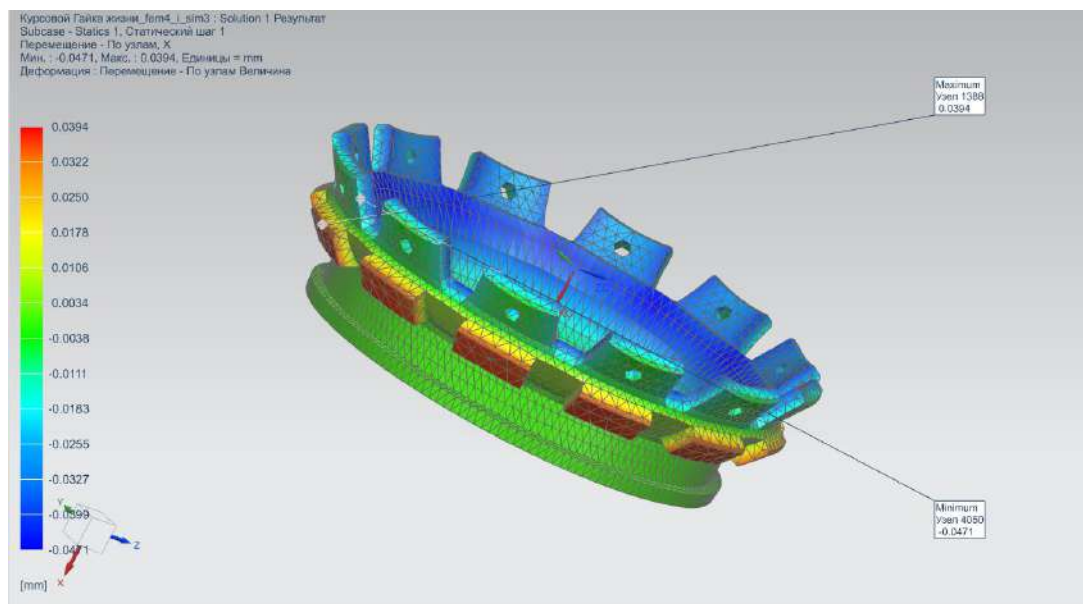


Рисунок 4.6 - Результат розрахунку напружено деформованого стану 250МПа

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану при навантаженні 500 МПа (рисунок 4.7).

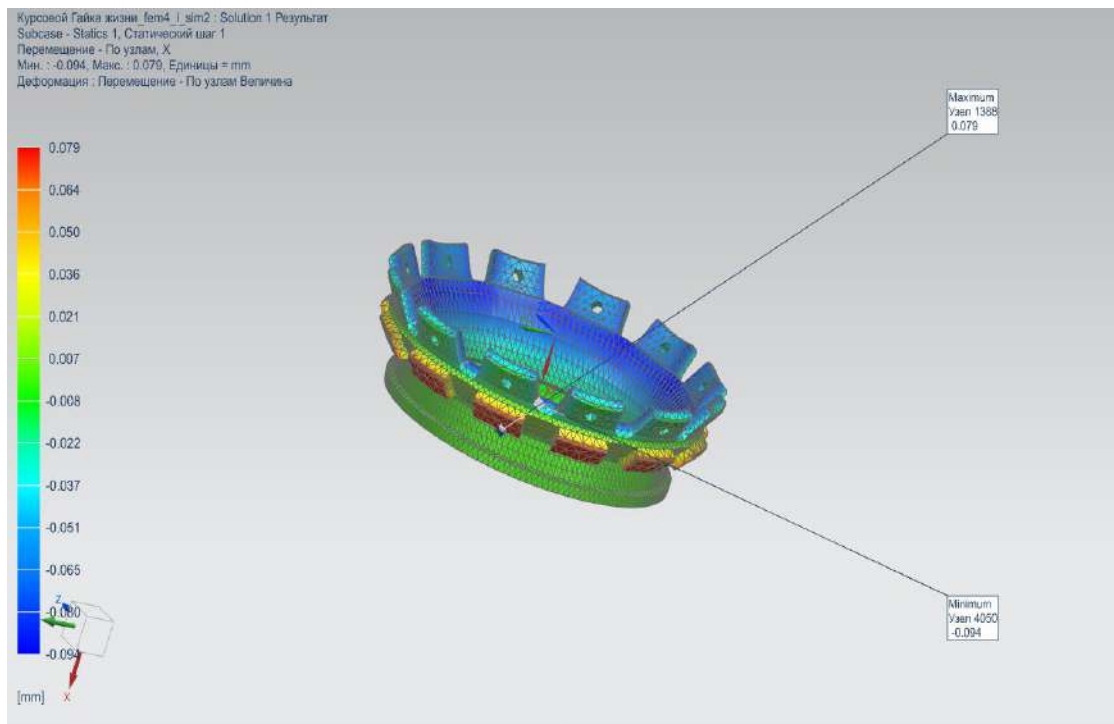


Рисунок 4.7 - Результат розрахунку напружено деформованого стану 500 МПа

У результаті виконаного розрахунку можна побачити, що при перевірці деталі «Гайка» на міцність виявлено, що прикладений до внутрішнього діаметру тиск силою 100 МПа та 250 МПа - не перевищує допустиму межу, а при навантаженні 500 МПа - перевищує допустиму межу.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

5.1 Міднення як засіб підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка»

Для підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка» ми обрали гальванічне покриття - міднення.

Міднення - процес нанесення тонкого шару металевої міді на виріб для надання йому необхідних властивостей [20].

Мідні покриття широко застосовуються в основному як підшар при нанесенні багат шарових покриттів, а також для покращення паяння, створення електропровідних шарів, ущільнення різьбових з'єднань, місцевого захисту сталевих деталей під час цементації. В окремих випадках використовуються для надання декоративного зовнішнього вигляду [20].

Мідь - метал рожевого кольору з атомною масою 63,5, щільністю 8900 кг/м³, температурою плавлення 1083 °С, питомим електроопір 0,017 Ом мм. Мідь пластична, твердість мідних покриттів 2500-3000 МПа [20].

На рис. 5.1 наведена залежність швидкості утворення мідного шару від рН розчину. Зазвичай величина рН неконцентрованих розчинів міднення не нище 12,0, а концентрованих - може бути 11,5. Відновлення $\text{Cu}(\text{II})$ формальдегідом починається лише при $\text{pH} > 11$ та швидкість відновлення збільшується з підвищенням рН [11].

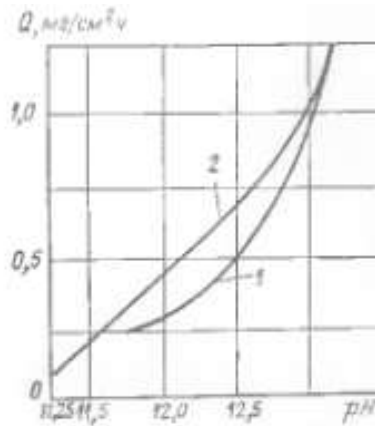


Рисунок 5.1 - Залежність швидкості утворення мідного шару від рН розчину: 1 - в присутності солі никелю; 2- без солі никелю [11]

Мідь інтенсивно розчиняється в аерованих аміачних та ціанідних розчинах, азотній кислоті, повільніше - у хромовій, слабо - у сірчаній та майже не взаємодіє з соляною кислотою. На повітрі мідь легко реагує з вологою, вуглекислими та сірчистими сполуками, окислюється та темніє [20].

Стандартний потенціал міді по відношенню до її одновалентних іонів $+0,52$, двовалентних іонів $+0,34$ В [20].

Характеристики мідного покриття наведені в табл. 5.1 [20].

Таблиця 5.1 - Характеристики мідного покриття

Позначення покриття	М - стандартне міднення, блиск не нормується М. б - міднення блискуче М24 - іскроввибухозахисне міднення (товщина не менше 24мкм) М. ч - міднення з декоративним чорнінням (старінням/патинуванням)
Товщина	6-100мкм (оптимально, але можливо осадити велику товщину)
Мікротвердість	590-1470 МПа ($60-150 \text{ кгс}/\text{мм}^2$)
Питомий електричний опір	$1,68 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Допустима робоча температура	300°C

5.2 Кінетика процесу гальванічного міднення

Загалом процес гальванічного міднення складається з наступних етапів, які в залежності від технічних умов можуть бути доповнені іншими видами обробки [19]:

- 1) механічне очищення (за допомогою металевої щітки, шкірки та електроінструменту);
- 2) промивання проточною водою;
- 3) знежирення (хімічне чи електролітичне);
- 4) промивання та сушіння;
- 5) перевірка якості поверхонь;
- 6) занурення виробу в електроліт;
- 7) подача струму та контроль процесу;
- 8) промивка та сушіння готового виробу.

Технологія гальванічного міднення заснована на використанні анодів, що витрачаються, які служать джерелом аніонів міді, що облягаються у вигляді тонкого шару на поверхні катода-виробу. У ролі катодів виступають пластини міді будь-якої чистоти (рис. 5.2) [19].

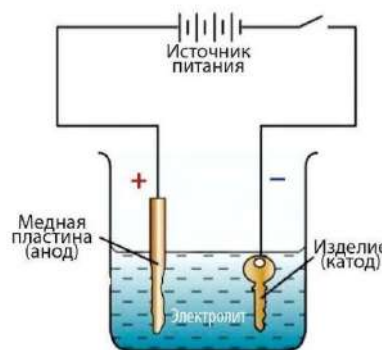


Рисунок 5.2 - Схема міднення [19]

Для електролітичного осадження міді розроблено велику кількість електролітів, які зазвичай поділяють на дві групи: кислі та лужні. Існують як найпростіші, і досить складні композиції для міднення.[11]

Катодні поляризаційні криві для деяких з них наведено на рис 5.3.

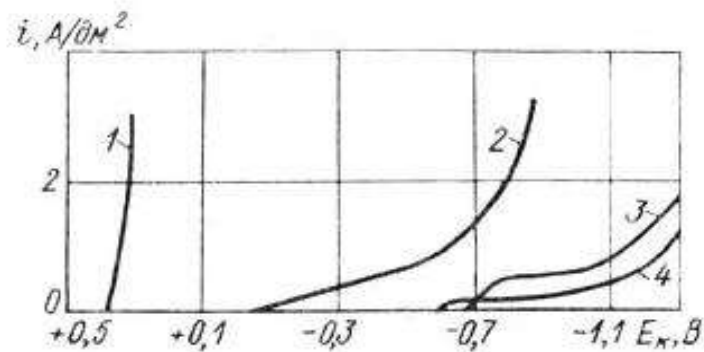


Рисунок 5.3 - Катодні поляризаційні криві при мідінні з електролітів: 1 - сульфатний; 2 - пірофосфатний; 3 - ціанідний; 4 - ціанідний з підвищеним вмістом вільних ціанідів [11]

Розроблена велика кількість комплексних лужних електролітів [11] :

- 1) Ціаністі;
- 2) Пірофосфатні;
- 3) Триполіфосфатні;
- 4) Аміачні;
- 5) Етиленіамінові;
- 6) Моноетиюламінові;
- 7) Триетаноліоламінові;
- 8) Поліетіленполіамінові;
- 9) Щавелекислі;
- 10) Лимоннокислі;
- 11) Виннокислі і т.д.

Комплексні електроліти відрізняються високою катодною поляризацією. В ціаністих електролітах вона вище ніж в пірофосфатних, та значно вище, ніж сірчано-кислих (рис. 5.4) [11]

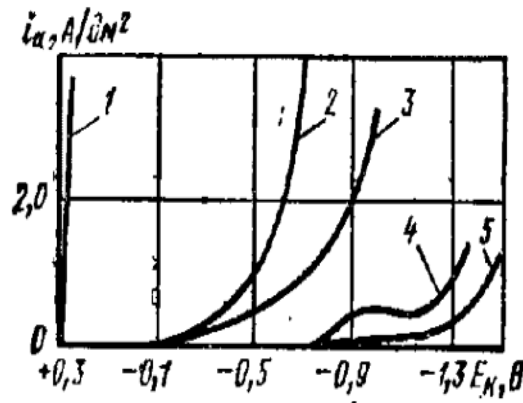


Рисунок 5.4 – Поляризаційні криві при електроосажденні міді із різноманітних електролітів (по відношенню до нормального водневого електроду) [11]:

- 1- Сірчано-кислий(200 г/л CuSO_4 +75 г/л H_2SO_4) ; 2- Пірофосфатний(90 г/л CuSO_4 +370 г/л $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$ + 20-30 г/л NH_4NO_3) ; 3- Пірофосфатний(90 г/л CuSO_4 +370 г/л $\text{K}_4\text{P}_2\text{O}_7$); 4- Ціаністий (90 г/л CuCN +9 г/л NaCN своб)

5.3 Процеси у кислих електролітах міднення

До кислих електролітів відносяться сульфатні та фторборатні електроліти. Їх основні переваги - простота складу і стійкість в експлуатації, але вони мають низьку здатність, що розсіює. Також їх неможливо безпосередньо міднити сталь через випадання контактної міді, отже, погане зчеплення зі сталлю шару міді. Внаслідок цього міднення здійснюється після

попереднього осадження мідного шару (3-4 мкм) із лужних електролітів або після осадження нікелевого шару (3-5 мкм).[19].

З кислих електролітів найпоширеніший сульфатний електроліт. Основними компонентами сульфатних електролітів є сульфат міді та сірчана кислота. Електропровідність нейтральних розчинів сульфату міді невелика, тому додають сірчану кислоту, яка значно підвищує електропровідність розчинів температури перемішування [19].

У сульфатні електроліти міднення іноді вводять поверхнево-активні речовини. Ці речовини вводять для підвищення катодної поляризації, що сприяє отриманню більш дрібнозернистих щільних, іноді блискучих опадів. Сприятлива дія цих добавок позначається на тому, що вони попереджають утворення наростів на краях і виступаючих частинах деталей. Найкращими добавками є декстрин (не більше 1 г/л) та фенол або його сульфосполуки (1-10 г/л) [19].

Шкідливими домішками в мідних сульфатних електролітах є миш'як, сурма, деякі органічні речовини, що утворюють колоїдні розчини, анодний шлам [19].

Крім сульфатних, використовують фторборатні електроліти. Ці електроліти мають високу стійкість; утворюються покриття щільні і дрібнокристалічні, здатність електролітів, що розсіює, приблизно така ж, як у сульфатних. Велика розчинність фторборату міді дозволяє застосовувати підвищені густини струму. З цих електролітів міднити сталеві деталі безпосередньо не можна; необхідний підшар нікелю або міді з ціанідних електролітів [19].

5.4 Процеси в лужних електролітах міднення.

До лужних електролітів відносяться ціанідні, пірофосфатні та етилендіамінові електроліти. Основні переваги: висока здатність, що розсіює, отримання дрібнокристалічних опадів, можливість безпосередньо міднити сталеві деталі [20].

5.4.1 Ціаністе міднення

Досить поширені ціанідні електроліти. Умови осадження міді з ціанідних електролітів суттєво відрізняються від умов осадження у кислих електролітах [20].

У ціанідних електролітах мідь перебуває у складі комплексних іонів, ступінь дисоціації, отже, і активність іонів міді дуже мала. Тому потенціал виділення міді в них приблизно на 0,9-1,2 В негативніший, ніж у сульфатних розчинах [20].

При малій кількості ціаніду аноди пасивуються. При недостатній кількості вільного ціаніду, коли відбувається пасивація анодів і на них розряджаються іони OH^- з виділенням кисню, то не весь кисень, що утворюється, виділяється у вигляді газу, а частина його витрачається на окислення ціаніду в ціаніт. Зменшення вмісту ціанідів відбувається також через взаємодію їх з вуглекислою повітря та утворення карбонатів ($\text{NaCN} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$) [20].

Зміст вільного ціаніду надає катодний і анодний процеси протилежний вплив: для катодного процесу потрібен мінімальний вміст ціанідів, для анодного - максимальний. При нестачі вільного KCN на анодах утворюється

зелена плівка CuCN через те, що іони міді не можуть перейти в комплексне з'єднання. Вільна поверхня анода зменшується, щільність струму зростає, анодне розчинення відбувається з утворенням іонів двовалентної міді, які у вигляді нерозчинного гідрату осаджуються на аноді. При цьому аноди пасивуються та спостерігається інтенсивне виділення кисню [20].

Основними компонентами мідних ціанідних електролітів є комплексний ціанід міді та вільний ціанід натрію [20].

Вміст міді в електроліті під час роботи зазвичай зменшується через недостатню розчинність анодів. Зниження концентрації іонів міді в електролітах призводить до утворення пористих опадів. Крім того, працюючи з малоконцентрованими мідними електролітами, можна застосовувати лише знижену щільність струму [20].

Постійним компонентом ціанідних електролітів є карбонат. Він накопичується в результаті окислення ціаніду киснем повітря, особливо при нагріванні [20]:



Присутність карбонатів у невеликих кількостях корисна, оскільки при цьому підвищується електропровідність електролітів. Однак при їх накопиченні понад 70 г/л, а концентрованих - до 140 г/л аноди виявляють схильність до пасивування, а покриття виходять пористими. Карбонати можна видаляти за допомогою хлориду барію та виморожуванням, охолоджуючи електроліт до -5°C . Слід зазначити, що карбонати натрію випадають легше в осад, ніж калієві. Сульфати суттєвого впливу на процес електролізу не надають [20].

Для заміни отруйних ціанідних електролітів застосовують пірофосфатні та етилендіамінові електроліти [20].

5.4.2 Міднення за способом біполярного розташування деталей у ванні

Міднення застосовується в ціаністих електролітах для деталей, що вимагають лише одностороннього покриття. Метод придатний для покриття листів, труб та інших деталей з чітко обмеженими поверхнями покриття та може бути застосований до всіх видів покриття в ціаністих та слаболужних електролітах. Сутність методу полягає в розташуванні деталей в електроліті між анодом та катодом без підключення до шин ванни (рис. 5.6, 5.7). При включенні постійного струму поверхня деталей, звернена до анода, заряджається негативно і, будучи катодом, покривається міддю. Поверхня, звернена до катода, заряджається позитивно і, отже, залишається непокритою [20].

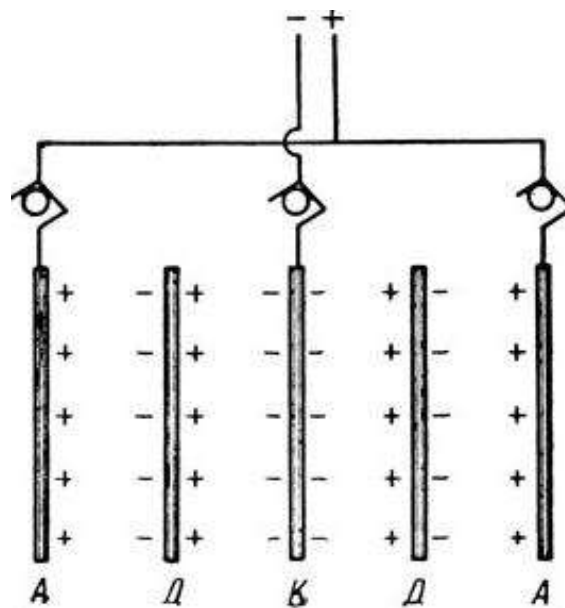


Рисунок 5.6 - Схема біполярного міднення плоских деталей.

А - анод; К - катод; Д - деталь [20]

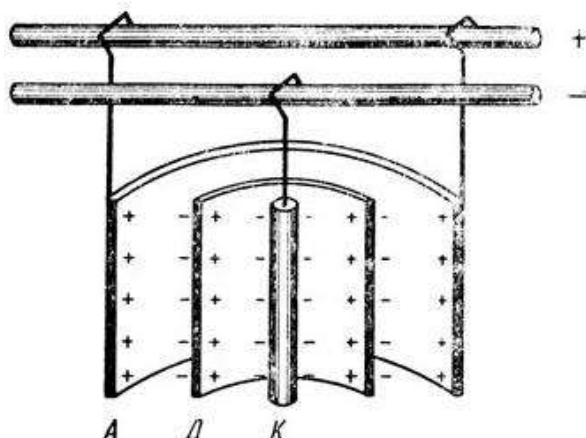


Рисунок 5.7 - Схема біполярного міднення циліндричних деталей: А - анод; К - катод; Д - деталь [20]

5.4.3 Пірофосфатне міднення

З пірофосфатних електролітів одержують мідні опади з дрібнозернистою структурою. При нанесенні тонких шарів опади виходять гладкими, блискучими або напівблискучими. Переваги пірофосфатних електролітів перед кислими полягають у високій здатності і можливості безпосередньо проводити міднення сталевих деталей в розведеному пірофосфатному електроліті [19].

При підвищених щільності струму може відбуватися пасивація анодів за рахунок утворення на їх поверхні оксидної або сольової плівки, що важко розчиняється [19].

При роботі пірофосфатних ванн рекомендується проводити фільтрацію електроліту: для напівблискучих опадів – періодично чи безперервно, для блискучих - безперервно [19].

Особливістю етилендіамінових електролітів міднення є можливість безпосереднього міднення сталевих деталей. Деталі у ванну завантажують під струмом щільністю в 3-5 разів, що перевищує робочу [19]

Підвищення температури, швидкості перемішування та концентрації міді, а також зменшення концентрації комплексоутворювача ведуть до зростання виходу міді по струму. Для ціаністих електролітів він коливається в межах 10-95% (рис.5.8). На відміну від кислих електролітів в ціаністих неможна збільшувати катодну щільність струму, так як при цьому вихід по струму може бути знижений до дуже низької позначки [11]

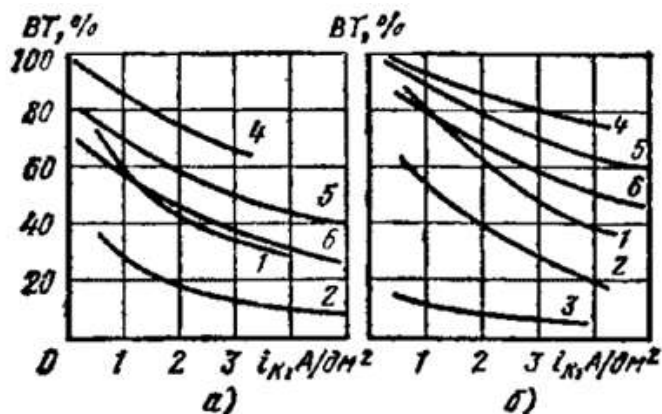


Рисунок 5.8 - Залежність катодного виходу міді по струму від щільності струму в ціаністих електролітах різного складу при 20(а) та 40°C (б):

1-3 - при $CCu = 30$ г/л; 4-6 - при $CCu = 60$ г/л.[11]

Для деталі «Гайка» виконується операція міднення.

Основні переваги міднення сталі електролітичним методом [20]:

1) Висока якість покриття: Міднення сталі електролітичним способом дозволяє отримати покриття високої якості, яке має відмінну стійкість до корозії, а також надає відмінну електропровідність.

2) Збільшення терміну служби металевих виробів: мідне покриття утворює захисну плівку на поверхні сталі, що захищає її від окиснення та корозії. Це дозволяє збільшити термін служби металевих виробів та покращити їх експлуатаційні характеристики.

3) Поліпшення естетичного вигляду: міднення сталі надає поверхні особливого естетичного вигляду завдяки своїй яскравості та блиску. Таке покриття надає виробу презентабельності та привабливості.

4) Рівномірне покриття: електролітичний метод міднення сталі дозволяє досягти рівномірного та однорідного покриття на всій поверхні виробу. Це особливо важливо у разі складних форм та конструкцій.

5) Збільшення електропровідності: мідне покриття має високу електропровідність, що робить його особливо корисним у багатьох областях, таких як електроніка та електротехніка.

6) Економічна ефективність: електролітичний метод міднення сталі є відносно недорогим та економічно ефективним способом покриття. В результаті його застосування можна скоротити витрати на ремонт та заміну металевих виробів.

Мідне покриття забезпечує захист від окислення та іржі, що робить його ідеальним для використання в умовах високої вологості та агресивного середовища. Крім того, мідь не вицвітає з часом, що гарантує довговічність покриття [20].

Деталь після покриття міддю представлена на рис. 5.7.

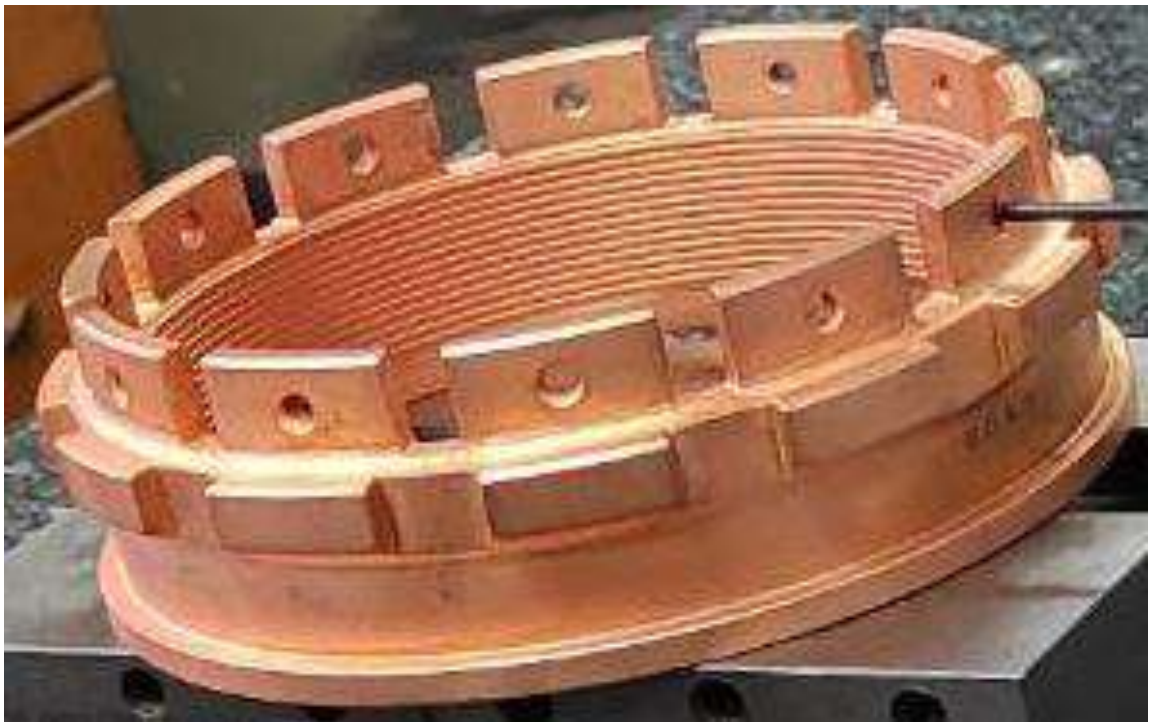


Рисунок 5.7 - Деталь після покриття міддю

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Для забезпечення підвищення експлуатаційної стійкості деталі «Гайка» в умовах виробництва можливі два варіанти технологічного процесу (ТП) .

У першому варіанті, заводський технологічний процес розроблено з урахуванням принципу концентрації переходів. Свердлильна та фрезерна операції виконуються на універсальних верстатах в операціях 050 та 060.

У другому варіанті запропоновано перевести операції 050 та 060 на операції з ЧПК на оброблювальному центрі VX-4. Верстати серії VX характеризуються високою продуктивністю.

Вихідні дані наведені в табл. 6.1

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу		
	Перший ТП		Другий ТП
Річна програма випуску деталей Np	5000		5000
Модель верстата	2Г175Б	FNK-25	VX-4
Штучний час Tшт, хв.	7,05	105,3	52,01
Розряд верстатника	3	3	5
Розряд наладчика	5	5	-
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладч	1	2	1
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	51,7	51,7	65,1
Тарифна ставка наладчика, грн/год	57,7	57,7	-
Число змін m	2		2
Оптова ціна верстата F, грн	1570800	2016000	5063940
Число верстатів	1	1	1
Сервісний термін обслуговування n, років	10	10	15
Норма амортизаційних відрахувань На %	10,9	10,7	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N	4,5	12,5	14,5

Дійсний річний фонд часу роботи обладнання $F_d=4015$ год.; нормативний коефіцієнт завантаження обладнання $\eta_{zn}=0,8$; річна програма випуску деталей $N_p=5000$ шт./рік.

Визначимо найбільш економічний варіант механічної обробки деталей за технологічною собівартістю для двох випадків [14]:

- на ділянці є обидва верстати,
- необхідне придбання цих верстатів.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для першого випадку. Попередньо визначимо:

- тип виробництва першого та другого варіанта технологічного процесу, скориставшись даними щодо трудомісткості операцій;
- кількість верстатів на кожну операцію C_p [14]:

$$C_p = \frac{t_{шт-кі} \cdot N}{F_d \cdot K_B \cdot K_3 \cdot 60} \quad (6.1)$$

де C_p - рахункова кількість обладнання;

$t_{шт-кі}$ - штучно-калькуляційний час, хв, операції виготовлення i - тої деталі;

N - програма випуску;

F_d - дійсний фонд часу роботи обладнання, год (при 2-змінній роботі 4015 год, при 1-змінній - 2007 год) [14];

K_B - коефіцієнт виконання норм часу (приймається за даними підприємства, приблизно можна прийняти $=1,1 \dots 1,2$) [14];

K_3 - коефіцієнт завантаження обладнання (приймається за даними підприємства, приблизно можна прийняти $=0,8 \dots 0,85$) [14];

60 - переведення хвилин в години [14].

P - прийнята кількість робочих місць P ;

$\eta_{зф}$ - фактичний коефіцієнт завантаження верстата [14]:

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P} \quad (6.2)$$

кількість операцій O , що виконуються на робочому місці[14]:

$$O = \frac{n_{\text{зн}}}{n_{\text{зф}}} \quad (6.3)$$

Розрахунки коефіцієнта закріплення операцій по обом ТП зведені в табл. 6.2 та 6.3

Таблиця 6.2 - Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій першого ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ср	Р	$n_{\text{зф}}$	О	$K_{\text{зоi}}$
050	Свердлильна	7,05	0,14	1	0,14	5,71	5,71
060	Фрезерна	105,3	2,18	3	0,72	1,1	1,1

Таблиця 6.3 - Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій другого ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ср	Р	$n_{\text{зф}}$	О	$K_{\text{зоi}}$
	Комплексна з ЧПК	52,01	0,99	1	0,99	0,8	0,8

Заробітна плата основних виробничих робітників

Розраховуємо за формулою[14]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} t_{\text{шти}i} \cdot C_{\text{тар}} \cdot K_6 \cdot K_{\text{доп}} \cdot K_{\text{соц}} \quad (6.4)$$

де $m_{\text{оп}}$ - кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{\text{шти}i}$ - норма штучного часу виконання i -ой операції, год (для переведення хвилин у години розділити на 60) [14];

$C_{\text{тар}}$ - годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, [14];

K_6 - коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERстатному обслуговуванні та визначається за табл. 2.1 [14];

$k_{\text{доп}}$ - коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату (приблизно $k_{\text{доп}} = 1,2$) [14];

$k_{\text{соц}}$ - коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{\text{соц}} = 1,4$ [14].

Заробітна плата основних виробничих робітників по обом ТП зведені в табл. 6.4 та 6.5.

Таблиця 6.4 - Заробітна плата верстатника за першим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	$C_{\text{тар}}$, грн	$K_{\text{доп}}$	$K_{\text{соц}}$	Z_o , грн
050	Свердлильна	7,05	51,7	1,2	1,4	10,2
060	Фрезерна	105,3	51,7	1,2	1,4	152,4

$\Sigma = 162,6$

Таблиця 6.5 - Заробітна плата верстатника за другим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	$C_{\text{тар}}$, грн	$K_{\text{доп}}$	$K_{\text{соц}}$	Z_o , грн
	Комплексна з ЧПК	52,01	65,1	1,2	1,4	94,8

Заробітна плата допоміжних робітників (наладчиків)

Розраховуємо за формулою[14]:

$$Z_n = \frac{C_{\text{тар.н}} \cdot \Phi_p \cdot \chi_n \cdot K_{\text{доп}} \cdot K_{\text{соц}}}{N} \quad (6.5)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ - годинна тарифна ставка, [14];

χ_n - чисельність робітників відповідної категорії, чол.

Заробітна плата наладчика за першим ТП наведена в табл. 6.6.

Таблиця 6.6 - Заробітна плата наладчика за першим ТП

№ оп	Найменування операції	С _{тар} , грн	Ф _р , год	Ч _н	К _{доп}	К _{соц}	З _н , грн
050	Свердлильна	57,5	65,1	1	1,2	1,4	1,97
060	Фрезерна	57,5	65,1	0,5	1,2	1,4	0,63

Σ=2,6

Амортизаційні відрахування на обладнання

Розраховуємо за формулою[14]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{k_i \cdot H_{ai} \cdot t_{oi}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.6)$$

де K_i - первісна вартість обладнання (оснащення) на i -ої операції, грн.; H_{ai} - річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання (оснащення) на i -ої операції (%) [14]; t_{oi} - основний (машинний) час на i -ої операції, хв; F_d - дійсний (ефективний) фонд часу роботи устаткування (оснащення), [14].Норма амортизації технологічного обладнання визначається за строком його корисного використання $T_{\text{вик}}$ (сервісного обслуговування) [14]:

$$H_a = \frac{1}{T_{\text{вик}}} \cdot 100\% \quad (6.7)$$

Норма амортизації технологічного оснащення приймається рівною 5%, якщо термін служби не перевищує 2-х років. У Додатках В, Г[14] наведено оптові ціни на обладнання в умовних одиницях (1 у.о. = 1 євро) та норми амортизаційних відрахувань.

Амортизаційні відрахування на обладнання по обом варіантам ТП зведені в табл. 6.7 та 6.8.

Таблиця 6.7 - Відрахування на амортизацію обладнання за першим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	К, грн	Н _а , %	F _д	A _{від} , грн
050	Свердлильна	7,05	1570800	10,9	4015	5,01
060	Фрезерна	105,3	2016000	10,7	4016	94,29

Σ=99,3

Таблиця 6.8 - Відрахування на амортизацію обладнання за другим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	К, грн	Н _а , %	F _д	A _{від} , грн
	Комплексна з ЧПК	52,01	5063940	14,5	4015	158,5

Витрати на інструмент

Розраховуємо за формулою[14]:

$$S_{in} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \sum_{j=1}^{n_{in}} \frac{C_{inj} \cdot t_{штij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.8)$$

де C_{inj} - ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, що визначається за каталогами підприємств, фірм-постачальників інструменту чи сайтах мережі Інтернет, грн./шт.;

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

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

T_{ij} - період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, [14];

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

n_j - число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту (для пластин без задніх кутів необхідно враховувати переверот пластини).

Витрати на інструмент за двома ТП зведені в табл. 6.9 та 6.10.

Таблиця 6.9 - Витрати на інструмент за першим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ц _i , грн	Типорозміри інструменту	п _i	Т, хв	п	η _{mi}	S _{ін} , грн
050	Свердлильна	7,05	300	Центровка	2	30	15	0,1	0,88
			432	Свердло	2	30	15	0,35	1,44
			320	Розгортка	1	180	10	0,15	0,17
			432	Зенкери	2	48	10	0,05	0,58
060	Фрезерна	105,3	580	Фреза	1	80	12	0,7	12,43

Σ=15,5

Таблиця 6.10 - Витрати на інструмент за другим ТП

№	Операція	Тшт, хв	ІП	Вартість інструментального обладнання			Т, хв	η _{mi}	п	S _{ін} , грн
				Різе тримач*, у.о.	Фреза*, свердло у.о.	Пластина у.о.				
	Комплексна з ЧПК	52,01	1	307	580	35	12	0,35	1	1,15
			2	307	450	35	80	0,35	1	8,2

* - Витрати, включені в договір про постачання обладнання. Σ S_{ін}=9,35 грн

Витрати на технологічну електроенергію

Розраховуємо за формулою[14]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot \kappa_{\text{од}} \cdot \kappa_w \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot \kappa_B} \cdot C_e \quad (6.9)$$

де N_B - встановлена потужність головного електродвигуна, [14];

k_N - середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК прийняти рівним 0,9, для решти обладнання - 0,8) [14];

k_q - середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК прийняти рівним 0,7, для решти обладнання - 0,6) [14];

k_{od} - середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК прийняти рівним 1, для решти обладнання - 0,6) [14];

k_w - коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу (прийняти рівним 1,08) [14];

η - коефіцієнт корисної дії обладнання (початкові дані);

k_B - коефіцієнт виконання норм часу [14] ;

C_e - вартість 1 кВт×год електроенергії (тариф для підприємств становить 3,45 грн. за 1 кВт×год) [14].

Витрати на технологічну електроенергію по двом ТП зведені в табл. 6.11 та 6.12.

Таблиця 6.11 - Витрати на силову електроенергію за першим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ці, грн/кВт год	N_B , кВт	k_N	k_q	k_{od}	k_w	η_c	K_e	S_e , грн
050	Свердлильна	7,05	3,45	4,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,8	1,1	0,64
060	Фрезерна	105,3	3,45	12,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,8	1,1	26,7

$\Sigma=27,4$

Таблиця 6.12 - Витрати на силову електроенергію за другим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ці, грн/кВт год	N_B , кВт	k_N	k_q	k_{od}	k_w	η_c	K_e	S_e , грн
	Комплексна з ЧПК	52,01	3,45	14,5	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	33,52

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання

Розраховуємо за формулою[15]:

$$S_p = \frac{Ц_{то} \cdot K_p \cdot C_p}{N} \quad (6.10)$$

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

K_p - коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду ($K_p \approx 0,02 \dots 0,04$) [14].

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання по обом ТП зведені в табл. 6.13 та 6.14.

Таблиця 6.13 - Витрати на ремонт та обслуговування обладнання по першому ТП

№ оп	Найменування операції	Відрахувань до ремонтного фонду, K_p	C_p	S_p , грн
050	Свердлильна	0,02	0,14	0,88
060	Фрезерна	0,02	2,18	17,57

$\Sigma = 18,46$

Таблиця 6.14 - Витрати на ремонт та обслуговування обладнання по другому ТП

№ оп	Найменування операції	Відрахувань до ремонтного фонду, K_p	C_p	S_p , грн
	Комплексна з ЧПК	0,02	0,99	20,05

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

Розраховуємо за формулою[14]:

$$S_H = \frac{\varphi \cdot C_{\text{ГН}} \cdot t_{\text{ін}} \cdot t_o \cdot K_T}{T_M \cdot m \cdot 60} \quad (6.11)$$

де φ - 1,3 - коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту[14];

$C_{\text{ГН}}$ - середньогодинна заробітня плата наладчиків, грн./год[14];

$t_{\text{ін}}$ - середній час налаштування одного інструменту поза верстатом,

хв ($t_{\text{ін}} = 4$ хв. - для токарних верстатів з ЧПК; $t_{\text{ін}}=5$ хв. - для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп) [14];

t_o - основний час роботи інструменту на операції, хв.;

K_T - коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі[14];

T_M - середня стійкість інструменту, хв. [14];

m - число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.; якщо налаштування інструментів поза верстатом не проводиться, $t_{\text{ін}} = 0$; у разі використання на операції кількох ріжучих інструментів, що налаштовуються поза верстатом, розрахунок для кожного інструменту повторюється і результати складаються[14].

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом по другому ТП зведені в табл. 6.15.

Таблиця 6.15 - Витрати на налаштування інструментів поза верстатом по другому ТП

№ оп	Найменуван. операції	T_o , хв	$C_{\text{ГН}}$, грн/год	Тип інструменту	n_i	$t_{\text{ін}}$	K_T	T_M	m	S_H
	Комплексна з ЧПК	43,48	50,9	Фреза свердло	6	5	0,9	60	2	4,82

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за варіантами наведено у табл. 6.16.

Таблиця 6.16 - Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Перший	Другий
Заробітна плата верстатника	$З_o$	162,6	94,8
Заробітна плата наладчика	$З_n$	2,6	-
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	99,3	158,5
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	18,46	20,05
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	15,5	9,35
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	S_n	-	4,82
Витрати на електроенергію	S_e	27,4	33,52
Витрати інші	I_n	32,52	18,96
Технологічна собівартість	C_T	358,38	340

Інші загальновиробничі витрати за формулою:

$$I_n = Z_o \cdot k_{заг}, \quad (6.12)$$

де $k_{заг}$ - коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, або до суми основної заробітної плати основних виробничих робітників та витрат, пов'язаних з роботою обладнання відповідно; $k_{заг} = 0,20 \dots 0,25$. [15]

$$I_{n1} = 162,6 \cdot 0,2 = 32,52 \text{ грн}$$

$$I_{n2} = 94,8 \cdot 0,2 = 18,96 \text{ грн}$$

Розрахуємо умовну економію за формулою [14]:

$$E_{yp} = (C_1 - C_2) N, \quad (6.12)$$

$$E_{yp} = (358,38 - 340) \cdot 5000 = 91900 \text{ грн.}$$

Таким чином, річна економія від впровадження другого ТП за статтею собівартість може становити 91900 грн., що свідчить про ефективність запропонованої технологічної інновації.

Здійснимо розрахунок технологічної собівартості поелементним методом для випадку придбання технологічного обладнання. Зіставимо величини капітальних витрат за варіантами. У табл. 6.17-6.18 розраховані капітальні витрати за формулою (6.13).

Капітальні вкладення обладнання, віднесені до одиниці продукції, визначаються за наступним рівнянням[14]:

$$K_o = \frac{C_{об} \cdot t_{шт.к}}{60 \cdot F_d} \quad (6.13)$$

Таблиця 6.17 - Капітальні витрати на обладнання за першим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
050	Свердлильна	7,05	1570800	4015	45,96
060	Фрезерна	105,3	2016000	4015	881,2

$\Sigma = 927,16$

Таблиця 6.18 - Капітальні витрати на обладнання за другим ТП

№ оп	Найменування операції	Тшт, хв	Ц, грн	F_d	K_o , грн
	Комплексна з ЧПК	52,01	5063940	4015	1093,3

Оскільки капітальні витрати є суттєво різними, оцінювати ефективність варіантів ТП слід на основі мінімуму наведених витрат. У табл. 6.19 наведено результати порівняння [14].

Таблиця 6.19 - Порівняння варіантів ТП за наведеними витратами

Витрати, грн		Варіанти ТП	
		перший	другий
Технологічна собівартість деталі	C_T	358,38	340
Капітальні витрати на деталь	K_o	927,16	1093,3
Собівартість річної програми	C_p	1791900	1700000
Капітальні витрати на програму	$K_{оріч}$	4635800	5466500
Річна економія (збиток), грн.	ΔW	-738800	

Аналіз табл. 6.19 показує, що придбання та використання високотехнологічного дорогого обладнання з найменшими поточними витратами на виробництво продукції в умовах багатосерійного типу виробництва часто є перешкодою для впровадження нових інноваційних технологій.

Розрахуємо критичний обсяг виробництва, при якому наведені витрати за варіантами рівні за формулою[15]:

$$N_{кр} = \frac{(C_{2\text{пост}} - C_{1\text{пост}}) + E_n(K_2 - K_1)}{C_{13м} - C_{23м}} \quad (6.14)$$

де $N_{кр}$ - критичний обсяг діяльності;

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

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

E_n - нормативний коефіцієнт ефективності[14];

K_1 - капітальні витрати за першим варіантом;

K_2 - капітальні витрати за другим варіантом;

C_{13M} - умовно-змінні витрати на 1 деталь за першим варіантом;

C_{23M} - умовно-змінні витрати на 1 деталь за другим варіантом.

$$N_{кр} = \frac{0,15(5466500 - 4635800)}{358,38 - 340} = 6779 \text{ шт}$$

Таким чином, якщо програма випуску менше $N_{кр}$, то більш вигідний перший варіант ТП. Якщо більше - 6779 шт., то більш вигідний другий варіант ТП [14].

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 План евакуації з робочого приміщення при пожежі

План евакуації під час надзвичайних ситуацій - це документ, що містить інформацію про маршрути та точки виходу для евакуації, правила поведінки та послідовність дій персоналу, що обслуговує об'єкт у разі аварії. При розробці такого плану особлива увага приділяється питанням, що стосуються шляхів евакуації. У разі аварії, евакуаційні маршрути повинні гарантувати безпечну евакуацію всіх присутніх у приміщенні людей через спеціально обладнані виходи [15].

У будівлі повинно бути присутніх щонайменше два виходи для евакуації з кожного поверху. Ширина шляхів евакуації повинна бути не менше 1 метра, а дверей - 0,8 метра. Двері, які ведуть до шляху евакуації, мають бути відчиненими в напрямку виходу з будинку. Зовнішні двері евакуації будинків, в свою чергу, повинні бути без засувів, які можуть бути відкриті ззовні без використання ключа [16].

Розташування евакуаційних виходів повинно бути розосередженим. Мінімальна відстань L (м) між суміжними евакуаційними виходами з приміщення визначається за формулою [16] :

$$L=1,5\sqrt{P},$$

де P - периметр приміщення (м). Відстань між евакуаційними виходами з приміщення вимірюється за периметром внутрішніх стін приміщення між ближніми краями прорізів евакуаційних виходів.

Висота та ширина евакуаційних виходів (дверей) для будинків різного призначення має встановлюватися відповідно до відповідних нормативних документів. Висота виходів повинна бути не менше 2,0 м, а ширина - 0,8 м [16].

Довжину шляху евакуації сходами типу С2 слід приймати такою, що дорівнює потрійній висоті їхніх маршів [16].

Висота та ширина шляхів евакуації встановлюється НД відповідно до призначення будинку. При цьому висота шляхів евакуації повинна бути не меншою ніж 2,0 м, а їх ширина - 1,0 м [16].

Ширину проходів до одиночних робочих місць у межах одного приміщення дозволяється зменшувати до 0,7 м [16].

Ширину магістральних проїздів вибирають за нормативами в залежності від інтенсивності руху та застосовуваних транспортних засобів 3,0...5,0 м (повинні бути з двох боків дільниці), а ширину проходів - від габаритів деталей 1,5...2,5 м [16].

При розташуванні верстатів біля колон, розташування від колони повинно бути на відстані не менш 700...900 мм.

Відстані між верстатами, між верстатами й елементами будівлі, регламентуються нормами, в залежності від габаритів верстатів (900-1500 мм).

Ступінь вогнестійкості для будинків І-го рівня повинен бути не менше EI 60, а для протипожежних перегородок - REI 60 [17]. Усі перекриття та розподільчі пристрої висотних будівель типів Н1, Н2, Н3, Н4 можна встановлювати тільки для водяного опалення [17]. Відстань до найвіддаленішого місця від цеху або приміщення до евакуаційного виходу залежить від ступеня вогнестійкості будівлі та кількості людей, які евакуюються, відповідно до СНиП 2.09.02-85 (табл. 7.1). Евакуаційні виходи не можуть розташовуватись через приміщення категорій А і Б, а також через виробничі приміщення в будівлях ІІІб, IV, ІУа, V ступенів вогнестійкості. План евакуації (рис. 7.1) розміщуються на видних місцях будівлі та приміщень, зазвичай в коридорах та проходах, біля виходів з приміщень.

Таблиця 7.1 - Максимально допустима відстань від найвіддаленішого робочого місця до евакуаційного виходу з приміщення

Об'єм приміщення, тис. м ³	Категорії приміщень	Ступені вогнетривкості будівлі	Максимальна допустима відстань, м, при щільності людського потоку в загальному проході, осіб/1 м ²		
			до 1	1-3	більше 3-5
До 15	А, Б	I, II, IIIa	40	25	15
		I, II, III, IIIa	100	60	40
		IIIб, IV	70	40	30
		V	50	30	20
30	А, Б	I, II, IIIa	60	35	25
		I, II, III, IIIa	145	85	60
		IIIб, IV	100	60	40
		V	50	30	20
40	А, Б	I, II, IIIa	80	50	35
		I, II, III, IIIa	160	95	65
		IIIб, IV	110	65	45
		V	50	30	20
50	А, Б	I, II, IIIa	120	70	50
		I, II, III, IIIa	180	105	75
60 і більше	А, Б	I, II, IIIa	140	85	60
60	В	I, II, III, IIIa	200	110	85
80 і більше	В	I, II, III, IIIa	240	140	100
Незалежно від об'єму	Г, Д	I, II, III, IIIa	Не обмежується	Не обмежується	Не обмежується
		IIIб, IV	160	95	65
		V	120	70	50

Будівлі висотою 10-20 м обладнуються вертикальними зовнішніми металевими сходами (драбинами) шириною 0,6 м. При висоті будівель понад 20 м влаштовуються похилі пожежні сходи шириною 0,7 м з нахилом не більше 6:1 та проміжними майданчиками, що розташовуються, як правило, поблизу вікна не менше як через 8 м по висоті. Пожежні сходи розташовуються на відстані по периметру будівлі не більше 200 м [17].

Механічний цех, де розташована діляниця з виготовлення деталі Гайка за вибухопожежною та пожежною небезпекою належить до категорії Д, розташований трьохверховий будівлі зі ступенем вогнетривкості IIIб. Один центральний поздовжній проїзд шириною 4,5 м та три поперечних проходів шириною 1,5 м. З обох боків проїзду встановлено ворота з дверима для проходів людей, які в умовах вимушеної евакуації відіграють роль евакуаційних виходів. У найчисленнішій зміні працює 200 працівників.

ВИСНОВОК

Процес написання магістерської роботи включав розроблення та оформлення документації, що стосується технологічного процесу виготовлення гайки. Було обрано та обґрунтовано спосіб отримання заготовки та розроблено маршрут виготовлення диска. Також були розраховані припуски на механічну обробку та підібрані оптимальні режими різання та норми часу.

Проведено проектування та розрахунок робочих та контрольних пристосувань. Зроблено істотні зміни в конструкції наявних пристроїв з метою механізації та автоматизації, що дозволило скоротити витрати часу.

Магістерська робота відповідає цілі – підвищення експлуатаційної стійкості деталі. У спеціальній частині роботи досліджено технологічне забезпечення для підвищення експлуатаційної стійкості гайки за рахунок медніння. У розділі про автоматизацію розглянута контрольно-вимірювальна машина.

Було зроблено економічне обґрунтування прийнятих рішень. Важливу роль у підвищенні продуктивності технологічного процесу гайки відіграє заміна старого обладнання на нове прогресивне. Тому в даному розділі була обчислена економічна ефективність впровадження оброблювального центру VX-4.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. - 694 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова]. – М.: Машиностроение, 1985.- 652 с.
3. Косилова А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении / А.Г. Косилова, Р.К. Мещеряков, М. А. Калинин. – М. : Машиностроение, 1976. – 352 с.
4. Ципак В.І. Розрахунки технологічних розмірів при проектуванні процесів механічної обробки / В.І. Ципак. – Запоріжжя : ЗДТУ, 1996. – 91 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 «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання/ Укл.: Гончар Н.В., Тумарченко Л.О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 61 с.
6. Режимы резания металлов. Справочник / [под ред. Ю.В. Барановского]. – М. : Машиностроение, 1972. – 176 с.
7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник / В.И.Баранчиков, А.В.Жаринов, Н.Д. Юдина и др.; Под общ.ред.В.И.Баранчикова.- М.: Машиностроение, 1990.- 400с
8. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика-машиностроителя. Том 2.Техническое нормирование станочных работ.М:ГНТИМЛ, 1961.-826с
9. В.А.Богуслаев, В.А.Леховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления – Запорожье : изд-во «Мотор Сич», 2000. – 430 с.
10. Альбом контрольно-измерительных приспособлений: Учебное пособие для вузов / Ю. С. Степанов, Б. И. Афонасьев, А. Г. Схиртладзе, А. Е. Щукин, А.

С. Ямников. / Под общ. ред. Ю. С. Степанова. - М.: Машиностроение, 1998. - 184 с.

11. Гальванические покрытия в машиностроении. Справочник в 2-х томах/ под ред. М.А. Шлугера, Л.Д. Тока.- М.: Машиностроение, 1985.- Т.2.1985.248с.

12.Координатные измерительные машины / В.А. Гапшис, А.Ю. Каспарайтис, М.Б. Модестов, и др. М.: Машиностроение, 1988. 328с.

13.Федотов А.В., Компанейц А.Н. Применение измерительных головок на обрабатывающих центрах //Измерительная техника, 1990, № 9. С. 24.

14.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.

15. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» у дипломних проектах (роботах) студентів спеціальностей 7(8).05110202 Авіаційні двигуни та енергетичні установки; 7(8).05110201 Технологія машинобудування; 7(8).05110301 Металорізальні верстати та системи; 7(8).05110203 Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок усіх форм навчання / Укл.: В.І. Шмирко, Ю.В.Якімцов Запоріжжя: ЗНТУ, 2014 – 22 с.

16. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги: ДБН В.1.1-7:2016. – [Чинний від 2016–07–16]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2017. – 47 с.

17. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Національний стандарт України: ДСТУ Б В.1.1-36:2016. – [Чинний від 2017–01–01]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2016. – 34 с.

18. Правило пожежної безпеки в Україні. Загальні положення: НАПБ А.01.001-2014.- [Чинний від 2014–12–30]. – Київ : Держспоживстандарт України, 2014. – 97 с.

19. Шарагин, Ю.Н., Иленков, Е.В., & Рыбников, П.М. (2020). Влияние параметров процесса меднения на поверхностные свойства медненных покрытий. Труды Института машиноведения, 6(2), 79-88. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44093443>(дата звернення: 11.12.2023).

20. Процесс меднения.: <https://wikicitroen.ru/2023/10/10/mednenie-stali-elektroliticeskim-sposobom-osobennosti-i-primeneniye>(дата звернення: 11.12.2023).

21. Мурачёв, Д. А. Методика измерения параметров на координатно-измерительной машине GLOBAL CLASSIC 05.05.05 / Д. А. Мурачёв, М. А. Черепанов. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2016. — № 12.3 (116.3). — С. 53-58. — URL: <https://moluch.ru/archive/116/31850/> (дата звернення: 11.12.2023).

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ.	A1							
						Документації		
						Складальне креслення		
						Деталі		
			1		Планшайда	1		
			2		Вставка	2		
			3		Мембрана	12		
			4		Стійка	1		
			5		Гайка	1		
			6		Кришка	1		
			7		Кришка	1		
	Подп. и дата				12	Палець	1	
				13	Шток	1		
				14	Кільце	1		
				15	Втулка	1		
					Стандартні вироби			
			8		Штіфт М4 ГОСТ 3128-70	12		
			9		Болт М5 ГОСТ 7798-70	6		
			10		Болт М5 ГОСТ 7798-70	6		
			11		Болт М6 ГОСТ 7798-70	3		
Инв. подл.								
					НУЗП 291346.038			
	Изм.	Лист	докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Пойденко М.В.				Пристаосування мембранне		
	Пров.	Козлова О.Б.						
						Лит.	Лист	Листов
								1
	Н.контр.	Дядя С.І.				НУЗП		
	Утв.	Дядя С.І.				М-122м		

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ.						Документація		
				A1		Складальне креслення		
						Деталі		
			1		Основа	1		
			2		Плита	1		
			3		Підставка	1		
			4		Кільце	1		
			5		Вісь	1		
			6		Вісь	1		
			7		Ручка	1		
		8		Стійка	1			
Подп. и дата						Стандартні вироби		
			9		Болт М10 ГОСТ 7808-80	1		
			10		Шпилька М8			
					ГОСТ 22042-76	1		
Подп. и дата								
Взам. инв.								
Инв. инв.								
Подп. и дата								
Подп.								
Изм.	Лист	докум.	Подп.	Дата	НУЗП 411010.038			
	Разраб.	Пойденко М.В.			Пристосування для перевірки біття			
Пров.	Козлова О.Б.							
И.контр.	Дядя С.І.				НУЗП М-122м			
	Утв.	Дядя С.І.						
					Лит.		Лист	Листов
					У			1