

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 «Отримання складних поверхонь непрофільованим електродом-інструментом на деталі типу «Шайба контровочна»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ВОЗДРАГАНОВА А.Ю.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОНОНОВ В.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(ПРІЗВИЩЕ 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)

ВОЗДРАГАНОВА Альона Юріївна
(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) « Отримання складних поверхонь непрофільованим електродом-інструментом на деталі типу «Шайба контровочна»

керівник проєкту (роботи) к.т.н ., доц. КОНОНОВ Віталій Владиславович
(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 деталі Шайба контровочна; річна програма випуску N=2500 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина. 2. Конструкторська частина. 3. Розрахунок деталі на міцність. 4. Автоматизація 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. Кількість слайдів – 15 слайдів

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	к.т.н., доц. КОНОНОВ В.В.		
6	к.т.н., доц. ПУХАЛЬСЬКА Г.В.		
7	к.т.н., доц. ШМИРКО В.І.		
нормоконтроль	к.т.н., доц. ДЯДЯ С.І.		

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	21.09.2023	
2	Конструкторська частина	06.10.2023	
3	Автоматизація. Абразивно-струменева обробка в псевдозрідженому шарі	19.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	28.10.2023	
5	Спецзавдання. Отримання складних поверхонь не профільним електродом-інструментом електроерозійним методом	06.11.2023	
6	Економічний розрахунок	16.11.2023	
7	Охорона праці	18.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	26.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	18.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

Альона ВОЗДРАГАНОВА

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Віталій КОНОНОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 116 с.; 47 рис.; 22 табл.; 3 дод.; 21 джерело.

АБРАЗИВНО-СТРУМЕНЕВА ОБРОБКА, АВТОМАТИЗАЦІЯ,
ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА, ПСЕВДОЗРІДЖЕНИЙ ШАР,
ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ, ШАЙБА КОНТРОВОЧНА.

Об'єкт дослідження – шайба контровочна.

Мета магістерського проєкту – розробити технологічний процес з отриманням складних поверхонь непрофільним електродом-інструментом на деталі «Шайба контровочна»

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В магістерському проєкті було спроектовано технологічний процес виготовлення деталі «Шайба контровочна», було обрано устаткування та інструмент, було прораховано режими різання з нормами часу також було спроектовано робоче пристосування для свердлильної операції та контрольне пристосування, пораховано деталь «Шайба контровочна» на міцність та було запропоновано оптимізувати геометрію деталі, було запропоновано автоматизувати оздоблювальну операцію за допомогою абразивно-струменевої обробки в псевдозрідженому шарі, розроблено спецзавдання за темою «отримання складних поверхонь не профільним електродом-інструментом електроерозійним методом», пораховано трудомісткість електроерозійної операції, оцінено очікувану економічну ефективність від впровадження електроерозійної обробки та передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	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	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	12
1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі	18
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	18
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	23
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	26
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	26
1.6 Розрахунок режимів різання	31
1.7 Технічне нормування операцій	41
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	45
1.8.2 Розробка свердлильної операції 070	49
1.8.3 Розробка електроерозійної операції 080	52
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	55
2.1 Проєктування робочого пристрою	55
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	55
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	55
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу	58
2.2 Проєктування контрольного пристосування	61
3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ	64
3.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	64
3.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	70

3.3 Оптимізація геометрії деталі.....	72
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ	73
5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	79
5.1 Основи електроерозійної обробки.....	79
5.2 Дротова електроерозія	83
5.3 Обладнання, що застосовується для електроерозійної обробки	88
5.4 Розрахунок трудомісткості електроерозійної операції	90
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	93
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	105
ВИСНОВОК.....	109
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	110
ДОДАТОК А. Хімічний склад та механічні властивості сталі 30ХГСА.....	113
ДОДАТОК Б. Специфікація робочого пристосування.....	114
ДОДАТОК В. Специфікація контрольного пристосування	116

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

AJM	Abrasive jet machining (псевдозрідений шар)
EDM	Electric discharge machining (електроерозійна обробка)
FB-AJM	Fluidized bed assisted abrasive jet machining (абразивно-струменева обробка в псевдозріженому шарі)
HMI	Людино-машинний інтерфейс
Ra	Шорсткість поверхні
ЕЕО	Електроерозійна обробка
КГШП	Кривошипно гарячештампувальний прес
КПО	Коефіцієнт природної освітленості
МОП	Маршрут обробки поверхні
ТП	Технологічний процес
ЧПК	Числове програмне керування

ВСТУП

У магістерському дипломному проєкті з теми «отримання складних поверхонь не профільним електродом-інструментом електроерозійним методом» планується розробка технологічного процесу обробки, який буде застосовуватися у серійному виробництві.

Мета проєктування полягає в реалізації більш вдосконаленого обладнання та методів техніко-економічного аналізу, розробки технологічного забезпечення і підвищення якості виробу при мінімальних витратах.

Технологія машинобудування представляє собою галузь науки, яка досліджує та встановлює закономірності, що діють у процесі виготовлення машин. Розуміння цих закономірностей необхідне для створення нових деталей за допомогою систем автоматизованого проєктування.

Технологія авіаційного двигунобудування розглядає ті ж питання, але з урахуванням особливостей конструкції виробів, умов їх експлуатації та вимог до надійності. Основні напрямки включають розробку економічних технологій з мінімальними витратами часу і матеріалів, впровадження безперервних автоматизованих процесів з обмеженою участю робітників, а також створення екологічно чистих технологій з уникненням відходів.

Ці заходи сприяють підвищенню техніко-економічної ефективності виробництва, зменшенню витрат матеріалів і інструментів, а також збільшенню якості продукції, зниженню собівартості, збільшенню обсягів виробництва і продуктивності процесу.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Шайба контровочна» (рис. 1.1) належить до вузлу в авіаційному двигуні нового покоління МС-500. Слід врахувати, що максимальна потужність МС-500 у версії В становить 710 к.с., а у версії В-01 - до 1000 к.с. Водночас у АІ-450 цей параметр становить 465 к.с., тобто трохи більше за крейсерський режим МС-500.

Кожен з 12^{ти} багатограних отворів в деталі контрує відповідні гайки до стяжного болта. Гайки встановлюються в отвори під певним кутом та стягуються болтами в головці, яких є отвори для сталевого дроту 0,8 мм, який нанизує ці болти, таким чином відбувається контрування. Таке багатогранне контрування унеможливилює будь-яке навіть найменше прокручування деталі. Інші ж 12 отворів слугують для приєднання цієї деталі до диску у вузлі.

Шайба контровочна була вироблена з легованої сталі 30ХГСА ДСТУ 7806 (хімічний склад та фізичні властивості матеріалу представлені в додатку А, таблиця А.1 та А.2).

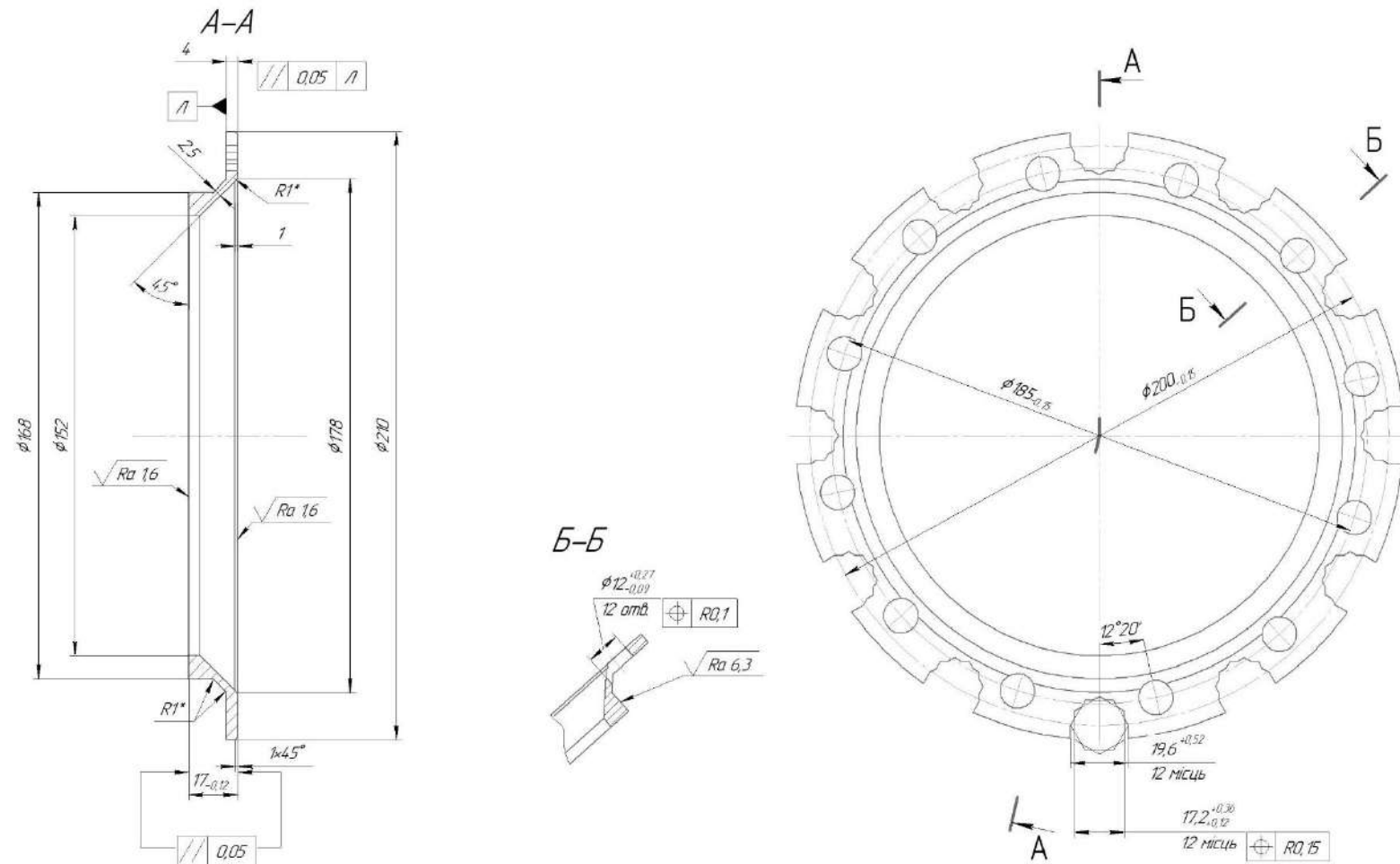
$\sqrt{Ra\ 3,2\ (\checkmark)}$


Рисунок 1.1 - Ескіз деталі «Шайба контровна»

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Організація виробництва набуває конкретного вигляду через налагодження виробничого процесу, основними складовими, якого є: об'єкти праці, інструменти праці і сама праця. Гармонійна взаємодія всіх компонентів досягається шляхом створення структури виробничого процесу, яка відображає якісний та кількісний стан компонентів, спосіб організації їх взаємодії та особливості тих процесів, які відбуваються між ними.

Виробничий процес представляє собою сукупність взаємопов'язаних робочих та природних процесів, які призводять до перетворення природних ресурсів, сировини та матеріалів на готові товари та засоби для виробництва. При виробництві сільськогосподарської продукції необхідно раціонально поєднувати виробничі процеси у просторі та часі. При цьому кожне підприємство має свої власні особливості такого поєднання.

Організація виробничих процесів і вибір методів підготовки, планування та контролю є результатом впливу типу виробництва.

Тип виробництва представляє собою комплексну характеристику технічних, організаційних та економічних особливостей промислового виробництва, обумовлену його спеціалізацією, обсягом та регулярністю випуску продукції (виробів).

Враховуючи масу деталі $m = 0,47$ кг та річну програму випуску $N=2500$ штук, було прийнято рішення про застосування середньосерійного типу виробництва [1].

Форми організації технологічних процесів відповідно до ГОСТ 14312–74 визначаються залежно від послідовності виконання операцій технологічного процесу, розташування технологічного обладнання та кількості виробів.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Порівнюється два методи отримання штампованих заготовок за допомогою кільцевого прокату та КГШП (кривошипно горячештамповочний прес). Ескізи заготовок зображені на рисунках 1.2, 1.4.

Спосіб отримання: КГШП.

313...372 НВ.

Зміщення в площині роз'єму штампів не більше 0,6 мм.

Група контролю 3 по ОСТ 1 00021-78.

Невказані штампувальні ухили 5-7.

Невказані радіуси заокруглень: зовнішні - R5, внутрішні - R3.

* - розмір для довідок.

Маса заготовки $Q=1,83$ кг.

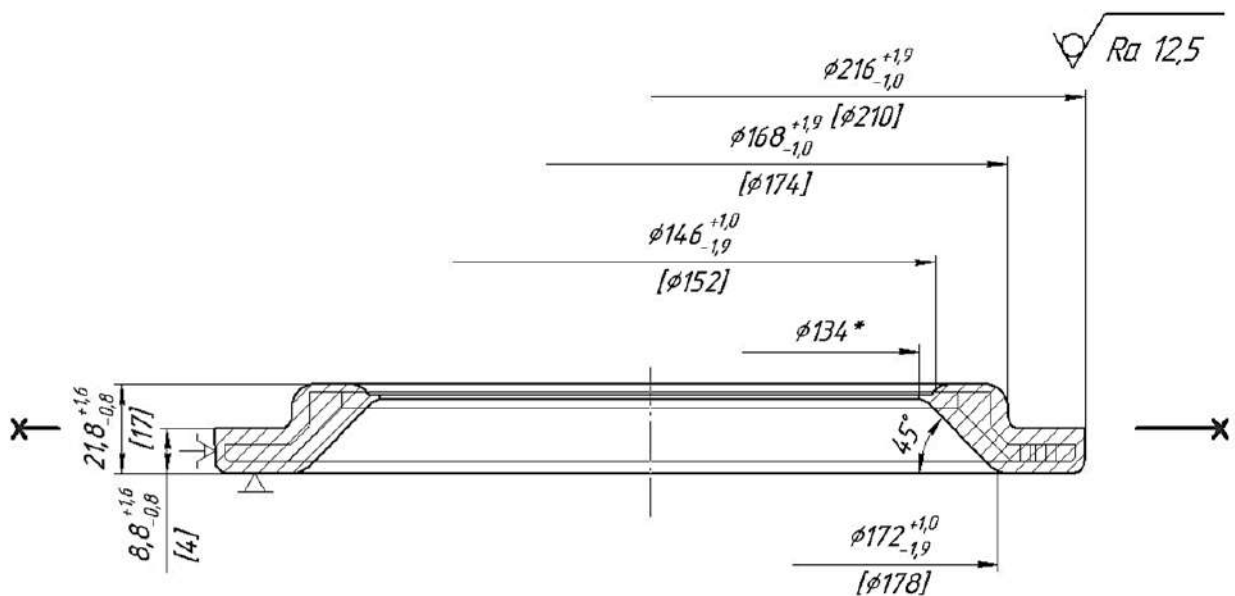


Рисунок 1.2 - Ескіз гарячештампованої заготовки.

Масу заготовки ($m_3 = 1,83$ кг) було розраховано за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Siemens NX (рис.1.3).



Рисунок 1.3 – Модель горячештампованой заготовки.

Спосіб отримання заготовки: кільцевий прокат.

Невказані радіуси заокруглень R5.

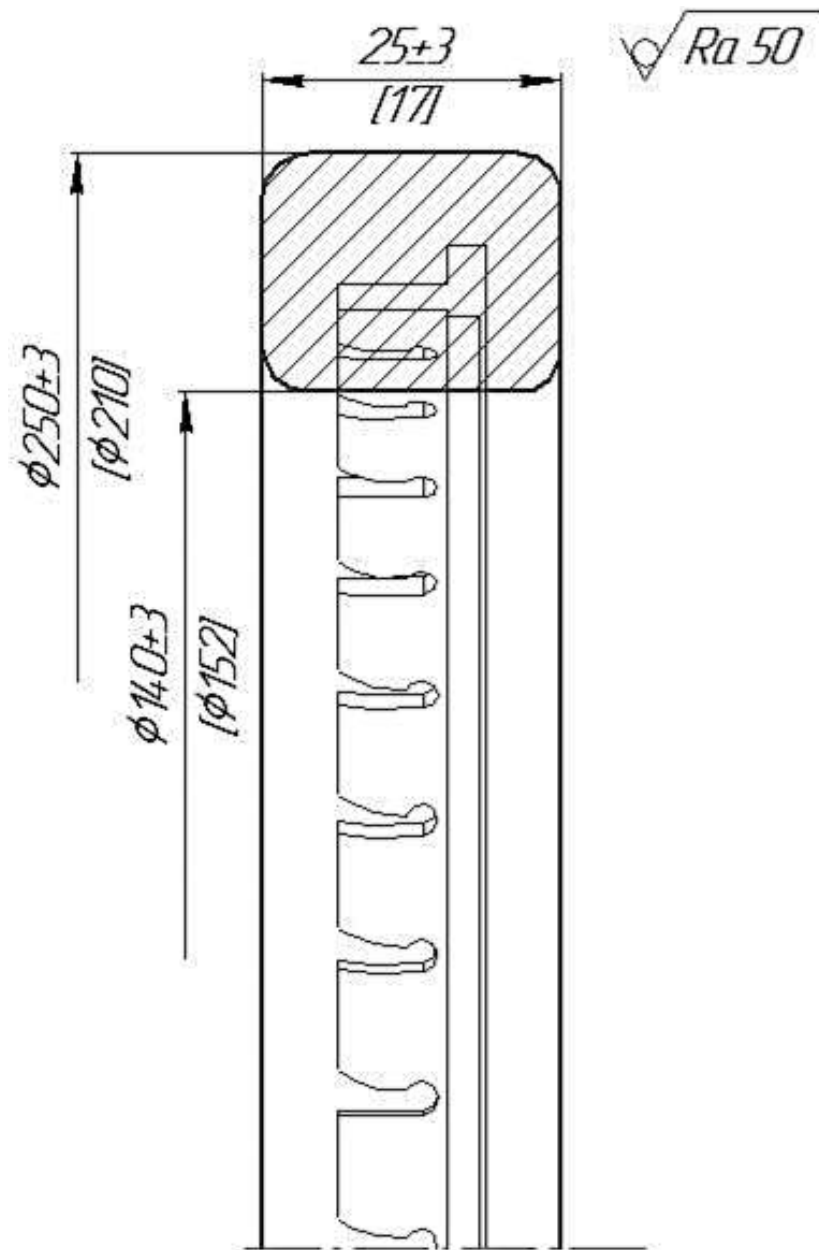


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки з кільцевого прокату.

Масу заготовки ($m_3 = 3,7$ кг) було розраховано за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення Siemens NX (рис.1.5).

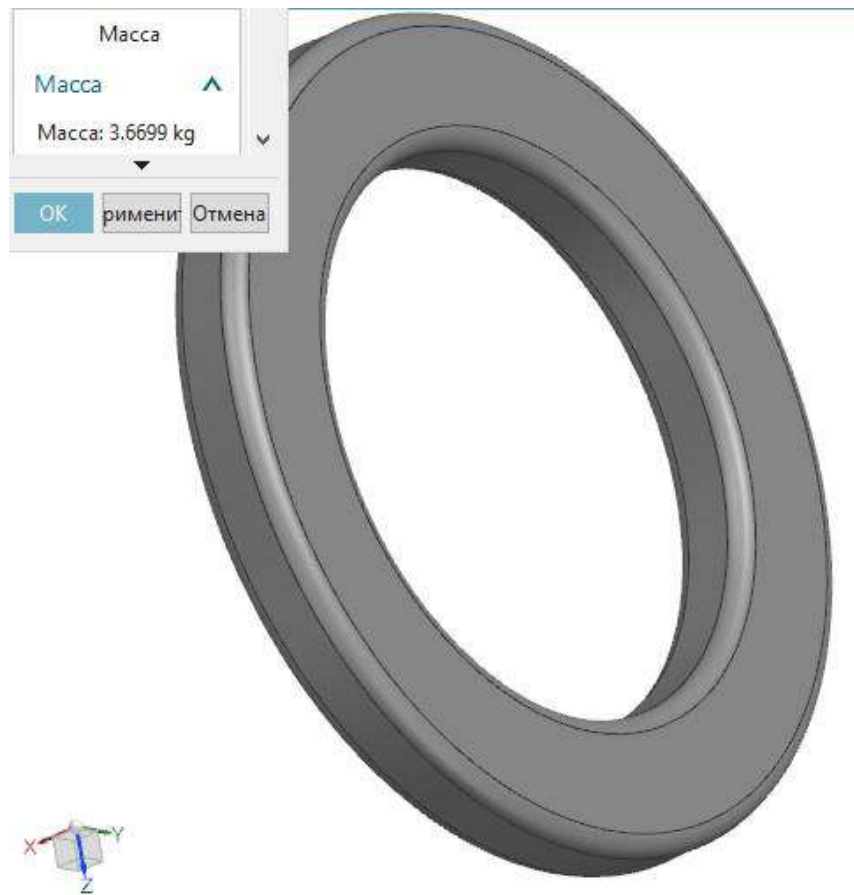


Рисунок 1.5 – Модель заготовки з кільцевого прокату.

Вартість однієї заготівки, отриманої кільцевим прокатом чи КГШП за формулою (1.1):

- КГШП (штамповка):

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{отх}}}{1000} \quad (1.1)$$

де Q – маса заготовки, кг;

q – маса деталі, кг;

B_6 – базова вартість виготовлення 1 т заготовок, грн;

K_T – коефіцієнт врахування точності заготовки;

K_M – коефіцієнт врахування матеріалу заготівки;

K_C – коефіцієнт врахування групи складності виготовлення заготовки;

K_3 – коефіцієнт врахування маси заготовки;

K_{π} – коефіцієнт врахування програми випуску заготовок.

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 1,83 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 1 - (1,83 - 0,47) \cdot \frac{140}{1000} = 6,38 \text{ грн.}$$

- кільцевий прокат:

$$B_{\text{кіль.пр.}} = \frac{2540}{1000} \cdot 3,7 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 - (3,7 - 0,47) \cdot \frac{140}{1000} = 8,01 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) за формулою (1.2):

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

де q – маса деталі, кг;

Q – маса заготовки, кг.

- КГШП:

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{0,47}{1,83} = 6,38$$

- кільцевий прокат:

$$\eta_{\text{ГКМ}} = \frac{0,47}{3,7} = 8,01$$

Нижче наведено результати розрахунку у таблиці 1.3.

Однозначно після розрахунків обрано заготовку виготовлену на КГШП, бо за показниками вартості та витрат матеріалу вона є більш вигідною.

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники за варіантами

Показник	Познач.	Один. виміру	Варіант	
			КГШП	Кільц. прокат
Маса заготовки	Q	кг	1,83	3,7
Базова варт. 1т заготовок	Сб	грн	3500	2540
Коефіцієнти	K_T	-	0,9	0,9
	K_M	-	1	1
	K_B	-	1,14	1
	K_n	-	1	1
	K_C	-	1	1
Варт. 1т стружки	$S_{отх}$	грн	140	140
Варт. 1шт. загот.	С	грн	6,38	8,01
КВМ	η_1	-	0,26	0,13

Річне заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_1 - B_2)N \quad (1.3)$$

де B_1 – вартість однієї тони заготовок виготовлених на КГШП, грн.;

B_2 – вартість однієї тони заготовок виготовлених кільцевим прокатом, грн;

N – річна програма випуску заготовок, шт.

$$E_B = (8,01 - 6,38) \cdot 2500 = 4062,18 \text{ грн.}$$

Річне заощадження матеріалу:

$$M = \frac{q(\eta_2 - \eta_1)}{\eta_1 \eta_2} \cdot N \quad (1.4)$$

$$M = \frac{0,47(0,27 - 0,13)}{0,27 \cdot 0,13} \cdot 2500 = 4675 \text{ кг}$$

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Оцінка технологічності придатності деталі включає два основних аспекти:

1. Якісний аналіз технологічності конструкції деталі.
2. Кількісний аналіз технологічності конструкції деталі.

Якісна оцінка технологічності конструкції деталі визначається шляхом узагальнення досвіду виконавця та характеризується за допомогою таких критеріїв, як "добре - погано" та "допустимо - неприпустимо". Вона великою мірою залежить від кваліфікації та досвіду самого виконавця.

Кількісна оцінка технологічності деталі здійснюється за допомогою числових показників і не залежить від виконавця.

Коефіцієнт використання матеріалу в машинобудуванні – $\eta \geq 0,8$, проте дана деталь «шайба контровочна» характеризується $\eta = 0,26$, що дає можливість зробити висновок про не технологічність деталі.

Кількісна оцінка за коефіцієнтами за формулою:

$$K_{\text{тех}} = \frac{K_{\text{ун}} + K_{\text{точ}} + K_{\text{ш}}}{3} \quad (1.5)$$

де $K_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікованих елементів;

$K_{\text{точ}}$ – коефіцієнт точності;

$K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості.

Коефіцієнт уніфікації за формулою:

$$K_{\text{ун}} = \frac{n_{\text{ун}}}{n_{\Sigma}} \quad (1.6)$$

де $n_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікації;

n_{Σ} – загальна кількість деталей.

Коефіцієнт точності за формулою:

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср}}} \quad (1.7)$$

де $A_{\text{ср}}$ – середній квалітет точності за формулою:

$$A_{\text{ср}} = \frac{15 \cdot n_1 + 14 \cdot n_2 + \dots + 6 \cdot n_n}{\sum_n} \quad (1.8)$$

де $n_{1\dots n}$ – кількісний показник розмірів, що мають конкретний квалітет;

$\sum_n$ – кількість показник усіх розмірів.

Коефіцієнт шорсткості за формулою:

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{B_{\text{ср}}} > 0,6 \quad (1.9)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості;

$B_{\text{ср}}$ – середній квалітет шорсткості, за формулою:

$$B_{\text{ср}} = \frac{K_4 \cdot n_1 + K_5 \cdot n_2 + \dots + K_7 \cdot n_n}{\sum_n} \quad (1.10)$$

де $K_{4\dots 7}$ – клас шорсткості;

$n_{1\dots n}$ – кількісний показник розмірів, що мають конкретний клас шорсткості;

$\sum_n$ – кількість показник усіх розмірів.

Було проведено кількісну оцінку деталі (рис.1.6):

Всі результати підрахунків в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз деталі на технологічність

№розм	Розміри	Квалітет	Шорсткість/клас шор.	Уніфікація
1	2	3	4	5
діаметральні				
1	ø 168	h10	3,2/5	+
2	ø 152	H10	3,2/5	+
3	ø 178	H10	3,2/5	+
4	ø 210	h10	3,2/5	+
5	ø 200 _{-0,15}	h10	3,2/5	—
6	ø 185 _{-0,15}	h10	3,2/5	—
7	ø 12 ^{+0,27} _{-0,09}	H10	3,2/5	—
лінійні				
8	19,6 ^{+0,52}	H10	3,2/5	—
9	17 ^{+0,36} _{-0,12}	H10	3,2/5	—
10	17 _{-0,12}	h10	1,6/6	+
11	4	h10	1,6/6	+
12	3	h10	3,2/5	—
13	1	h10	1,6/6	—
кутові				
14	45°	h10	3,2/5	—
15	12°20'	h10	3,2/5	—

Коефіцієнт уніфікації за формулою (1.6):

$$K_{\text{ун}} = \frac{6}{15} = 0,4 \neq 0,6$$

Коефіцієнт уніфікації не задовольняє вимогам, тому вважається не технологічним.

Середній квалітет точності та коефіцієнт точності за формулою (1.8), (1.7):

$$A_{\text{ср}} = \frac{15 \cdot 10}{15} = 10$$

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{10} = 0,9 > 0,6$$

Коефіцієнт точності задовольняє вимогам, тому вважається технологічним.

Коефіцієнт та середній квалітет шорсткості, який за формулами (1.10), (1.9):

$$B_{cp} = \frac{5 \cdot 12 + 6 \cdot 3}{15} = 5,2$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{5,2} = 0,81 > 0,6$$

Коефіцієнт шорсткості задовольняє вимогам, тому вважається технологічним.

Кількісна оцінка за коефіцієнтами за формулою (1.5):

$$K_{тех} = \frac{0,4 + 0,9 + 0,81}{3} = 0,7 > 0,6$$

У висліді проведених розрахунків можна зробити наступний висновок: деталь відповідає лише двом з трьох кількісним критеріям оцінки технологічності конструкції та зовсім не відповідає якісним параметрам. Тому робимо висновок, що деталь не відповідає стандартам технологічності.

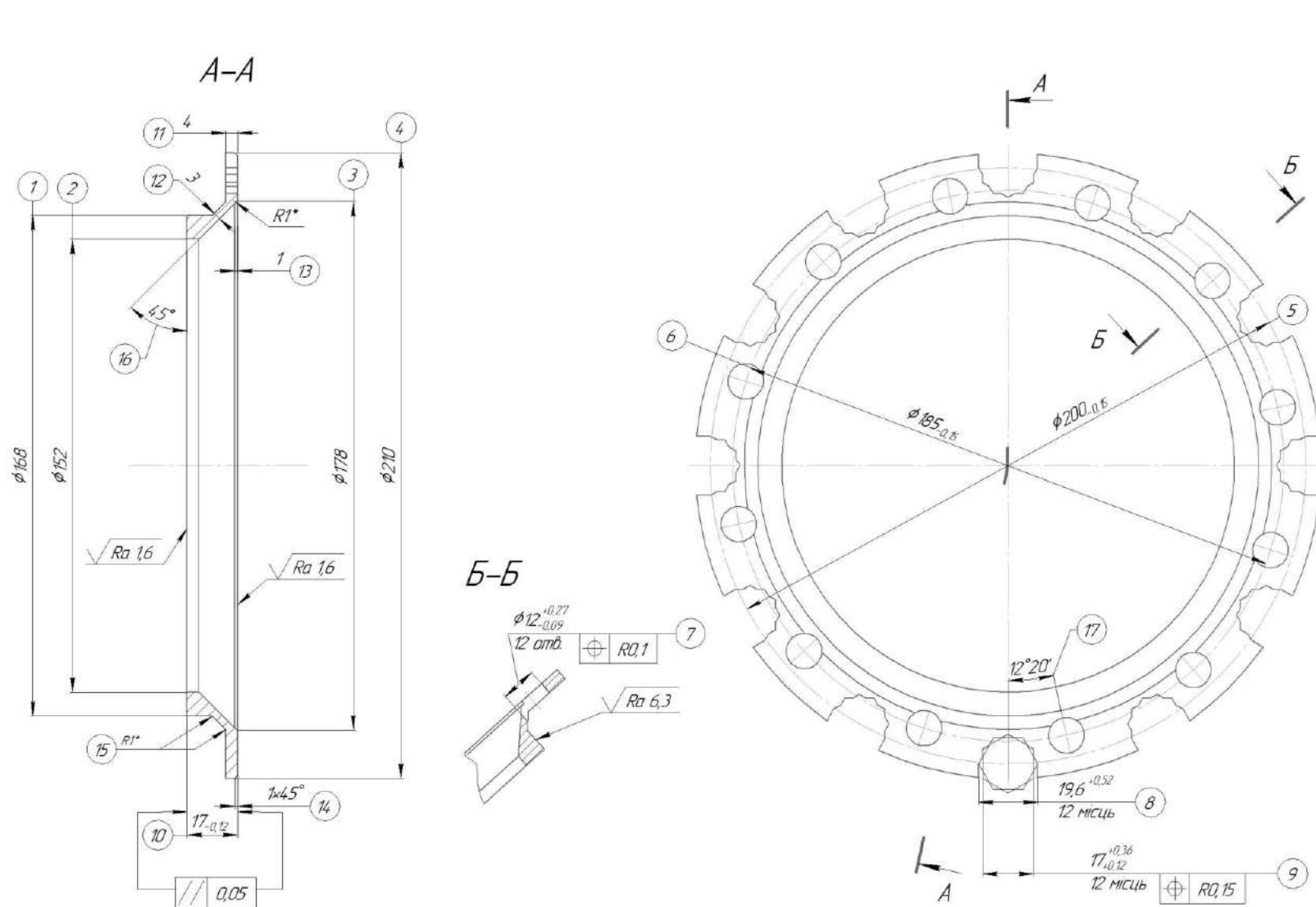


Рисунок 1.6 – Технологічна розмітка поверхонь деталі «шайба контровочна».

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Проектування маршруту обробки циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 210h10_{(-0,185)}$.

Показники заготовки:

$Td_3 = 3,2$ мм; $Ra_3 = 12,5$ мкм; квалітет - IT16.

Показники деталі:

$Td_d = 0,185$ мм, $Ra_d = 3,2$ мкм; квалітет – h10.

Уточнення за квалітетом за формулою:

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{Td_{заг}}{Td_{дет}}; \quad (1.11)$$

де $Td_{заг}$ – допуск на заготовку в мкм;

$Td_{дет}$ – допуск на деталь в мкм.

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{3,2}{0,185} = 17,3$$

Уточнення за шорсткістю за формулою:

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{Ra_{заг}}{Ra_{дет}}; \quad (1.12)$$

де $Ra_{заг}$ – шорсткість заготовки в мкм;

$Ra_{дет}$ – шорсткість деталі в мкм.

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{12,5}{3,2} = 3,9$$

Кількість переходів за формулою (1.13):

$$K_{розр} = 2 \lg \varepsilon_{oTd} \quad (1.13)$$

$$K_{\text{розр}} = 2 \cdot \lg 17,29 = 2,47$$

Прирівнюю кількість переходів до $K=2$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 10 = 6 = 4 + 2$$

$$IT16 \rightarrow T/O \rightarrow h12 \rightarrow h10$$

$$Ra\ 12,5 \rightarrow T/O \rightarrow Ra\ 6,3 \rightarrow Ra\ 3,2$$

Перевірка:

$$\varepsilon_{oTd} \leq \Pi \varepsilon_{iTd}$$

$$17,29 \leq 17,29 - \text{вірна}$$

$$\varepsilon_{oRa} \leq \Pi \varepsilon_{iRa}$$

$$3,9 \leq 3,9 - \text{вірна}$$

Всі підрахунки в таблиці 1.3.

Проектування маршруту обробки внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 152H10^{(+0,16)}$.

Показники заготовки:

$Td_3 = 2,9$ мм; $Ra_3 = 12,5$ мкм; квалітет - IT 16.

Показники деталі:

$Td_d = 0,16$ мм, $Ra_d = 3,2$ мкм; квалітет – h10.

Уточнення за квалітетом за формулою (1.11):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{2,9}{0,16} = 18,13$$

Уточнення за шорсткістю за формулою (1.12):

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{12,5}{3,2} = 3,9$$

Кількість переходів за формулою (1.13):

$$K_{\text{розр}} = 2 \cdot \lg 18,13 = 2,51$$

Прирівнюю кількість переходів до $K=2$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 10 = 6 = 4 + 2$$

$$IT16 \rightarrow T/O \rightarrow H12 \rightarrow H10$$

$$Ra\ 12,5 \rightarrow T/O \rightarrow Ra\ 6,3 \rightarrow Ra\ 3,2$$

Перевірка:

$$\varepsilon_{oTd} \leq \Pi \varepsilon_{iTd}$$

$$18,13 \leq 18,13 - \text{вірна}$$

$$\varepsilon_{oRa} \leq \Pi \varepsilon_{iRa}$$

$$3,9 \leq 3,9 - \text{вірна}$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – План обробки поверхонь

	Показ., мкм	Уточн.	Кіл. пер.	Різн.пок. ШПК	i	Метод обр.		Td, мкм	Ra, мкм	ε_{iTd}	ε_{iRa}
Зовн. цил.пов. $\varnothing 210h10_{(-0,185)}$	Td Ra	17,29 3,9	2	$16-6=10=$ $=4+2$	1	Загот.	IT16	3200	12,5	—	—
					2	T/O	—	—	—	—	—
					3	Точ. чорнове	H12	460	6,3	6,96	1,98
					4	Точ. чистове	H10	185	3,2	2,49	1,97
					5	Уточнення				17,29	3,9
Внутр. цил.пов. $\varnothing 152H1_{(+0,16)}$	Td Ra	18,13 3,9	2	$16-6=10=$ $=4+2$	1	Загот.	IT16-	2900-	12,5	—	—
					2	T/O	—	—	—	—	—
					3	Розт. чорн.	h12	400	6,3	7,25	1,98
					4	Розт. чист.	h10	160	3,2	2,5	1,97
					5	Уточнення				18,13	3,9

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

При порівнянні первинного та проєктного технологічних процесів деталі «шайба контровочна» було поєднано декілька операцій, а саме токарну внутрішню та зовнішню обробку в одну 060 токарну з ЧПК (числовим програмним керуванням) та дві токарні зовнішні обробки в одну 065 токарну з ЧПК. Повний маршрут виготовлення наведений на одному з плакатів. Також було розроблено електроерозійну операцію, замість 4^{box} механічних операцій. А саме замість фрезерної з ЧПК, на якій оброблювалось 12 отворів складного профілю, після чого знімалися грубі задирки на плоскошліфувальній операції, далі оброблявся внутрішній діаметр від задирок після фрезерної операції та проводилась віброгалтовка, для прибирання всіх нерівностей на поверхні.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск розрахунково-аналітичним методом на розмір $\varnothing 210h10_{(-0,185)}$ – поверхня зовнішня.

МОП (маршрут обробки поверхонь):

1. Заготовка IT16 ($T_{D1} = 2900$ мкм);
2. Т/О
3. Точіння чорнове h12 ($T_{D2} = 460$ мкм);
4. Точіння чистове h9 ($T_{D3} = 100$ мкм);

Дані для заготовки [2, т.3.7, с.23] занесені до таблиці 1.5.

За переходами:

1. Заготовка $Rz_1 = 160$ мкм $h_1 = 200$ мкм;
2. Т/О

3. Точіння чорнове $Rz_2 = 80$ мкм $h_2 = 50$ мкм;

4. Точіння чистове $Rz_3 = 15$ мкм $h_4 = 20$ мкм.

Сумарне значення просторових відхилень за формулою:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2} \quad (1.14)$$

де $\rho_{зм}$ – допустиме значення зміщення поверхні;

$\rho_{кор}$ – допустиме значення короблення поверхні.

Допустиме значення зміщення поверхні за формулою:

$$\rho_{зм} = \rho_{зм\ таб} \cdot l \quad (1.15)$$

де $\rho_{к\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні;

l – довжина даної зовнішньої поверхні.

$$\rho_{зм} = \pm 0,7 \cdot 4 = 5,6 \text{ мм}$$

Допустиме значення короблення поверхні за формулою:

$$\rho_{кор} = \rho_{к\ таб} \cdot l \quad (1.16)$$

де $\rho_{к\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні;

l – довжина даної поверхні.

$$\rho_{кор} = 2,4 \cdot 4 = 9,6 \text{ мкм}$$

Сумарне значення просторових відхилень за формулою (1.14):

$$\rho_1 = \sqrt{1400^2 + 9,6^2} = 1111 \text{ мкм}$$

Коефіцієнти уточнення k_i [3, т.13, с.42].

$$\rho_3 = \rho_1 \cdot k_3 = 1111 \cdot 0,06 = 0,66 \text{ мкм};$$

$$\rho_4 = \rho_3 \cdot k_4 = 0,66 \cdot 0,04 = 0 \text{ мкм};$$

Визначення мінімальних припусків за формулою:

$$2Z_i^{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.17)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей попередньої операції;

h_{i-1} – висота дефектного шару попередньої операції;

ρ_{i-1} – значення просторового відхилення попередньої операції;

ε_i – значення похибки установки даної операції, [3, т.13, с.42].

$$2Z_3^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{1111^2 + 300^2}) = 1,32 \text{ мм};$$

$$2Z_4^{\min} = 2(80 + 50 + \sqrt{1^2 + 80^2}) = 0,42 \text{ мм}.$$

Номінальні припуски:

$$2Z_3^H = 2Z_3^{\min} + e_{i \text{ заг}} = 0,42 + 1,1 = 2,42 \text{ мм};$$

$$2Z_4^H = 2Z_4^{\min} + Td_3 + ei_{\text{дет}} = 0,42 + 0,4 + 0,185 = 1,005 \text{ мм}.$$

Номінальні діаметри:

$$d_4^H = d_{\text{дет}}^H = 210 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_4^H + 2Z_4^H = 210 + 1,005 = 211,005 \text{ мм};$$

$$d_{\text{заг}}^H = d_3^H + 2Z_3^H = 211,005 + 2,42 = 213,425 \text{ мм}.$$

Максимальні припуски:

$$2Z_3^{\max} = 2Z_3^{\min} + Td_{\text{заг}} + Td_3 = 1,32 + 3,2 + 0,4 = 4,92 \text{ мм};$$

$$2Z_4^{\max} = 2Z_4^{\min} + Td_3 + Td_4 = 0,42 + 0,4 + 0,185 = 1,005 \text{ мм}.$$

Перевірка:

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

$$4,92 - 1,32 = 3,6 \text{ мм} \equiv 3,2 + 0,4 = 3,6 \text{ мм};$$

$$1,005 - 0,42 = 0,585 \text{ мм} \equiv 0,4 + 0,185 = 0,585 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{заг}}^H - d_{\text{дет}}^H = 2Z_o^H,$$

$$213,4 - 210 = 2,42 + 0,98$$

$$3,4 = 3,4.$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Припуск розрахунково-аналітичним методом на розмір $\emptyset 210h10_{(-0,185)}$ – поверхня зовнішня.

	Найменування операції	R_z , мкм	h , мкм	ρ ,	ε_i	Td , мм	$2Z_i^H$, мм	d_i^H , мм	Вик. p-p d , мм	$2Z_i^{\max}$, мм	$2Z_i^{\min}$, мм
1	Заготівельна	160	200	1111	—	3,2	—	213,4	$\emptyset 214_{-1,1}^{+2,1}$	—	—
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Точ. чорнове	80	50	1	120	0,4	2,42	211,005	$\emptyset 211_{-0,4}$	4,92	1,32
4	Точ. чист.	15	20	0	4	0,185	1,005	210	$\emptyset 210_{-0,185}$	1,005	0,42

Табличний спосіб розрахунку припусків.

Поверхня $\emptyset 152h10_{(-0,16)}$ – циліндрична внутрішня.

Дані для заготовки [2, т.4.4, с.44] занесені до таблиці 1.5.

1. Заготовка;

2. Т/О;

3. Розточування чорнове $2Z_3^{\min} = 2 \cdot 2,2 = 4,4 \text{ мм};$

4. Розточування чистове $2Z_4^{\min} = 2 \cdot 0,7 = 1,4 \text{ мм};$

Розрахункові номінальні припуски:

$$2Z_3^H = 2Z_2^{\min} + e_{i \text{ заг}} = 4,4 + 1,9 = 6,3 \text{ мм};$$

$$2Z_4^H = 2Z_4^{\min} + Td_3 + e_{s \text{ дет}} = 1,4 + 0,4 + 0,16 = 1,96 \text{ мм};$$

Номінальні діаметри:

$$d_4^H = d_{\text{дет}}^H = 152 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_4^H - 2Z_4^H = 152 - 1,96 = 150,04 \text{ мм};$$

$$d_{\text{заг}}^H = d_3^H - 2Z_3^H = 150,04 - 6,3 = 143,74 \text{ мм}.$$

Максимальні припуски:

$$2Z_3^{\text{max}} = 2Z_3^{\text{min}} + Td_1 + Td_3 = 4,4 + 2,9 + 0,4 = 7,7 \text{ мм};$$

$$2Z_4^{\text{max}} = 2Z_4^{\text{min}} + Td_3 + Td_4 = 1,4 + 0,4 + 0,16 = 1,96 \text{ мм};$$

Розраховані припуски:

$$Z_i^{\text{max}} - Z_i^{\text{min}} = Td_{i-1} + Td_i,$$

$$7,7 - 4,4 = 3,3 \text{ мм} \equiv 2,9 + 0,4 = 3,3 \text{ мм};$$

$$1,96 - 1,4 = 0,56 \text{ мм} \equiv 0,4 + 0,16 = 0,56 \text{ мм}.$$

$$d_{\text{заг}}^H - d_{\text{дет}}^H = 2Z_o^H,$$

$$152 - 143,74 = 6,3 + 1,96$$

$$8,26 = 8,26$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Поверхня $\varnothing 152h10_{(-0,16)}$ – циліндрична внутрішня.

	Операції	Відхилення		Допуск	Ном прип. $2Z_i^H$, мм	Номін. p-p, d_i^H , мм	Исп. p-p d, мм	Припуски	
		es, мм	ei, мм	Td, мм				$2Z_i^{\text{max}}$, мм	$2Z_i^{\text{min}}$, мм
1	Заготівка	+1,0	-1,9	2,9	—	143,74	$\varnothing 144_{-1,9}^{+1,0}$	-	-
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Розт. чорн.	+0,4	0	0,4	6,3	150,04	$\varnothing 150,05^{+0,4}$	7,7	4,4
4	Розт. чист.	+0,16	0	0,16	1,96	152	$\varnothing 152^{+0,16}$	1,96	1,4

1.6 Розрахунок режимів різання

Розрахунок режимів різання на операцію 020 (рис. 1.7).

Операція має 3 переходи:

1. Розточування отвору $\phi 176^{+0,4}$.
2. Розточування отвору $\phi 174^{+0,4}$.
3. Розточування отвору $\phi 150,05^{+0,4}$.

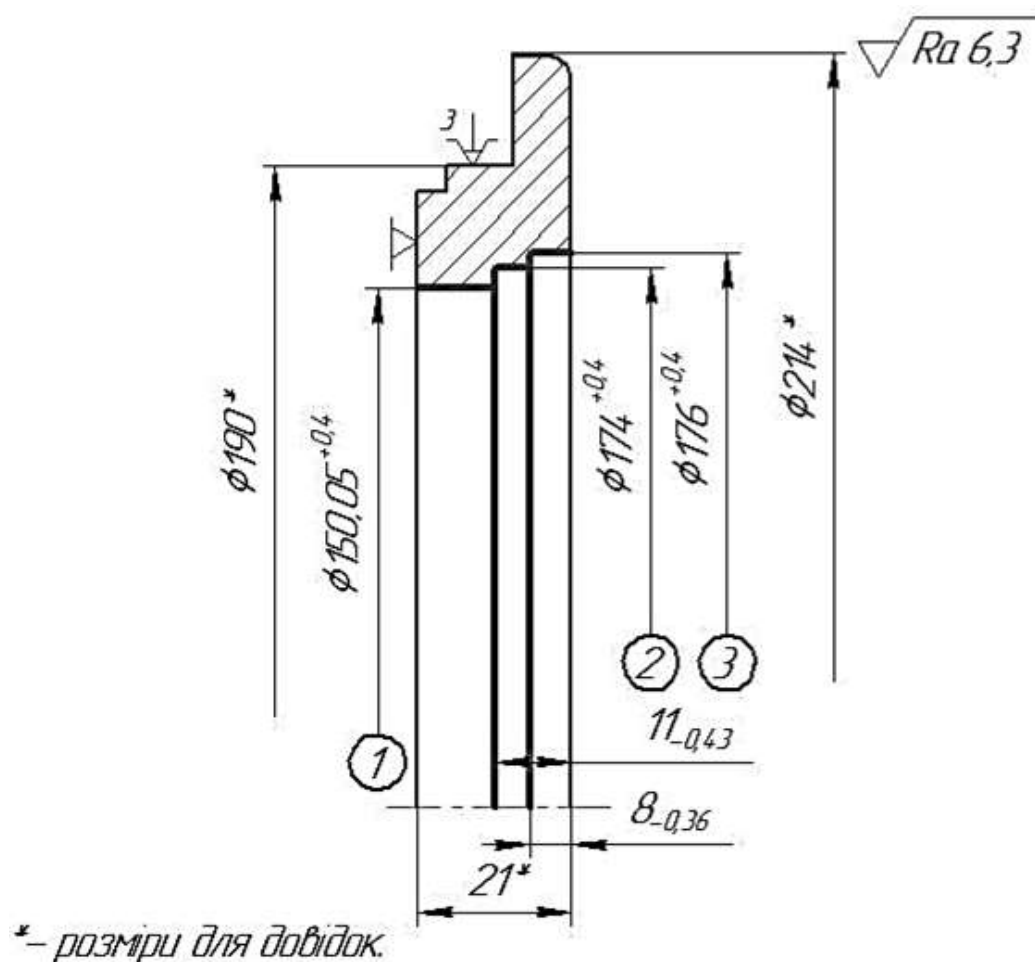


Рисунок 1.7 – Ескіз обробки деталі “шайба контрольная” на операцію 020 токарну з ЧПК. Верстат 16K20Ф3.

Дані для вибору інструменту обрано [5, т.13, с.123], а саме різець розточувальний – з пластинами із твердого сплаву Т15К6, ГОСТ 18882-73.

Глибини різання за формулою (1.18):

$$t = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{2} \quad (1.18)$$

де $D_{\max/\min}$ – діаметр деталі перед обробкою та після відповідно.

$$t_1 = \frac{176 - 172}{2} = 2 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{150,05 - 146}{2} = 2,025 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{174 - 172}{2} = 1 \text{ мм}$$

Величини глибин різання для перших двох переходів дуже подібні, різниця досить невелика, тому наступні режими допускається розраховувати для $t = 2$ мм для цих переходів.

1, 2 Переходи – Розточування отворів $\varnothing 176^{+0,4}$, $\varnothing 150,05^{+0,4}$, 3 перехід – розточування $\varnothing 174^{+0,4}$.

Подача за формулою (1.19):

$$S_o = S_T \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1.19)$$

де S_T – табличне значення подачі, [5, с.14];

K_1 – коефіцієнт за довжиною свердління, [5, с.14];

K_2 – коефіцієнт за видом отвору свердління, [5, с.14].

$$S_{o\ 1,2} = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,35 \text{ мм/об}$$

$$S_{o\ 3} = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,35 \text{ мм/об}$$

Стандартизована подача $S_o = 0,3$ мм/об.

Розрахункова швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{таб}} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot V_4 \cdot V_5 \cdot V_6 \cdot V_7 \cdot V_8 \quad (1.20)$$

де $V_{\text{таб}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв [5, с.14];

V_1 – коефіцієнт, що залежить від діаметру оброблюваної поверхні, [5, с.14];

V_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, [5, с.14];

V_3 – коефіцієнт, що залежить від виду оброблюваної поверхні, [5, с.14];

V_4 – коефіцієнт, який враховує наявність охолодження; [5, с.14];

V_5 – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні [5, с.14];

V_6 – коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту, [5, с.14];

V_7 – коефіцієнт, що залежить від значення подачі, [5, с.14];

V_8 – коефіцієнт, який враховує стійкість ріжучої частини інструменту, [5, с.14].

$$V_{\text{розр}} = 150,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,61 \cdot 1 \cdot 0,91 = 55,03 \text{ м/хв}$$

Швидкість обертів шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр}}}{\pi \cdot D} \quad (1.21)$$

$$n_{\text{розр1}} = \frac{1000 \cdot 55,03}{3,14 \cdot 176} = 99,58 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{розр2}} = \frac{1000 \cdot 55,03}{3,14 \cdot 150,05} = 116,8 \text{ хв}^{-1}$$

Стандартизована швидкість обертів шпинделя $n_{\text{пр1}} = 100 \text{ хв}^{-1}$,
 $n_{\text{пр2}} = 120 \text{ хв}^{-1}$.

Фактична швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\text{ф}} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{пр}}}{1000} \quad (1.22)$$

$$V_{\phi_1} = \frac{3,14 \cdot 176 \cdot 100}{1000} = 55,26 \text{ м/хв}$$

$$V_{\phi_2} = \frac{3,14 \cdot 150,05 \cdot 120}{1000} = 56,54 \text{ м/хв}$$

Основний час за формулою (1.23):

$$t_0 = \frac{L_{p.x.}}{n \cdot S_o} \cdot i \quad (1.23)$$

де $L_{p.x.}$ – довжина робочого ходу інструменту, мм;

i – кількість проходів, яку робить інструмент в даній операції.

Довжина робочого ходу інструменту за формулою (1.24):

$$L_{p.x} = l_{різ} + l_{вр} + l_{пер} \quad (1.24)$$

де $l_{різ}$ – довжина ділянки різання, мм;

$l_{вр}$ – довжина врізання, мм [6, с.287];

$l_{пер}$ – довжина перебігу, мм.

$$L_{p.x1} = 8 + 2 + 0 = 10 \text{ мм}$$

$$L_{p.x2} = 10 + 1 + 2 = 13 \text{ мм}$$

Основний час за формулою (1.23):

$$t_1 = \frac{10}{100 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,33 \text{ хв}$$

$$t_2 = \frac{13}{120 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,36 \text{ хв}$$

3 Перехід – Розточування отвору $\varnothing 174^{+0,4}$.

Подача за формулою (1.19):

$$S_o = 0,25 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,35 \text{ мм/об}$$

Стандартизована подача $S_o = 0,3 \text{ мм/об}$.

Розрахункова швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 150,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 0,61 \cdot 1,14 \cdot 0,91 = 62,73 \text{ м/хв}$$

Швидкість обертів шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 62,73}{3,14 \cdot 174} = 114,81 \text{ хв}^{-1}$$

Стандартизована швидкість обертів шпинделя $n_{\text{пр}} = 120 \text{ хв}^{-1}$.

Фактична швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi 3} = \frac{3,14 \cdot 174 \cdot 120}{1000} = 65,56 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу інструменту за формулою (1.24):

$$L_{\text{р.хз}} = 3 + 0 + 0,5 = 3,5 \text{ мм}$$

Основний час за формулою (1.23):

$$t_{o3} = \frac{3,5}{120 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,097 \text{ хв}$$

$$t_{o \text{ заг}} = 0,33 + 0,36 + 0,097 = 0,79 \text{ хв}$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.7.

Розрахунок режимів різання на операцію 070 (рис. 1.8).

Операція – свердлення 12 отворів $\phi 12^{+0,27}_{-0,09}$.

Для даної операції обрано ріжучий інструмент: свердло спіральне з циліндричним хвостовиком з швидкорізальної сталі Р6М5, 2300–0219, ГОСТ 10902–77.

Глибина різання за формулою (1.27):

$$t = \frac{d_{\text{св}}}{2} \quad (1.25)$$

$$t = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм}$$

Подача за формулою (1.19):

$$S_o = 0,2 \cdot 1 \cdot 1 = 0,2 \text{ мм/об}$$

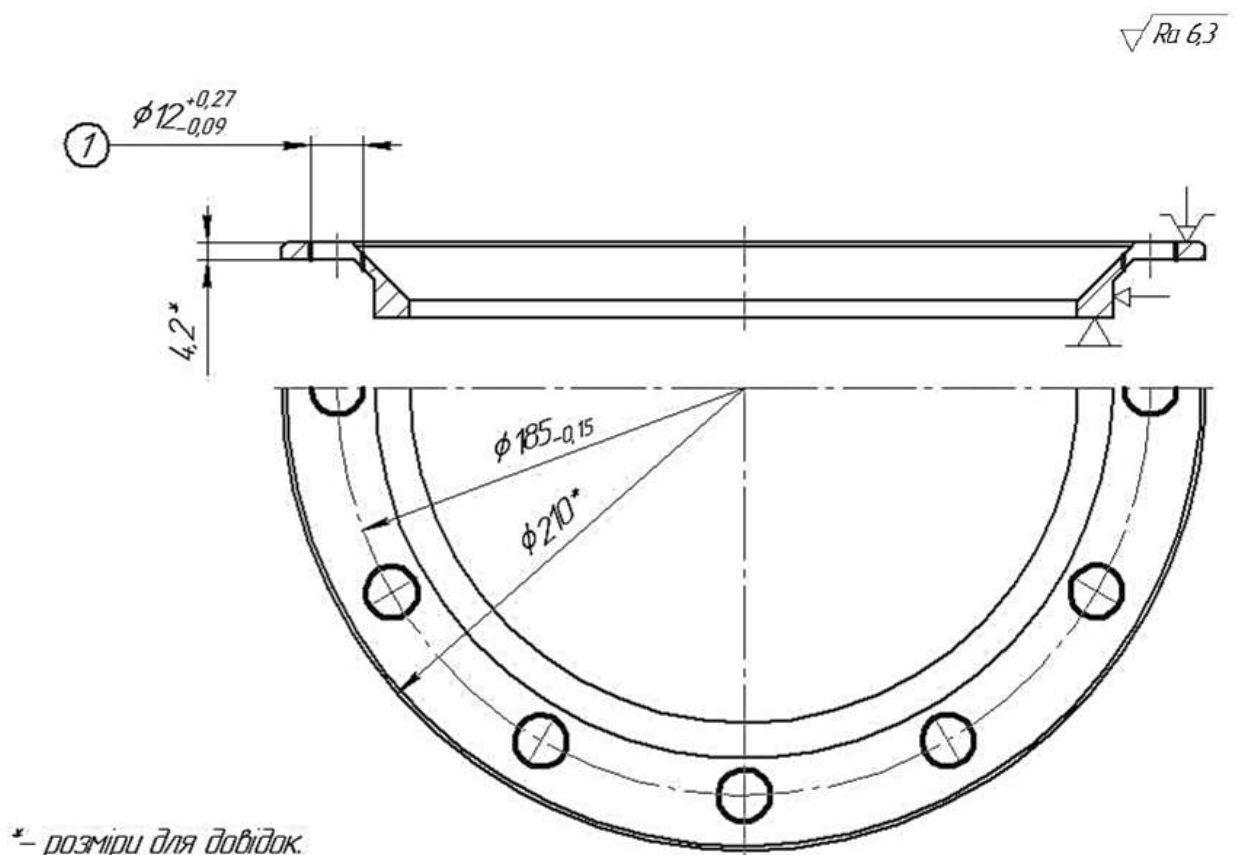


Рисунок 1.8 – Ескіз обробки деталі “шайба контровочна” на операцію 070 токарну з ЧПК. Верстат 2Р118Ф2.

Стандартизована подача $S_o = 0,2$ мм/об.

Розрахункова швидкість різання за формулою (1.21):

$$V_{\text{розр}} = 40,2 \cdot 0,48 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 13,51 \text{ м/хв}$$

Швидкість обертів шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 13,51}{3,14 \cdot 12} = 358,55 \text{ хв}^{-1}$$

Стандартизована швидкість обертів шпинделя $n_{\text{пр}} = 375 \text{ хв}^{-1}$.

Фактична швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 375}{1000} = 14,13 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу інструменту за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х.1}} = 2,5 + 5 + 2 = 9,5 \text{ мм}$$

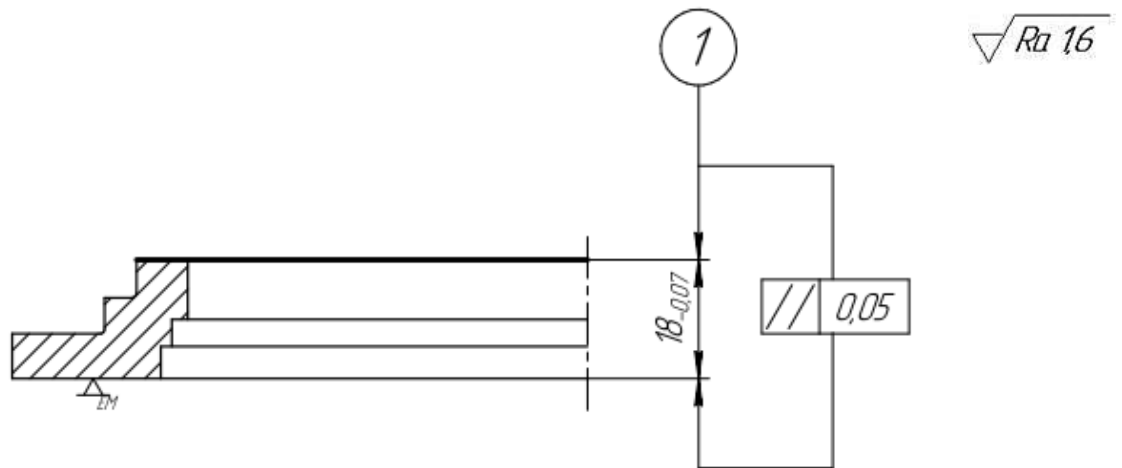
Основний час за формулою (1.26):

$$t_0 = \frac{9,5}{0,2 \cdot 375} \cdot 12 = 0,25 \text{ хв}$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.7.

Розрахунок режимів різання на операцію 095 (рис. 1.9).

Для даної операції обрано ріжучий інструмент: шліфувальний круг 1
350×40×127 14AF46O6V35БЗ ГОСТ 2424-83.



* – розміри для довідок.

Рисунок 1.9 – Ескіз обробки деталі “шайба контровальна” на операцію 095 плоскошліфувальну. Верстат плоскошліфувальний 3Л741А з ЧПК.

Глибиною різання є величина припуску, а саме $h = 0,08$ мм.

Стандартизована вертикальна подача на хід $S_o = 0,005$ мм/хід [4, т.55 с.302].

Стандартизована швидкість обертів [4, т.55 с.302]:

- шліфувального круга $V_{кр} = 25$ м/с
- столу $V_{дет} = 20$ м/хв.

Стандартизована (за паспортом верстата) швидкість обертів шліфувального круга $n_{кр} = 1460$ хв⁻¹.

Швидкість обертів столу верстата за формулою (1.21):

$$n_{ст} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 168} = 47,39 \text{ хв}^{-1}$$

Стандартизована (за паспортом верстата) швидкість обертів столу $n_{ст} = 32$ хв⁻¹.

Фактична швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi_{\text{кр}}} = \frac{3,14 \cdot 350 \cdot 1460}{1000 \cdot 60} = 26,74 \text{ XB}$$

$$V_{\phi_{CT}} = \frac{3,14 \cdot 168 \cdot 32}{1000} = 16,88 \text{ м/хв}$$

Основний час за формулою (1.30):

$$t_0 = \frac{h}{n_{CT} \cdot S_0} \cdot K \quad (1.26)$$

де K – коефіцієнт, який враховує час на «виходжування», тобто шліфування без поперечної подачі ($K=1,4$)

$$t_0 = \frac{0,08}{32 \cdot 0,005} \cdot 1,4 = 0,7 \text{ XB.}$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Режими різання за операціями.

№ оп	Найменування переходу	Зміст переходів	Обладнання	t, мм	Режими різання			t _{о/а} , хв
					$v, \frac{\text{кр}}{\text{дет}} \cdot \frac{\text{мм}}{\text{хв}^{-1}}$	$S, \frac{\text{мм}}{\text{об}}$	$V, \frac{\text{кр}}{\text{дет}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
015	Токарна	Підрізати торець 1	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	3,3	220	0,08	118,13	0,45
		Точити поверхні 2,3,4		2,5	120	1,2	64,62	0,58
		Підрізати торець 5		2	220	0,08	147,83	1,82
t _о								2,85
020	Токарна	Розточити отвір 1	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	2	100	0,35	55,26	0,33
		Розточити отвір 2		2,025	120	0,35	56,54	0,36
		Розточити отвір 3		1	120	0,3	65,56	0,097
t _о								0,79
025	Токарна	Підрізати торець 1	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	1	200	0,3	106,13	0,25
		Точити поверхні 2,3,4		3	170	0,5	101,42	0,99
		Підрізати торець 5		1	200	0,3	132,5	0,25
		Точити поверхню 6		1,5	150	0,5	99,38	0,16
t _о								1,66

1.7 Технічне нормування операцій

Нормування токарної операції 020.

Допоміжний час за формулою (1.27):

$$t_{\text{доп}} = t_y + t_{\text{зн}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{б.п}} + t_{\text{б.в}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{щ}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{контр}} \quad (1.27)$$

де $t_{\text{уст/сн}}$ — час на встановлення, зняття, вивірку, закріплення, розкріплення та зняття деталі, хв;

$t_{\text{упр}}$ — час керування верстатом, розраховується за формулою, хв (1.28);

$t_{\text{б.п/б.о}}$ — час на швидкий підвід та відвід інструменту, хв [6, с.203];

$t_{\text{зм}}$ — час необхідний для зміни інструменту, повороту револьверної голівки, зміни позицій шпинделя, зміни копіїв, хв [6, с.209];

$t_{\text{щ}}$ — відкриття та закриття щитка безпеки, хв;

$t_{\text{кор}}$ — час на розрахунок корекції верстатів з ЧПУ, хв [6, с.209];

$t_{\text{контр}}$ — час необхідний для вимірювань та контролю основних параметрів деталі, хв [6, с.206].

$$t_{\text{упр}} = t_{\text{вкл/викл}} + t_{\text{перекл}} \quad (1.28)$$

де $t_{\text{вкл/викл}}$ — час на включення та виключення верстату, хв [6, т. 5.8 с.202];

$t_{\text{перекл}}$ — час необхідний для переключення режимів верстату, хв [6, т. 5.9 с.203].

$$t_{\text{упр}} = 0,15 + 0,3 = 0,45 \text{ хв}$$

Допоміжний час за формулою (1.27):

$$t_{\text{доп}} = 0,45 + 0,11 + 0,06 + 0,06 + 0,32 = 1,0 \text{ хв}$$

Оперативний час за формулою (1.29):

$$t_{OP} = t_o + t_{доп} \quad (1.29)$$

$$t_{OP} = 0,79 + 1,0 = 1,79 \text{ хв}$$

Прибавочний час за формулою (1.30):

$$t_{ПР} = \alpha_{\Sigma} \cdot t_{OP} \quad (1.30)$$

де α_{Σ} – нормативи часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби, хв [6, т. 6.1 с.214].

$$t_{ПР} = 6,5\% \cdot 1,79 = 0,116 \text{ хв}$$

Штучний час за формулою (1.31):

$$t_{шт} = t_{OP} + t_{ПР} \quad (1.31)$$

$$t_{шт} = 1,79 + 0,116 = 1,906 \text{ хв}$$

Підготовче-заключний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.32), (1.33):

$$t_{ПЗ} = t_{ПЗ1} + t_{ПЗ2} + t_{ПЗ3} \quad (1.32)$$

$$t_{шт-к} = t_{шт} + t_{ПЗ} / n \quad (1.33)$$

де $t_{ПЗ1}$, $t_{ПЗ2}$, $t_{ПЗ3}$, хв [6, т.6.4, с.216];

$$t_{ПЗ} = 10 + 1,5 + 7 = 18,5 \text{ хв}$$

$$t_{шт-к} = 1,906 + 18,5/50 = 2,276 \text{ хв}$$

Нормування свердлильної операції 070.

Допоміжний час за формулою (1.27):

$$t_{доп} = 0,25 + 0,06 + 0,13 + 0,08 + 0,11 = 0,63 \text{ хв}$$

Час керування верстатом, за формулою (1.28):

$$t_{\text{упр}} = 0,1 + 0,15 = 0,25 \text{ хв}$$

Оперативний час за формулою (1.29):

$$t_{\text{оп}} = 0,25 + 0,63 = 0,88 \text{ хв}$$

Прибавочний час за формулою (1.30):

$$t_{\text{пр}} = 6\% \cdot 0,88 = 0,053 \text{ хв}$$

Штучний час за формулою (1.31):

$$t_{\text{шт}} = 0,88 + 0,053 = 0,933 \text{ хв}$$

Підготовче-заключний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.32), (1.33):

$$t_{\text{пз}} = 0 + 2 + 5 = 7 \text{ хв}$$

$$t_{\text{шт-к}} = 0,933 + 7/50 = 1,073 \text{ хв}$$

Нормування шліфувальної операції 095

Допоміжний час за формулою (1.27):

$$t_{\text{доп}} = 0,46 + 0,07 + 0,1 + 0,05 + 0,25 = 0,93 \text{ хв}$$

Час керування верстатом, за формулою (1.28):

$$t_{\text{упр}} = 0,16 + 0,3 = 0,46 \text{ хв}$$

Оперативний час за формулою (1.29):

$$t_{\text{оп}} = 0,7 + 0,93 = 1,63 \text{ хв}$$

Прибавочний час за формулою (1.30):

$$t_{\text{пр}} = 2,5\% \cdot 1,63 = 0,041 \text{ хв}$$

Штучний час за формулою (1.31):

$$t_{\text{шт}} = 1,63 + 0,041 = 1,671 \text{ хв}$$

Підготовче-заклучний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.32), (1.33):

$$t_{\text{пз}} = 4 + 6 + 1 = 11 \text{ хв}$$

$$t_{\text{шт-к}} = 1,671 + 11/50 = 1,891 \text{ хв}$$

Всі результати підрахунків в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Нормативи часу за операціями.

№ Оп.	Найменування операції	$T_{\text{шт}}$, хв.	$T_{\text{п.з.}}$, хв.	Величина партії, $n_{\text{опт}}$, шт.	$T_{\text{шт.к.}}$, хв.
1	2	3	4	5	6
015	Токарна	4,266	21,5	50	4,696
020	Токарна	1,906	18,5		2,276
025	Токарна	3,098	21,5		3,528
030	Токарна	2,349	18,5		2,719
040	Плоскошліфувальна	1,37	11		1,59
050	Плоскошліфувальна	1,37	11		1,59

Продовження таблиці 1.8.

1	2	3	4	5	6
060	Токарна	4,26	18,5	50	4,63
065	Токарна	4,318	18,5		4,318
070	Свердлильна	1,073	7		1,073
080	Електроерозійна	36,225	28		36,785
095	Плоскошліфувальна	1,981	11		1,891

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції 020

Технологічні операції, змодельовані в програмному забезпеченні Siemens NX, показані, на рис. 1.10-1.21.

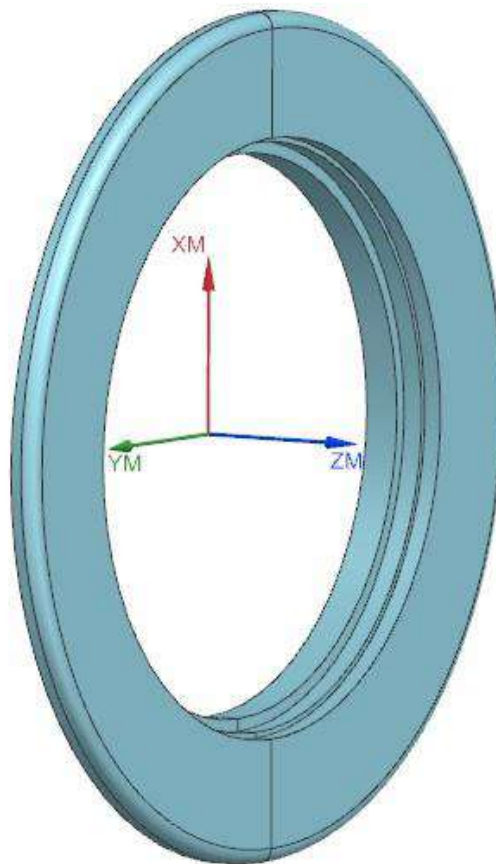


Рисунок 1.10 – 3D-модель заготовки на 020 операції

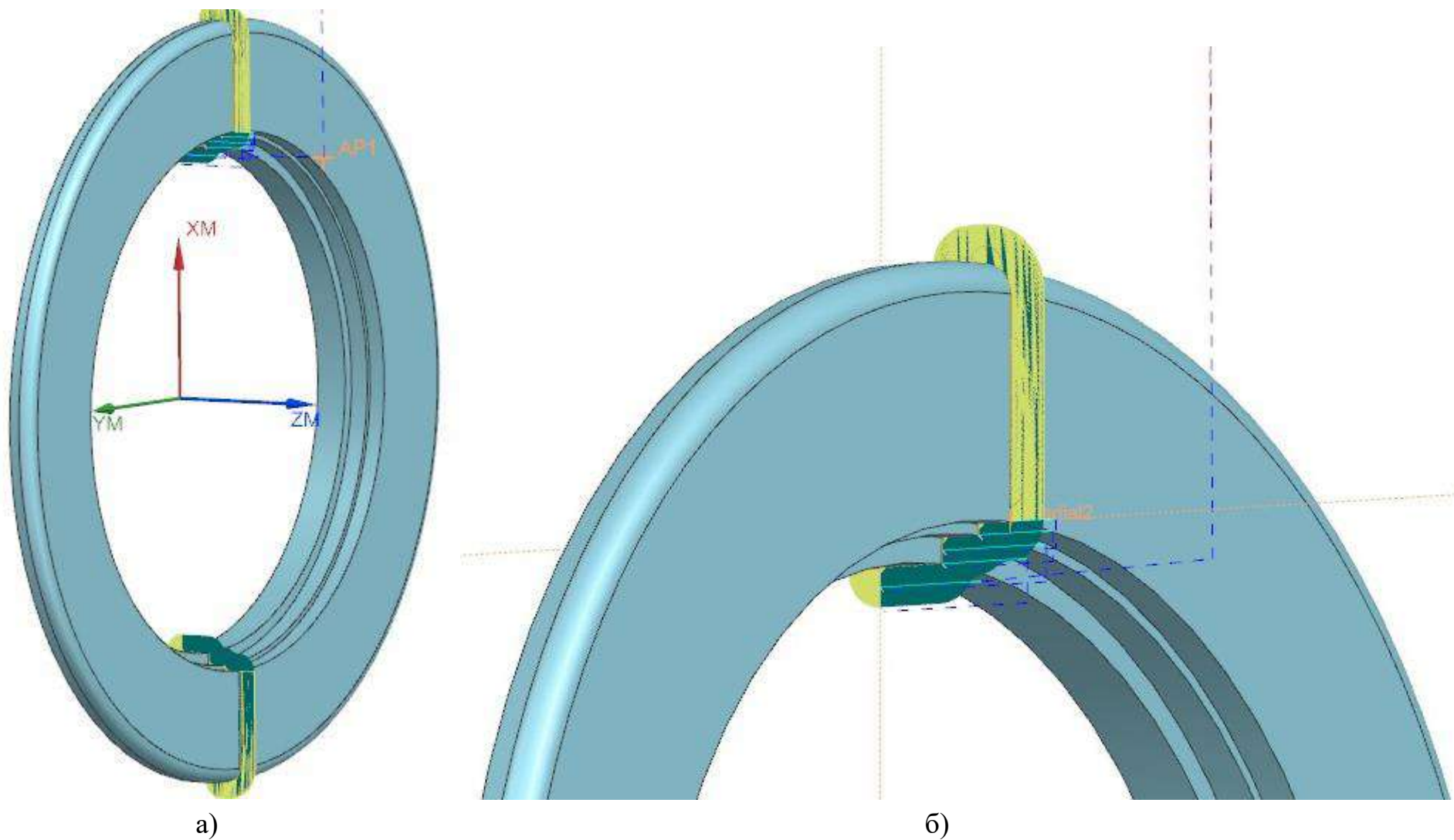


Рисунок 1.11– Траєкторія обробки заготовки а) загальний вигляд, б) деталізований вигляд

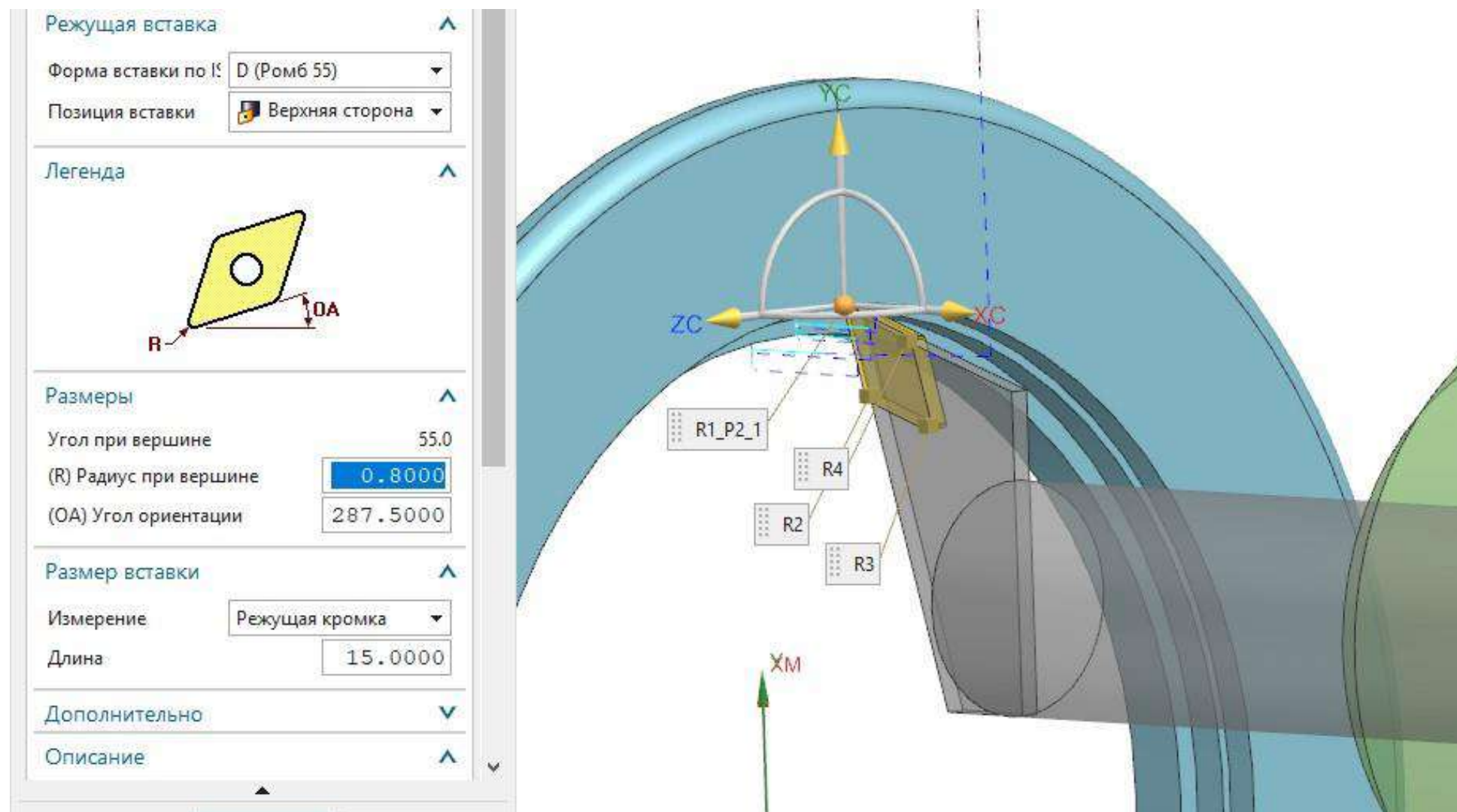


Рисунок 1.12 – Траектория обработки заготовки с резцом розташованим на точці врізання та основними його параметрами

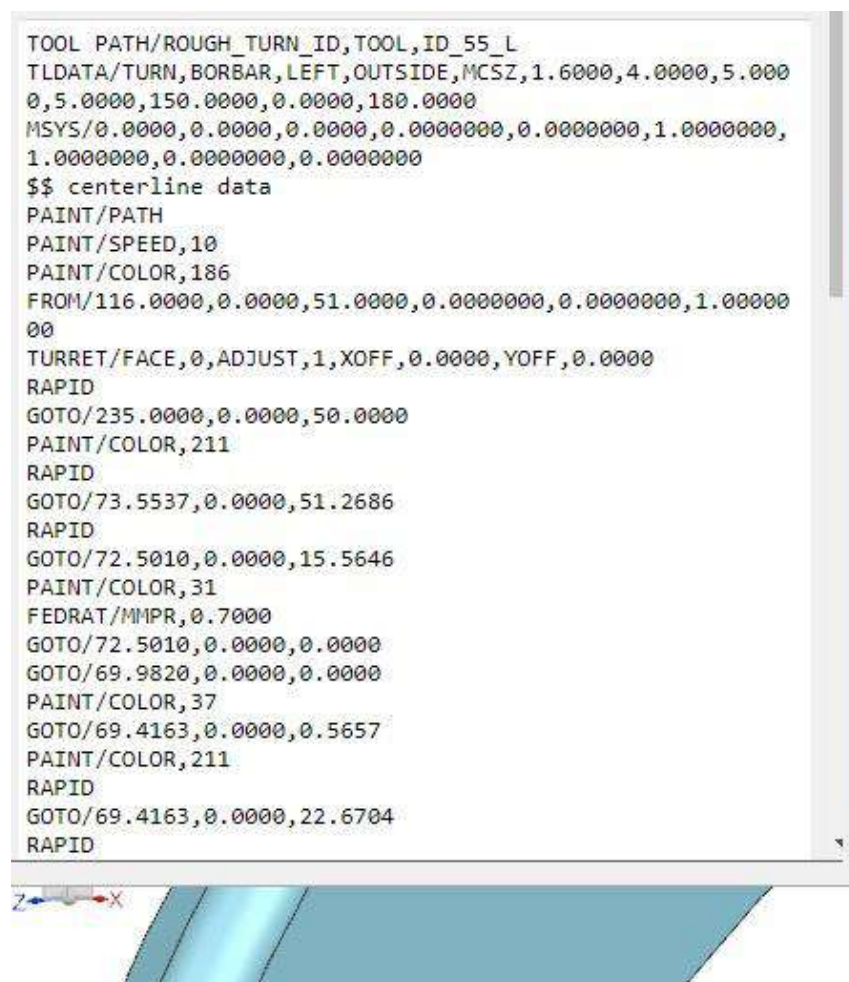


Рисунок 1.13 – Траектория обработки заготовки з частиною програми обробки

1.8.2 Розробка свердильної операції 070

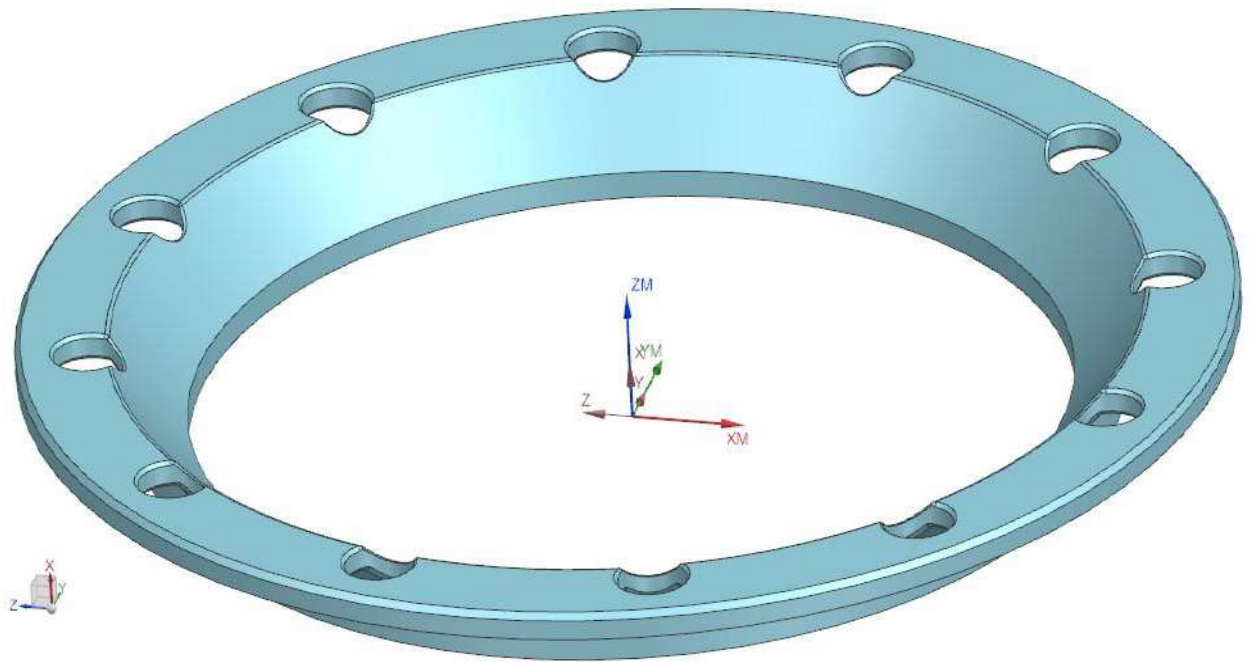


Рисунок 1.14 – 3D-модель заготовки на 070 операції

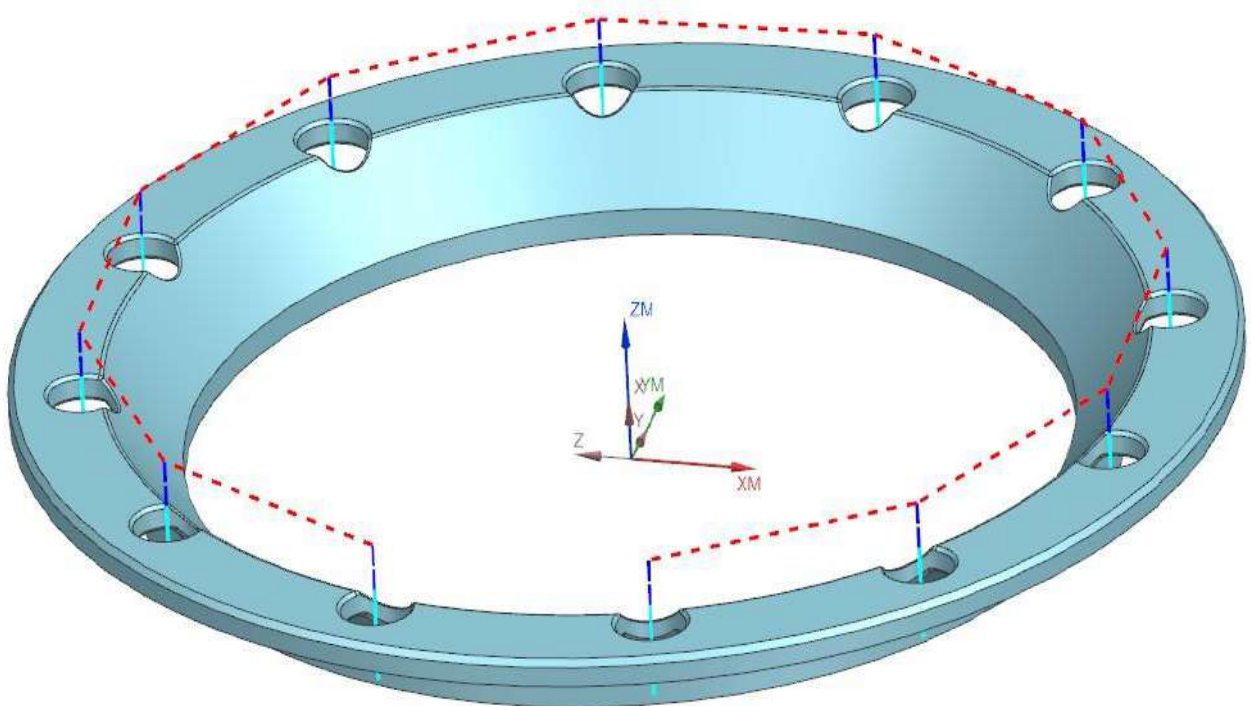


Рисунок 1.15 – Траєкторія обробки заготовки

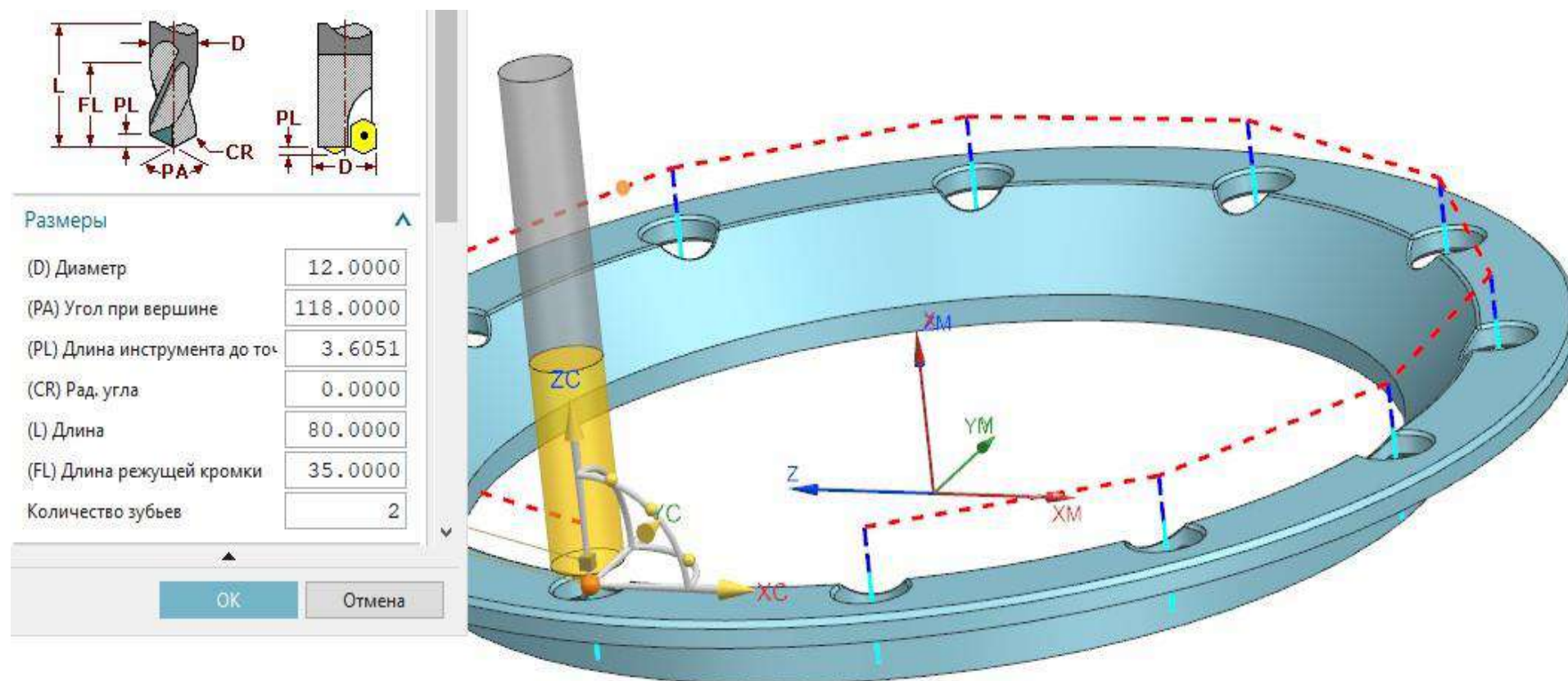


Рисунок 1.16 – Траектория обработки заготовки з сверлом та основними його параметрами

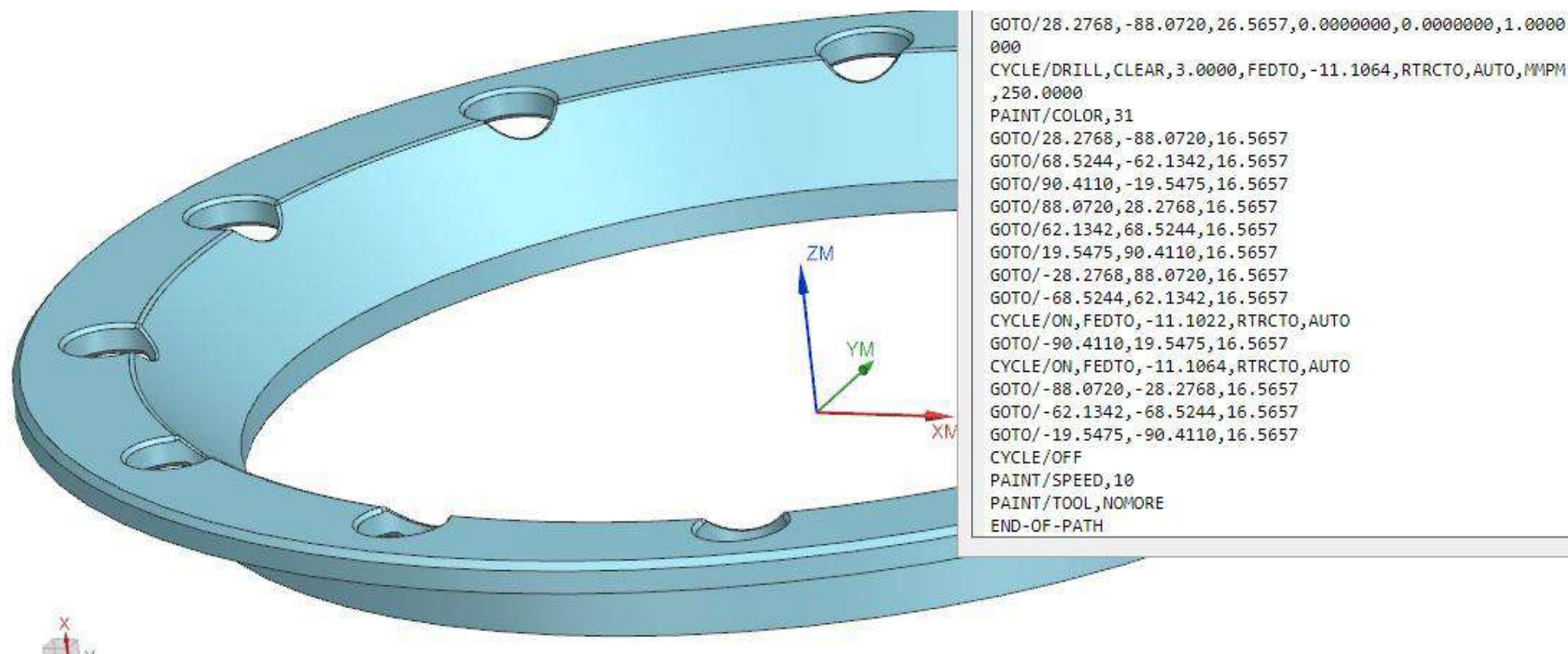


Рисунок 1.17 – Частина програми обробки заготовки

1.8.3 Розробка електроерозійної операції 080

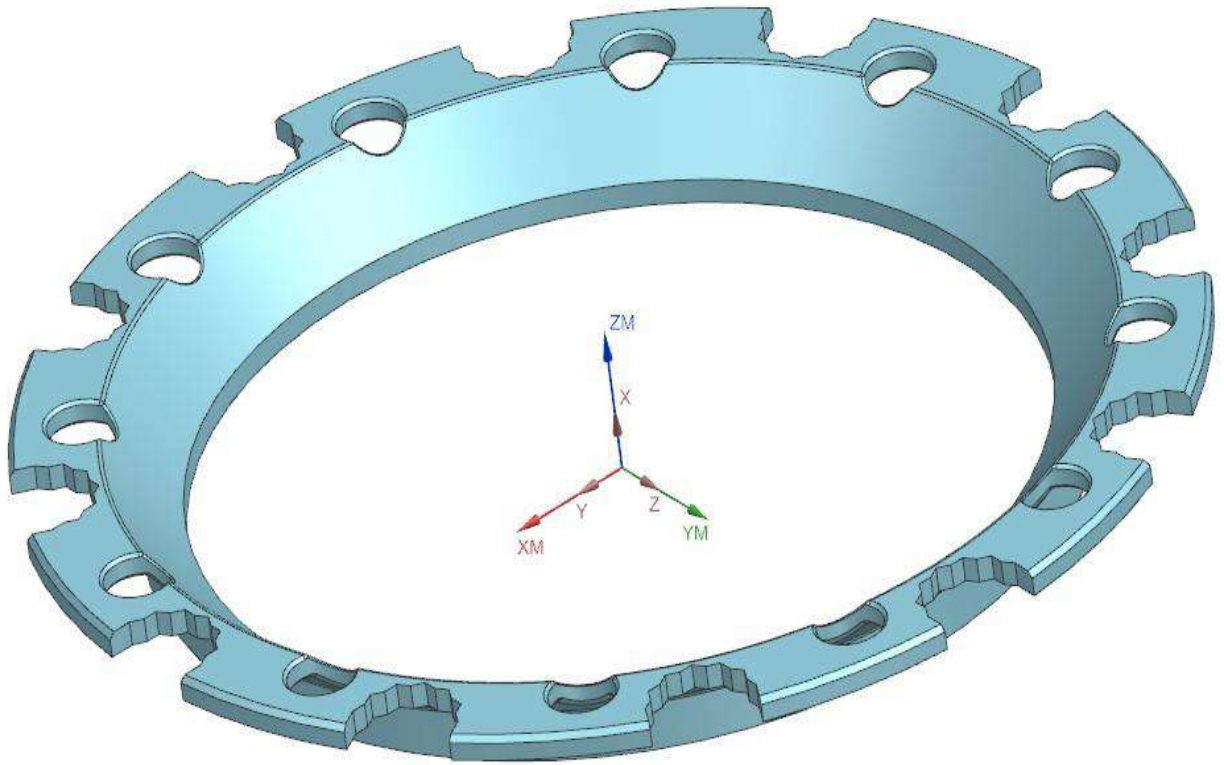


Рисунок 1.18 – 3D-модель заготовки на 080 операції

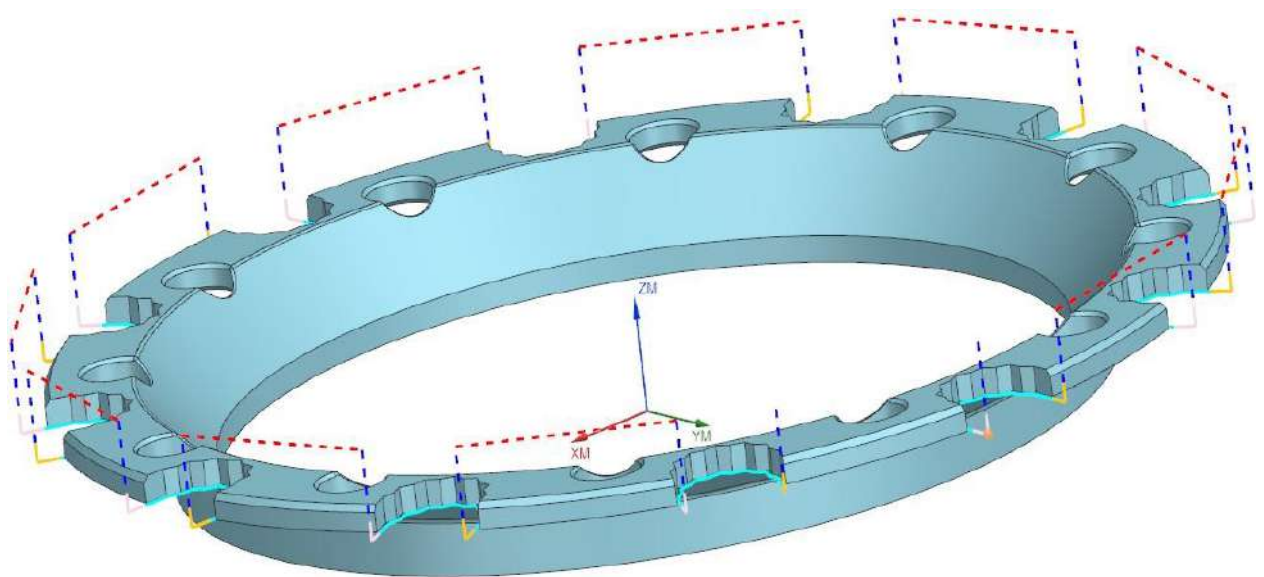


Рисунок 1.19– Траєкторія обробки заготовки

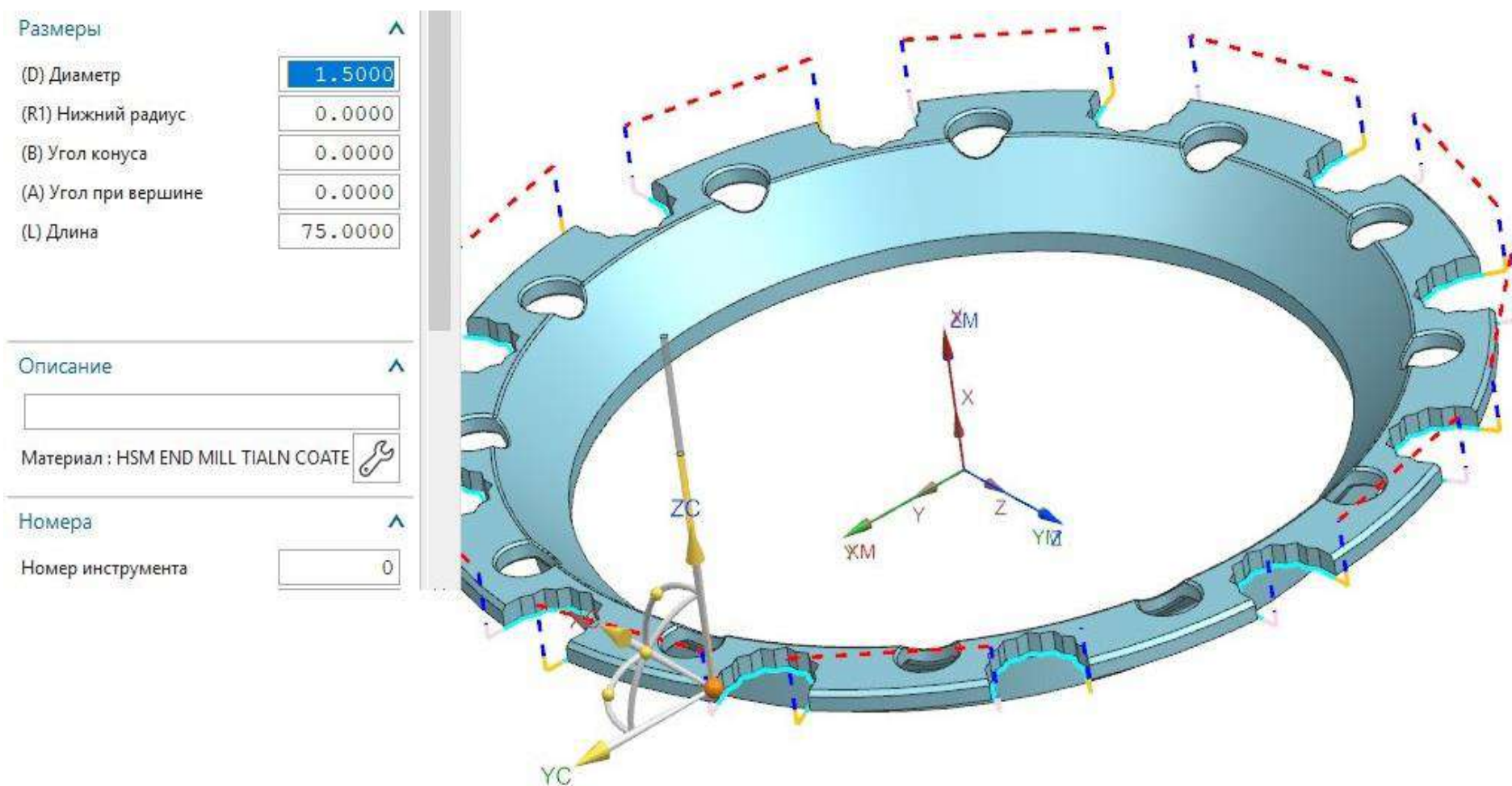


Рисунок 1.20 – Траектория обработки заготовки с инструментом-электродом та основними його параметрами

```

TOOL PATH/WALL_PROFILING,TOOL,MILL
TLDDATA/MILL,1.5000,0.0000,75.0000,0.0000,0.0000
MSYS/0.0000,0.0000,0.0000,0.0000000,0.0000000,1.0000000,
1.0000000,0.0000000,0.0000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED,10
LOAD/TOOL,0,ADJUST,0
PAINT/COLOR,186
RAPID
GOTO/46.9945,99.1495,27.0000,0.0000000,0.0000000,1.00000
00
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/46.9945,99.1495,16.0000
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPM,250.0000
GOTO/46.9945,99.1495,13.0000
CUTCOM/LEFT,0
GOTO/46.3517,98.3835,13.0000
GOTO/46.3083,98.3083,13.0000
GOTO/44.8083,95.7103,13.0000
PAINT/COLOR,31
GOTO/42.2630,91.3016,13.0000
GOTO/42.2630,88.6757,13.0000
GOTO/41.0660,86.6025,13.0000
GOTO/42.2630,84.5294,13.0000
GOTO/42.2630,82.1356,13.0000
GOTO/44.3361,80.9386,13.0000
GOTO/45.5330,78.8655,13.0000
GOTO/47.9269,78.8655,13.0000
GOTO/50.0000,77.6686,13.0000
GOTO/52.0731,78.8655,13.0000

```

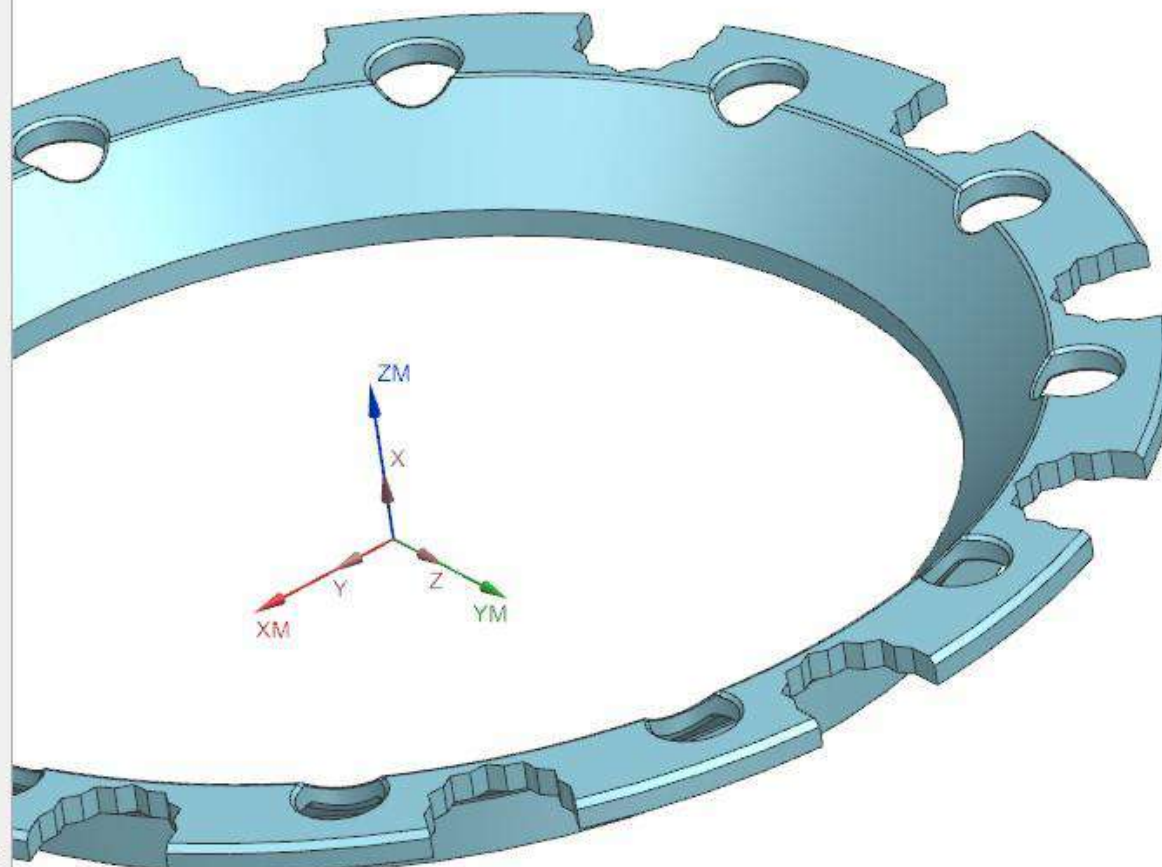


Рисунок 1.21 – Траєкторія обробки заготовки з частиною програми обробки

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристрою

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Свердлильна операція вимагає високої точності. Затисне пристосування допомагає у вирішенні проблем точності, забезпечуючи правильне позиціонування деталі під час свердління. Тому було спроектовано свердлильне пристосування (рис. 2.1)

Основою для базування в пристосуванні є кільце напрямне 6, на яке встановлюється деталь «Шайба контровочна» поверхнею $\varnothing 152$. Для фіксації деталі в пристосуванні використовується притискний диск 5, який створює необхідні сили затиску. Під час затискування деталі, повітря постачається до порожнини пневмоциліндра, розташованого зверху, через трубку 15. Внаслідок цього шток зміщується вниз, що приводить до притискання відкидною шайбою 16. Фіксація відбувається завдяки руху механізму, і після завершення обробки деталь вивільнюється за допомогою подачі тиску в нижню порожнину пневмоциліндра, через трубку 14.

На верстаті для свердління пристосування встановлюється за допомогою направляючих і закріплюється болтами в відповідних місцях.

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2P118Ф2 оснащений системою числового програмного керування "Координата С70-3", яка забезпечує одночасне переміщення столу по осях X і Y під час позиціонування. Це управління переміщенням за віссю (від координати)

дозволяє керувати поворотом револьверної голівки, вибирати розмір робочої подачі та частоту обертання шпинделя. Позиційна прямокутна система ЧПК є замкненою, а для вимірювань використовуються кодові перетворювачі. Точність позиціонування столу і супорта складає 0,05 мм, а дискретність програмування і цифрової індикації становить 0,05 мм. Кількість керованих координат - загалом три, одночасно дві.

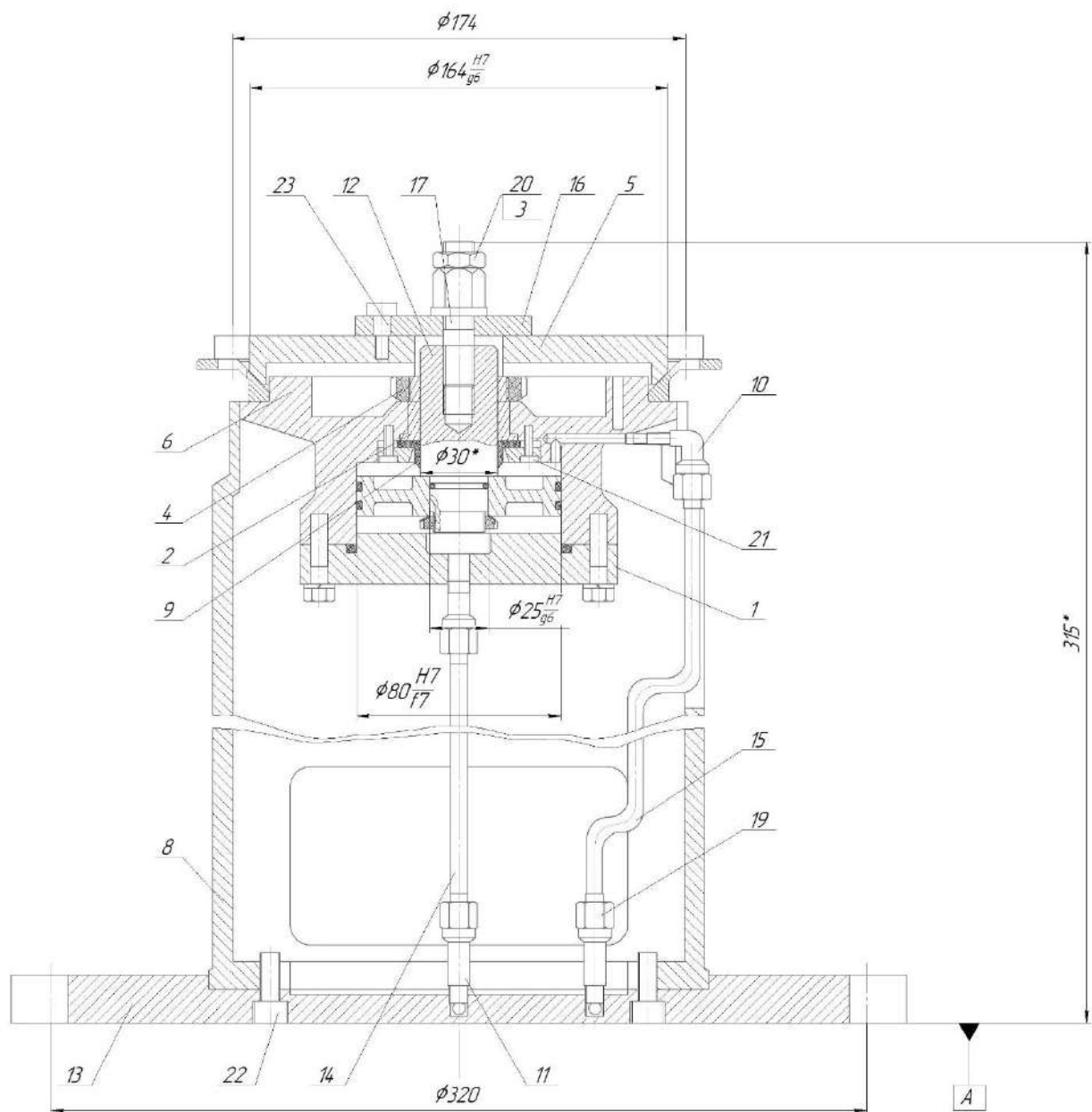


Рисунок 2.1 – Пристосування для свердління 12ти отворів

Для досягнення точності у розрахунку свердлильного пристосування необхідно встановити виконавчі розміри для позиціонування кондукторних втулок та визначити допуски для цих розмірів (рис. 2.2).

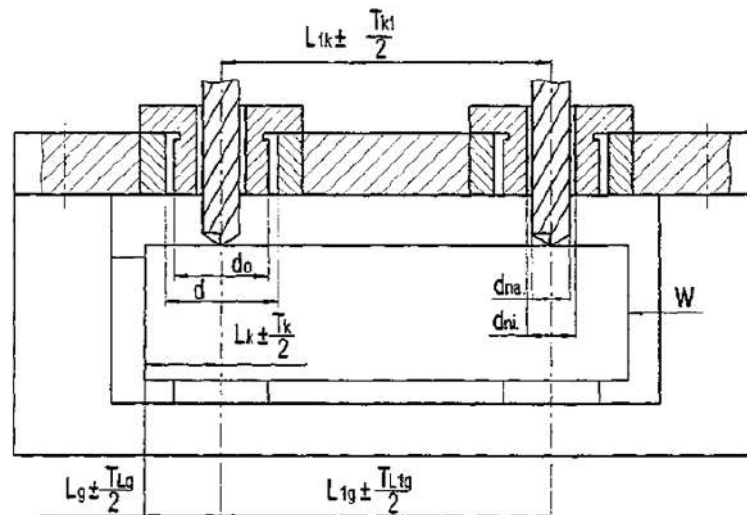


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку на точність свердлильного пристосування [7]

Допуск на розміри втулки за формулою [7, с.92] (2.1):

$$T_{вт} \leq T_d - \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2 + \left(\Delta_1 \cdot \frac{H+2a}{H} \right)^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2} \quad (2.1)$$

де T_d – допуск на розмір, мм;

k – коефіцієнт враховує відхилення відстані між складовими величинами від закону нормального розподілення і залежить від кількості похибок у цих складових величинах;

ϵ_6 – похибка позиціонування заготовки в пристосуванні;

ϵ_3 – похибка закріплення заготовки в пристосуванні мм;

Δ_1 – частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі свердла відносно осі отвору змінної втулки, мм;

H – висота оброблюваного отвору мм;

a — величина зазору на вихід стружки в процесі обробки;

Δ_2 — частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі змінної втулки відносно осі постійної втулки;

Δ_3 — частка похибки обробки, яка утворена зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок;

Δ_4 — частка похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу змінної втулки за направляючим діаметром;

$$\varepsilon_0 = 0,25Td_{\text{зар}} = 0,25 \cdot 0,16 = 0,04 \text{ мм};$$

$$\Delta_1 = S_{1\text{max}} = d_{\text{зм.max}} - d_{\text{св.min}} = 0,028 - (-0,03) = 0,058 \text{ мм}$$

$$a = (0,5 \dots 0,8)d_{\text{св}} = 0,5 \cdot 5 = 2,5 \text{ мм};$$

$$\Delta_2 = S_{2\text{max}} = d_{\text{max}} - d_{0.\text{min}} = 0,035 - 0 = 0,035 \text{ мм};$$

$$\Delta_3 = 0,01 \text{ мм};$$

$$T_{\text{вт}} \leq 0,3 \cdot \sqrt{0,04^2 + \left(0,058 \cdot \frac{4+2 \cdot 2,5}{4}\right)^2 + 0,035^2 + 0,01^2 + 0,12^2} = 0,025 \text{ мм}$$

$$T_{\text{вт}} = 0,025 \text{ мм}; T_{\text{вт}} \leq \pm 0,0125 \text{ мм}.$$

Встановлюємо стандартизований допуск, а саме $T_{\text{вт}} \leq \pm 0,02 \text{ мм}$, що відображає точність конструкції пристосування, і призначаємо виконавчий розмір для розташування осей втулок в пристосуванні, який становить $\varnothing 152 \pm 0,02 \text{ мм}$.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску. Вибір приводу

Затискання деталі в пристосуванні може сприяти забезпеченню безпеки виробництва, уникненню травм та ударів, які можуть виникнути внаслідок неправильного закріплення чи руху деталі під час свердлильної операції

Для необхідного розрахунку дійсної сили затиску свердлильного пристосування, обрано схему установки заготовки в свердлильному

пристосуванні (рис. 2.3), [7, т. 6.4, с. 112].

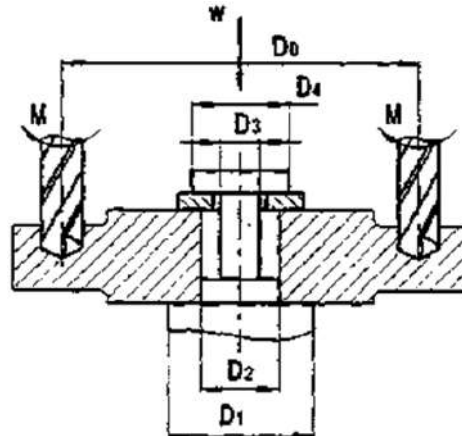


Рисунок 2.3 – Схема установки заготовки в пристосуванні [7]

Після обраної схеми торцевої установки заготовки в пристосуванні, розрахункова дійсна сила затиску, за формулою (2.1):

$$W = \frac{3kM}{f \left[\left(\frac{D_1^3 - D_2^3}{D_1^2 - D_2^2} \right) + \left(\frac{D_3^3 - D_4^3}{D_3^2 - D_4^2} \right) \right]} \quad (2.1)$$

де M – крутний момент на свердлі;

k – коефіцієнт запасу закріплення;

f – коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затисків, для плоских поверхонь [7, т. 6.4, 12].

Крутний момент на свердлі за формулою (2.2), [7, с. 115]:

$$M_{\text{різ}} = 10 \cdot C_M \cdot D^{\text{пм}} \cdot t^{\text{xм}} \cdot S^{\text{yм}} \cdot \text{HB}^{\text{zм}} \quad (2.2)$$

де $C_M, \text{пм}, \text{xм}, \text{yм}, \text{zм}$ – коефіцієнти до розрахунку моменту різання, [7, с. 115];

$$M = 10 \cdot 0,041 \cdot 12^1 \cdot 6^0 \cdot 0,2^{0,7} \cdot 313^{0,7} = 38,46 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Коефіцієнт запасу закріплення, за формулою (2.3), [7, с. 7]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \quad (2.3)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу для всіх випадків [7, с. 7];

k_1 – враховує стан поверхні заготовки [7, с. 7];

k_2 – враховує збільшення сил різання від нерівномірного зносу ріжучого інструменту [7, т. 1 с. 8];

k_3 – враховує збільшення сил різання при умовах переривчастого виду обробки [7, с. 7];

k_4 – враховує затискний пристрій з точки зору постійності сил затиску [7, с. 7];

k_5 – враховує можливість появи моментів, що прагнуть повернути деталь [7, с. 7].

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 = 2,25$$

Розрахункова дійсна сила затиску, за формулою (2.1):

$$W = \frac{3 \cdot 2,25 \cdot 38,46}{0,25 \left[\left(\frac{0,17^3 - 0,152^3}{0,17^2 - 0,152^2} \right) + \left(\frac{0,168^3 - 0,152^3}{0,168^2 - 0,152^2} \right) \right]} = 2154,44 \text{ Н}$$

Діаметр циліндру в пневмосистемі, за формулою (2.4), [7, с.137]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (2.4)$$

де Q – сила затиску, що відповідає значенню W , Н;

p – тиск у пневмосистемі, МПа;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 2154,44}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,85}} = 73,36 \text{ мм}$$

У підсумку після розрахунку діаметру циліндру згідно з ГОСТ 15608-81, його округлено до значення зі стандартного ряду пневмоциліндрів $D=80$ мм, та діаметр штока $d=25$ мм.

Узагальнено, затисне пристосування є ключовим компонентом, що забезпечує ефективність, точність та безпеку свердлильної операції для деталі "Шайба контровочна".

2.2 Проєктування контрольного пристосування

Проєктування контрольного пристосування для контролю паралельності деталі "Шайба контровочна" з обробленими, непрофільним електрод-інструментом отворами, є важливим етапом у виробничому процесі. Важливість цього процесу визначається декількома факторами, а саме непрофільний електрод-інструмент може створювати складні поверхні, а для забезпечення високої якості виготовлення "Шайба контровочна" необхідно перевіряти, чи відповідає отримана форма заданим параметрам. Проєктування контрольного пристосування дозволяє перевірити, чи відповідає виготовлена деталь цим стандартам. Перевірка паралельності може допомогти у виявленні дефектів або відхилень в розмірах на ранніх етапах виробництва, що дозволяє мінімізувати відбрак та зменшувати витрати. Контроль допомагає впевнитися у відповідності деталі визначеним критеріям.

Проєктування контрольного пристосування (рис. 2.4) адаптовано до конкретних характеристик "Шайби контровочної" та враховує вимоги виробничої ситуації. Застосування такого контролю допомагає забезпечити високу якість виготовлення деталі та відповідність її параметрів заданим стандартам.

Деталь «Шайба контровочна» поверхнею $\varnothing 168_{-0,16}$ встановлюється в отвір плити 4 таким чином, щоб вона дотикалася до роликів 6. Ролики в кількості

двох штук встановлені в плиту 4 в якій, для спеціально для них зроблено отвори. Корпус 2 розташований під нахилом відносно горизонтальної площини під кутом, для забезпечення контакту з плитою 4. До корпусу 2, дана плита кріпиться за допомогою гвинтів 10 та 11. Стійка 7 з індикаторним годинником кріпиться до корпусу 2 за допомогою різі. На стійці 7 кріпиться кронштейн 3 з тримачем 8, у який встановлюється безпосередньо індикаторний годинник.

Контроль паралельності деталі виконується вручну контролером, який взаємодіє з самою деталлю. У той же час контролер зафіксує відповідні показники за допомогою індикаторного годинника. Цей процес дозволяє ефективно здійснювати контроль і забезпечує відповідність вимогам якості.

Пристосування контролює паралельність. Похибка приладу дорівнює не більше 0,02 мм.

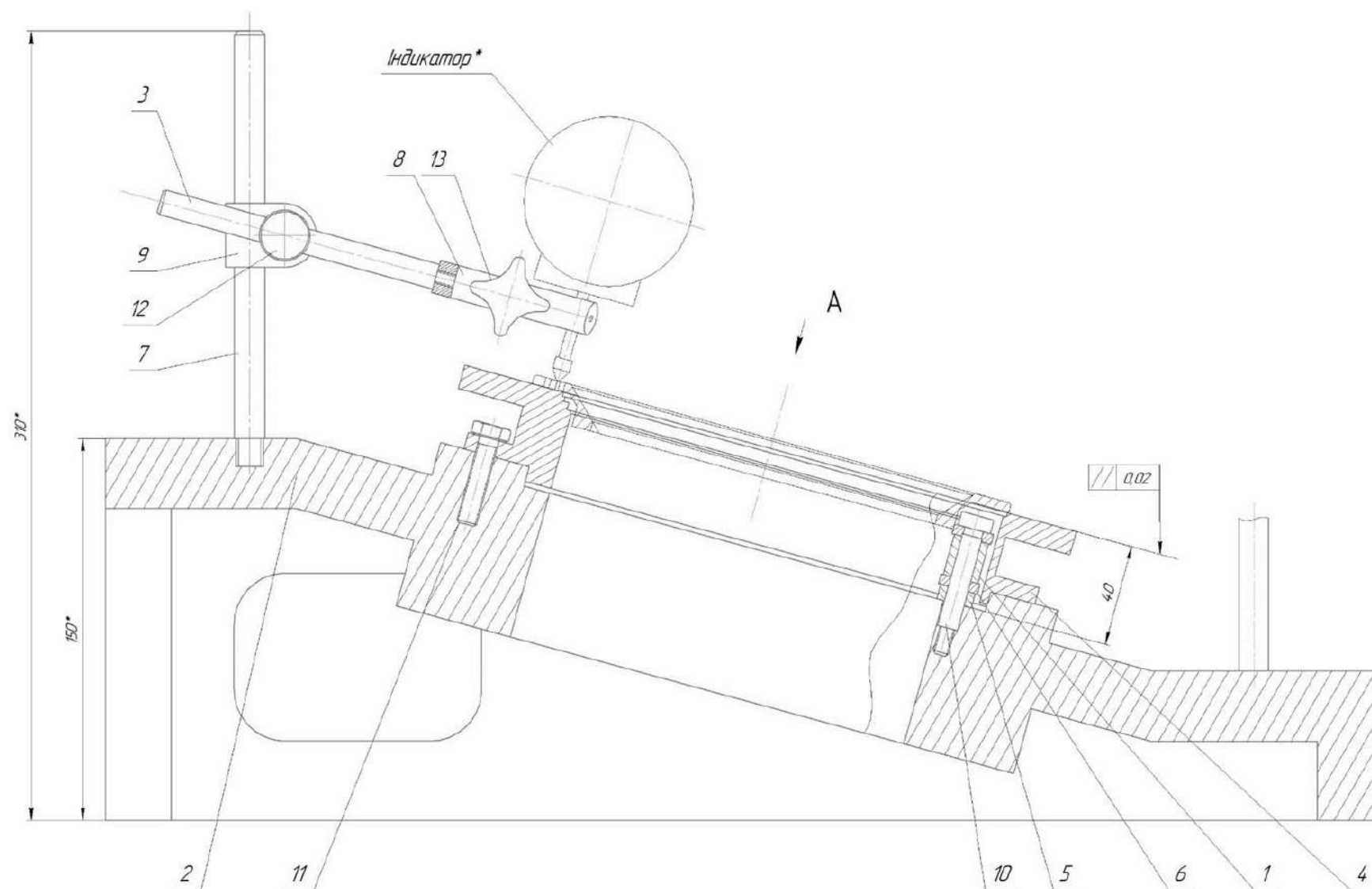


Рисунок 2.4 – Пристосування для контролю паралельності

3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

3.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

Машинобудування вимагає, щоб деталі машин були проєктовані з врахуванням запасу міцності та жорсткості. Для цього важливо, щоб розміри та конструкція деталей забезпечували їхню стійкість до деформації та руйнування під дією навантажень, які можуть перевищити допустимі значення. Коефіцієнт запасу міцності авіабудівної промисловості $[n]=2...5$ також враховує механічні властивості матеріалів, які використовуються для виготовлення деталей. Цей запас міцності залежить від ступеня відповідальності конструкції та умов її подальшої експлуатації.

Коефіцієнт запасу міцності за формулою (3.1):

$$n=[\sigma_b]/\sigma_{\max} \quad (3.1)$$

де $[\sigma_b]$ – границя міцності матеріалу при розтягуванні, МПа;

$\sigma_{\max}$ – найбільше напруження, в результаті розрахунку, що виникає в котромусь елементі конструкції.

Для проведення розрахунку деталі на міцність маємо наступні вихідні дані:

- 3D модель деталі (рис. 3.1);
- матеріал деталі – сталь 30ХГСА;
- схему закріплення (за 12^{ма} отворами);
- схему навантаження (на ширший торець $\varnothing 210$).

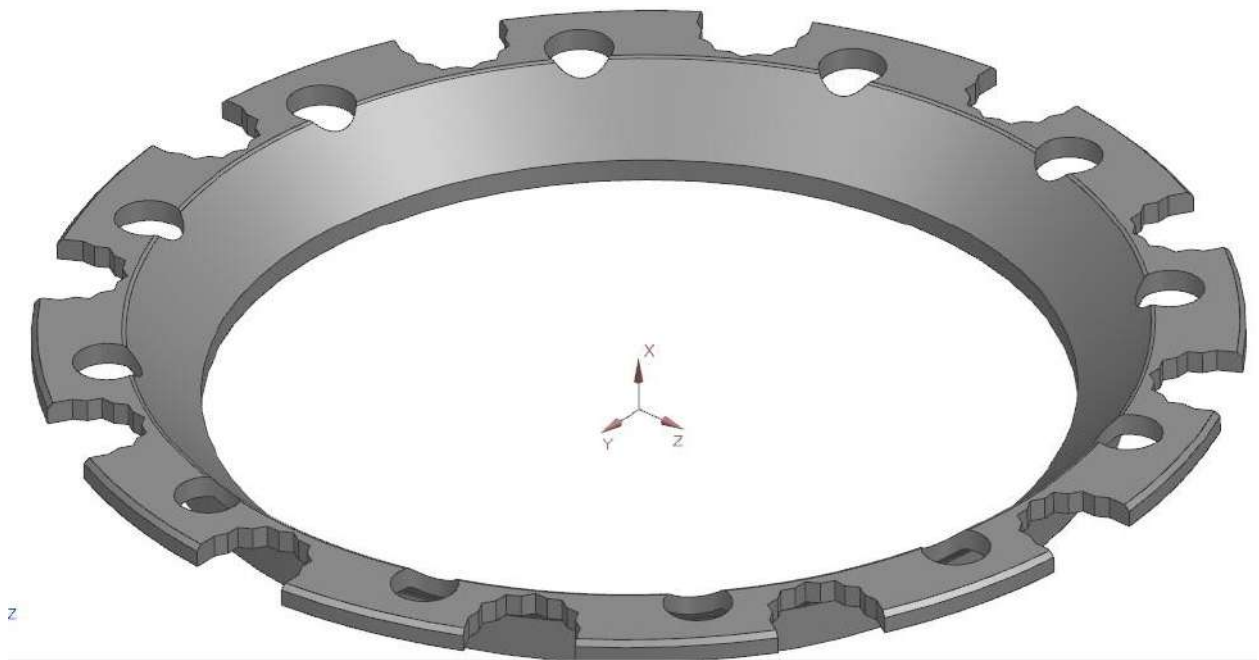


Рисунок 3.1 – Зображення моделі деталі «шайба контровочна».

Для подальшого розрахунку на міцність деталь було розбито на сітку кінцевих елементів, розміром 1 мм (рис. 3.2).

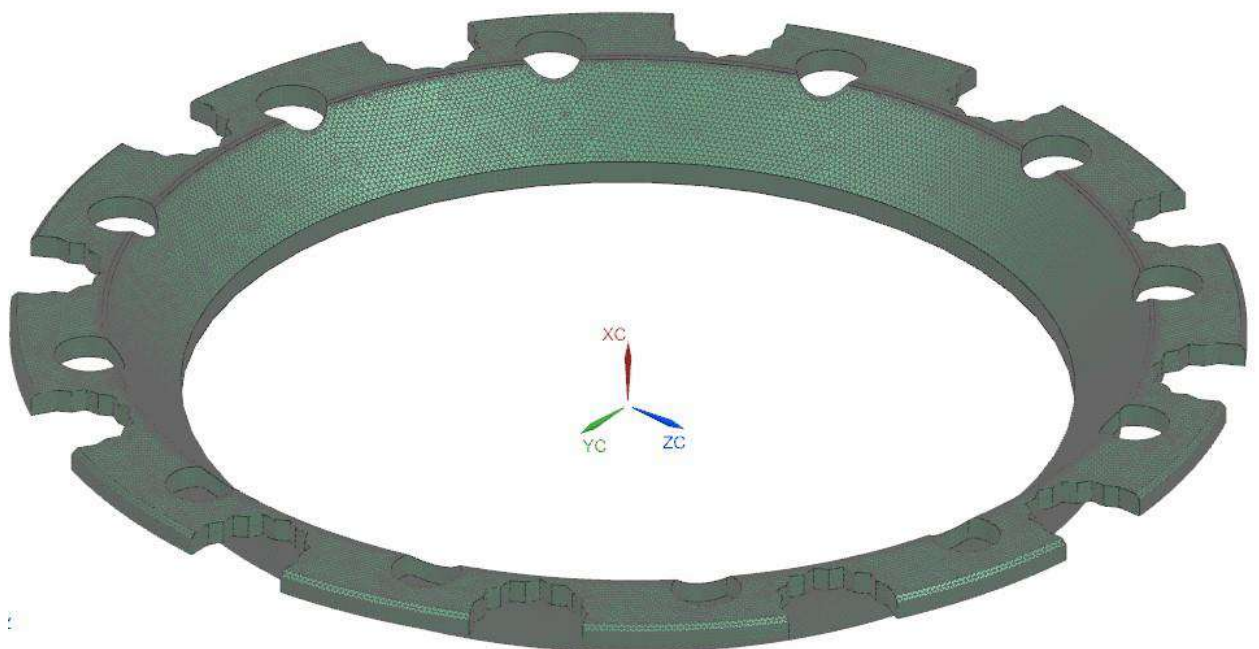


Рисунок 3.2 – Зображення сітки кінцевих елементів деталі

Далі деталь «шайба контровочна» було закріплено (рис. 3.3) та прикладено навантаження 180 МПа (рис. 3.4-3.6).

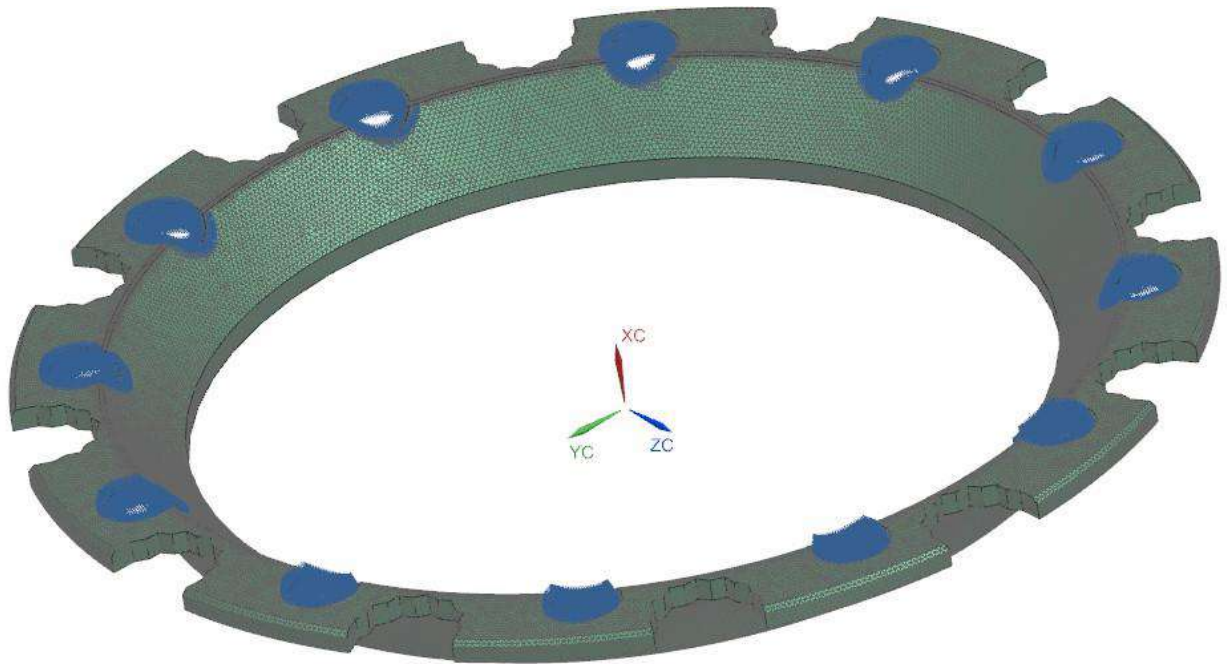


Рисунок 3.3 – Зображення деталі зі схемою закріплення

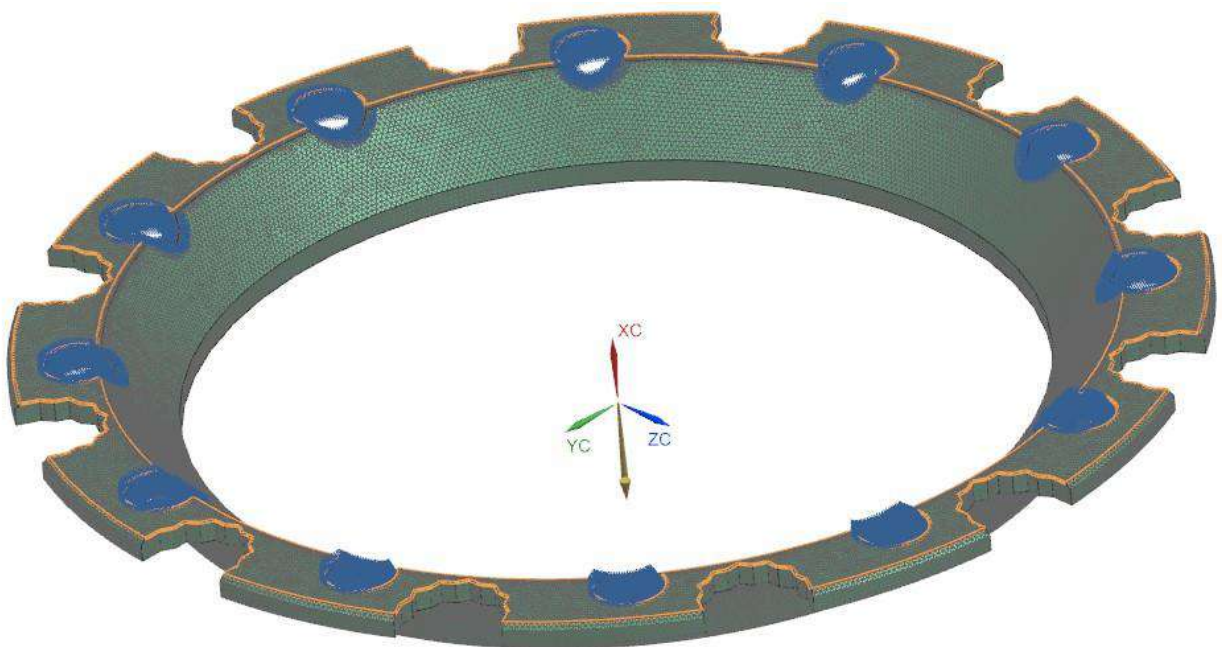


Рисунок 3.4 – Зображення деталі зі схемою закріплення та зоною прикладення навантаження, а саме ширший торець $\varnothing 210$

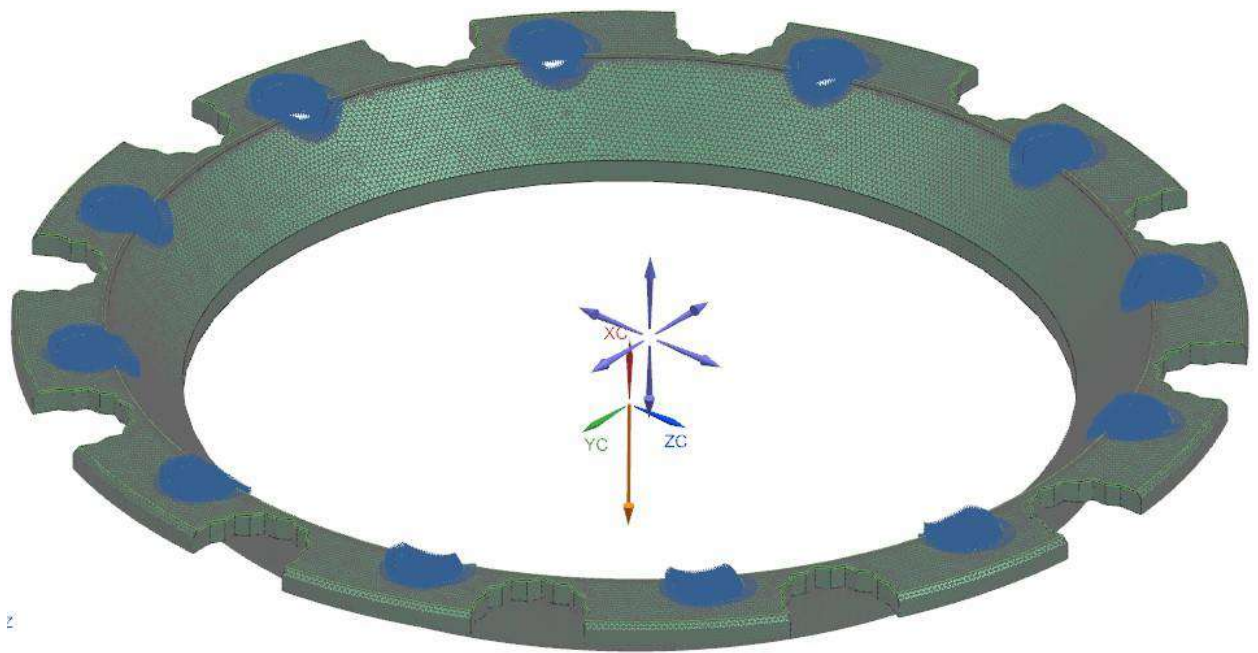


Рисунок 3.5 – Зображення деталі зі схемою закріплення та обиранням вектору сили прикладеного навантаження

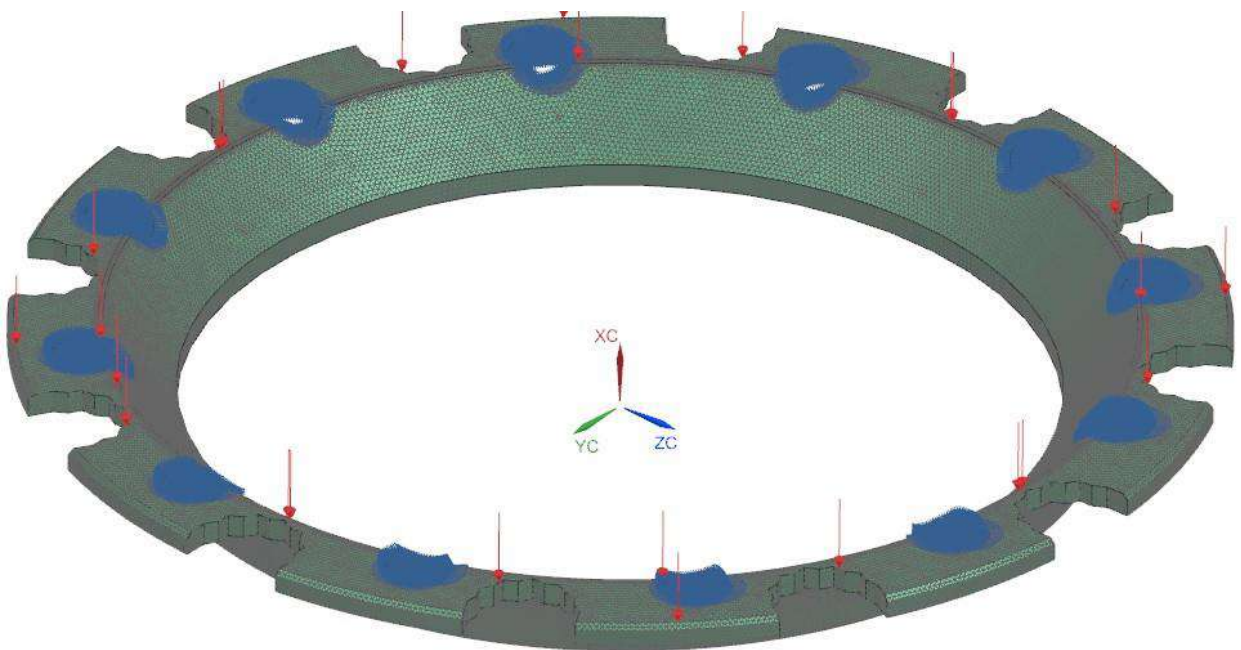


Рисунок 3.6 – Зображення деталі зі схемами закріплення та прикладеного навантаження

Границя міцності матеріалу при розтягуванні $[\sigma_b]=1340$ МПа.

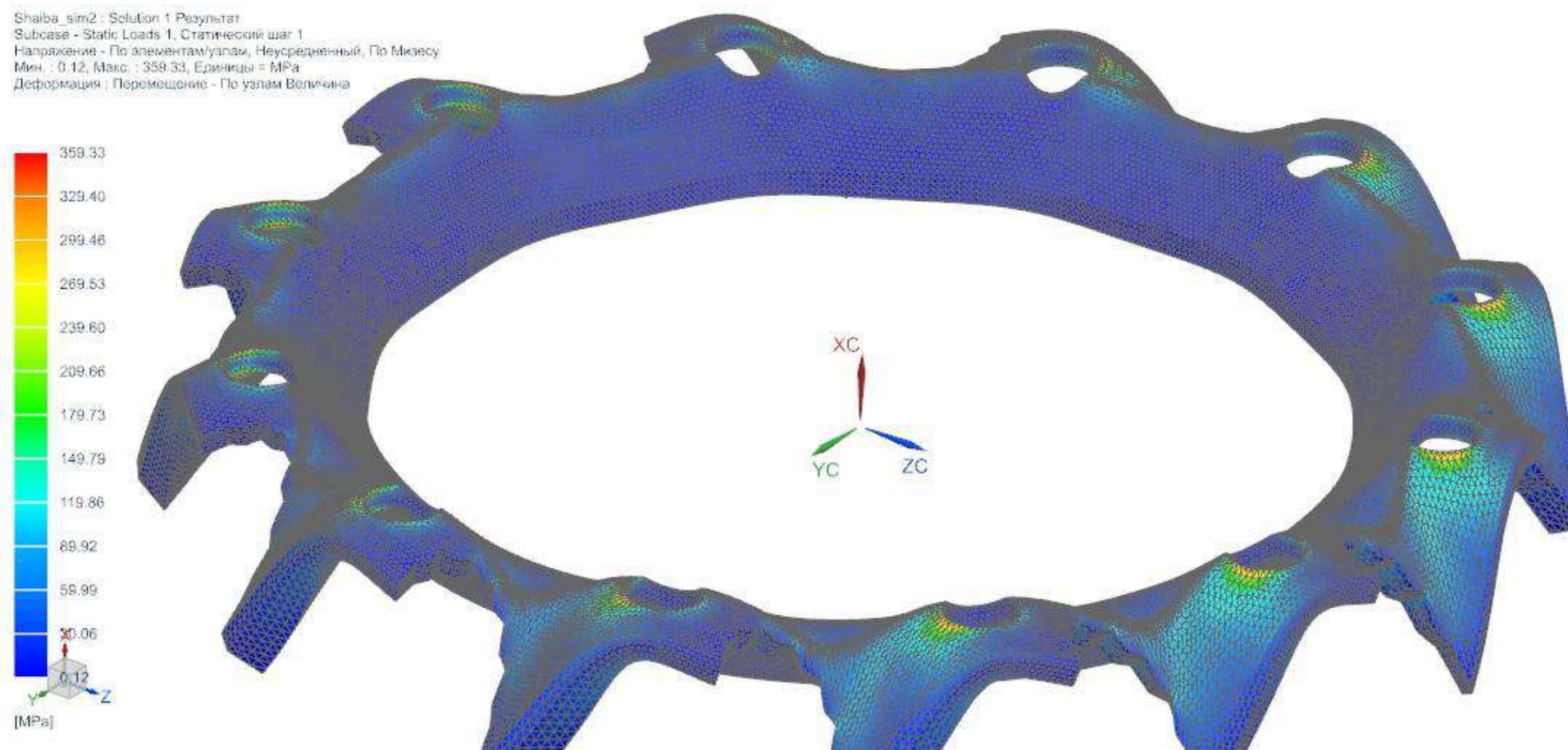


Рисунок 3.7 – Результат розрахунку на міцність деталі «шайба контровна»

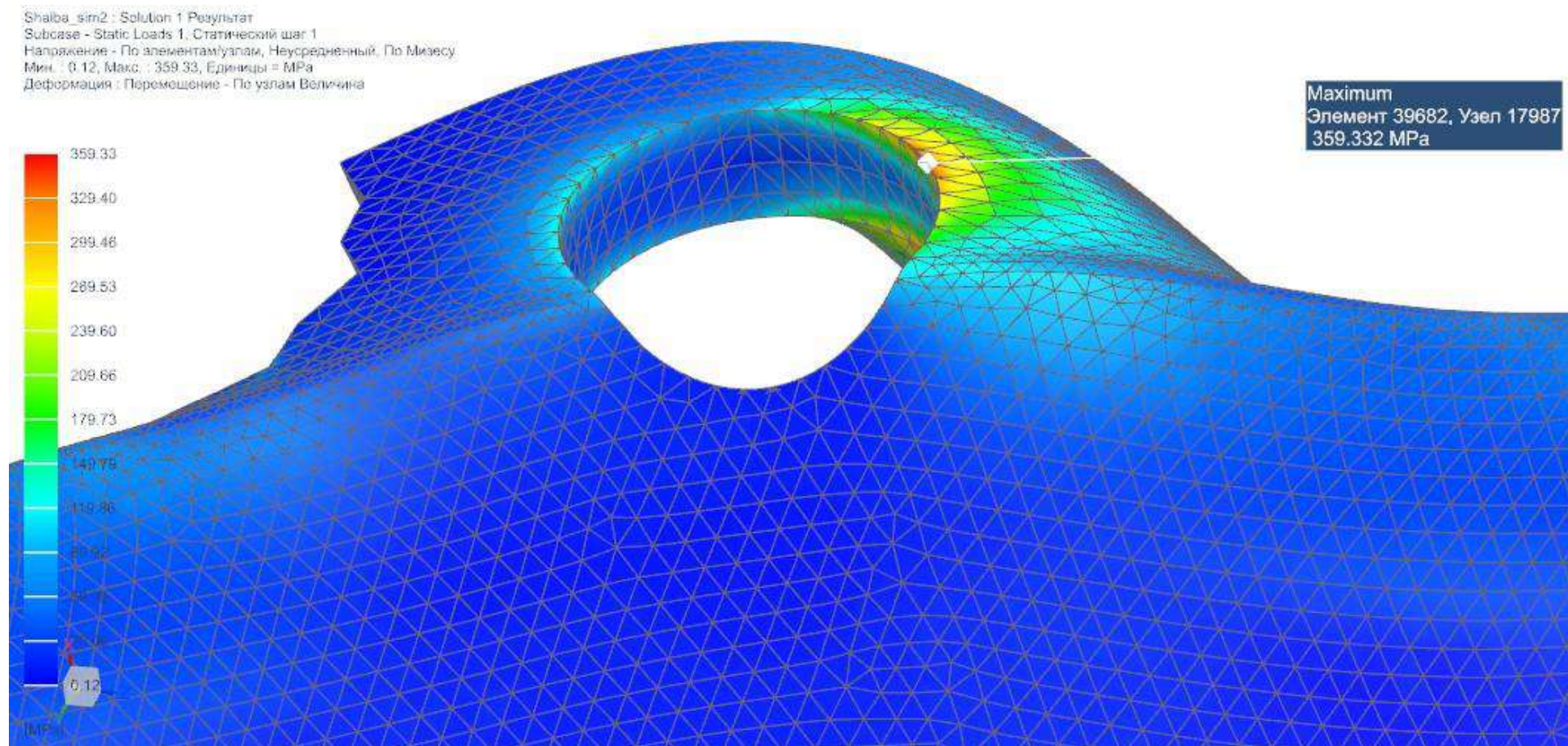


Рисунок 3.8 – Результат розрахунку на міцність деталі «шайба контровочна» з позначенням елемента максимального навантаження

Коефіцієнт запасу міцності за формулою (3.1):

$$n=1340/359,33=3,73 \text{ МПа}$$

За результатами проведеного розрахунку (рис. 3.7, 3.8), можна зробити висновок, було прикладене оптимальне навантаження, бо коефіцієнт запасу міцності при прикладеному навантаженні 180 МПа межах допустимого. Відтак для подальшого визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції, було прийнято навантаження – 180 МПа.

3.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Через те, що небезпечним перерізом (рис. 3.8) є діаметр отвору, то для зменшення максимального навантаження пропонується змінити саме величину діаметрів 12^{ти} отворів (звісно, якщо це не протирічить конструкції та обмеженням деталі у вузлі).

В результаті розрахунків деталі «шайба контровочна» на міцність при зміні величини діаметру 12^{ти} отворів з 12 мм на 10 мм (рис. 3.9), 13 мм та 15 мм було отримані дані наведені в таблиці 3.1 та (рис. 3.10).

Таблиця 3.1 – Результати розрахунків деталі «шайба контровочна» на міцність при зміні величини діаметру.

Величина зміненого діаметру	σ_0 , МПа, сумарне прикладене навантаження	Максимальне напруження $\sigma_{\max}$, МПа	% на який змінилось $\sigma_{\max}$	Коеф. зап. міцності, n
10	180	376,3	↑4,7	3,56
12 (станд.конструкція)		359,33	100%	3,72
13		343,64	↓4,4	3,89
15		346	↓3,7	3,87

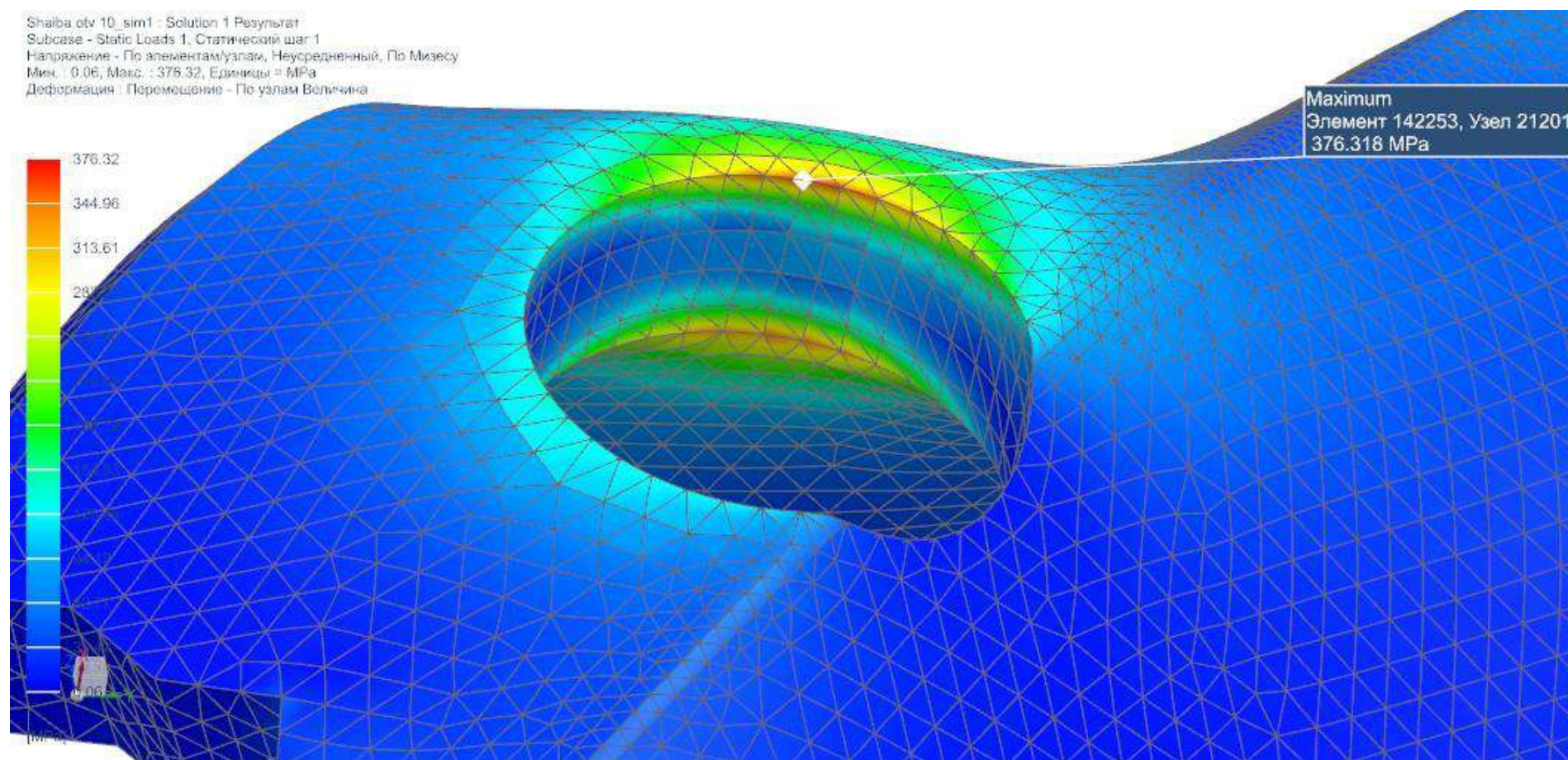


Рисунок 3.9 – Результат розрахунку на міцність деталі «шайба контровочна» з позначенням елементу максимального навантаження при зміні величини діаметру 12^{ти} отворів з 12 мм на 10 мм

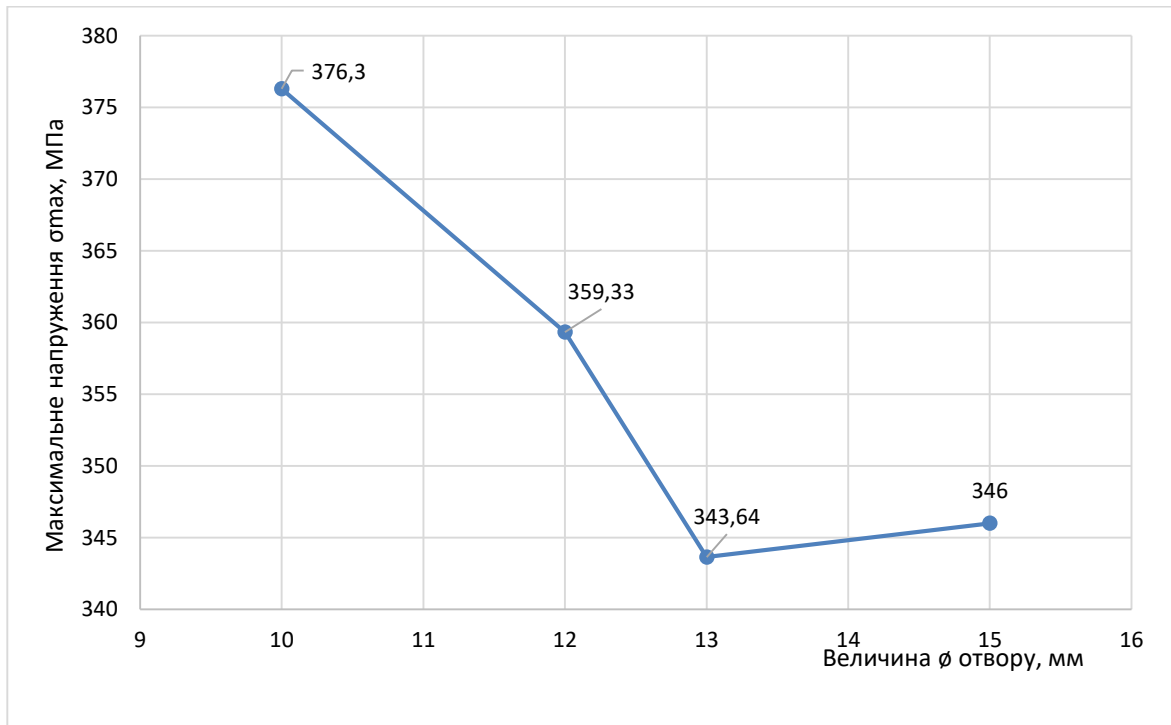


Рисунок 3.10 – Графік залежності максимального навантаження $\sigma_{\max}$ від значення величини ϕ отвору при різних варіантах конструкції.

3.3 Оптимізація геометрії деталі

З результатів розрахунку на міцність деталі «шайба контровочна» при зміні величини діаметру 12^{ти} отворів (таблиця 3.1) зроблено висновок, що при зміні діаметру з 12 мм на 13 мм $\sigma_{\max}$ знижується на 4,4%, що є найкращим з наведених показників (рис. 3.10).

Тому для оптимізації геометрії деталі рекомендується змінити величину діаметру на 13 мм, звісно, якщо це не протирічить конструкції, обмеженням деталі у вузлі та її експлуатації.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ

АБРАЗІВНО-СТРУМЕНЕВА ОБРОБКА В ПСЕВДОЗРІДЖЕНОМУ ШАРІ

Відносно новий метод абразивно-струменевої обробки в псевдозрідженому шарі (FB-AJM) застосовують для фінішної обробки внутрішніх поверхонь деталей. Абразивно-струменева обробка використовує принцип кінетичної енергії стисненого повітря з абразивними частинками. Коли високошвидкісні частинки вдаряються об поверхню заготовки, поверхневий матеріал заготовки починає видалятися (рис. 4.1). Якість обробленої поверхні сильно залежить від тиску струменя, оскільки він впливає на контакт абразиву з поверхнею, а також на силу обробки, що діє на абразив, від розміру зерна абразиву, який контролює глибину різання, і від циклу обробки, який контролює час взаємодії між абразивом і оброблюваною поверхнею. Змінюючи ці умови, можна досягти шорсткості поверхні (R_a) до 0,1 мм і створити мінімальне додаткове залишкове напруження на поверхні.

У науковій літературі детально описано кілька передових рішень для обробки деталей складної форми [9]. Коли потрібна точна фінішна обробка високоміцних матеріалів або деталей складної конфігурації, на всі технології обробки, включаючи найсучасніші, накладається ряд обмежень. Наприклад, для внутрішньої обробки зазвичай використовують процеси травлення, але вони мають недоліки, пов'язані з контролем якості поверхні та переробкою хімічних відходів [10]. З усіх методів, заснованих на абразивних потоках і струменях, AJM зазвичай вважається найбільш конкурентоспроможним, оскільки він передбачає коротший час запуску, а також менші інвестиційні та експлуатаційні витрати [10]. Незважаючи на те, що AJM вимагає найменших інвестицій і найекономічніших експлуатаційних витрат, не має недоліків, пов'язаних з використанням

твердих інструментів (вібрації, вигини або поломки), а також має переваги у вигляді високого ступеня операційної гнучкості і коротшого часу обробки, вона все ж таки має ряд обмежень. Вони, як правило, викликані непередбачуваними гідродинамічними властивостями абразивного струменя, що робить цей процес непридатним для більшості деталей трубчастої форми. Точна і повторювана обробка може бути практично неможливою при використанні АЖМ, і можуть виникнути проблеми з експлуатацією, включаючи режими заклинювання, значний знос сопла, забруднення атмосфери дисперсними дрібними частинками, а також постійна потреба в заміні абразиву.

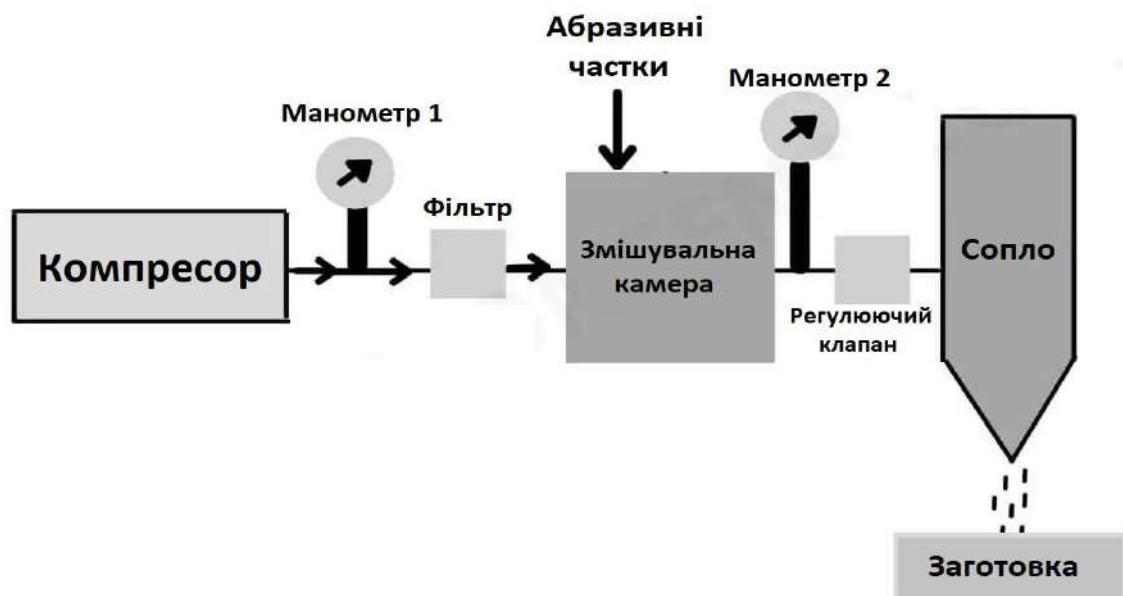


Рисунок 4.1 – Принципова схема роботи абразивно-струменевої обробки в псевдозрідженому шарі.

Вище наведено зображення принципу роботи абразивно-струменевої обробки (рис. 4.1):

1. Коли стиснене повітря починає надходити з компресора, фільтр видаляє бруд, забруднення зі стисненого повітря.

2. Після фільтра стиснене повітря надходить в камеру змішування. У камері змішування відбувається змішування отриманого стисненого повітря

і абразивних частинок між собою. До камери змішування підключений вібраційний пристрій, який сприяє перемішуванню стисненого повітря і абразивних частинок.

3. Суміш виходить зі змішувальної камери і починає надходити до сопла через регулюючий клапан. Оператор використовує цей регулювальний клапан для досягнення бажаного тиску на виході.

4. Суміш потрапляє в сопло, яке збільшує швидкість руху суміші. Таким чином, суміш з високою швидкістю (близько 140-280 м/с) вдаряє по заготовці. Коли ця високошвидкісна суміш вдаряється об поверхню заготовки, матеріал видаляється з поверхні заготовки.

Таким чином, в АЖМ обробка здійснюється за допомогою високошвидкісного струменя абразивних частинок і повітря.

В роботі [11] описано застосування методу FB-АЖМ на трубах з алюмінієвих сплавів (рис. 4.2), а його основні характеристики наведені в таблиці 4.1. Загалом, установка, що використовувалася в цьому дослідженні, являла собою цілісну систему, що складається з компресора, двох псевдозріджених шарів і пов'язаних з ними систем триходових клапанів, сопла і труб Вентурі, пари резервуарів для абразиву і пов'язаних з ними клапанів, трубок і приладів для вимірювання і контролю. Крім того, завдяки використанню спеціальної системи управління було зрегульовано всі робочі параметри, а також потоки повітря та абразиву. Подача стисненого повітря, як робочого тіла, під помірним тиском (< 1 бар) на один з двох шарів, що псевдозріджується, означає, що абразивний матеріал, попередньо поданий на шар, що псевдозріджується, з бака для абразиву, знаходиться в підвішеному стані (тобто в стані, схожому на рідину) під дією аеродинамічного поштовху повітря. Одночасно подаючи додаткове

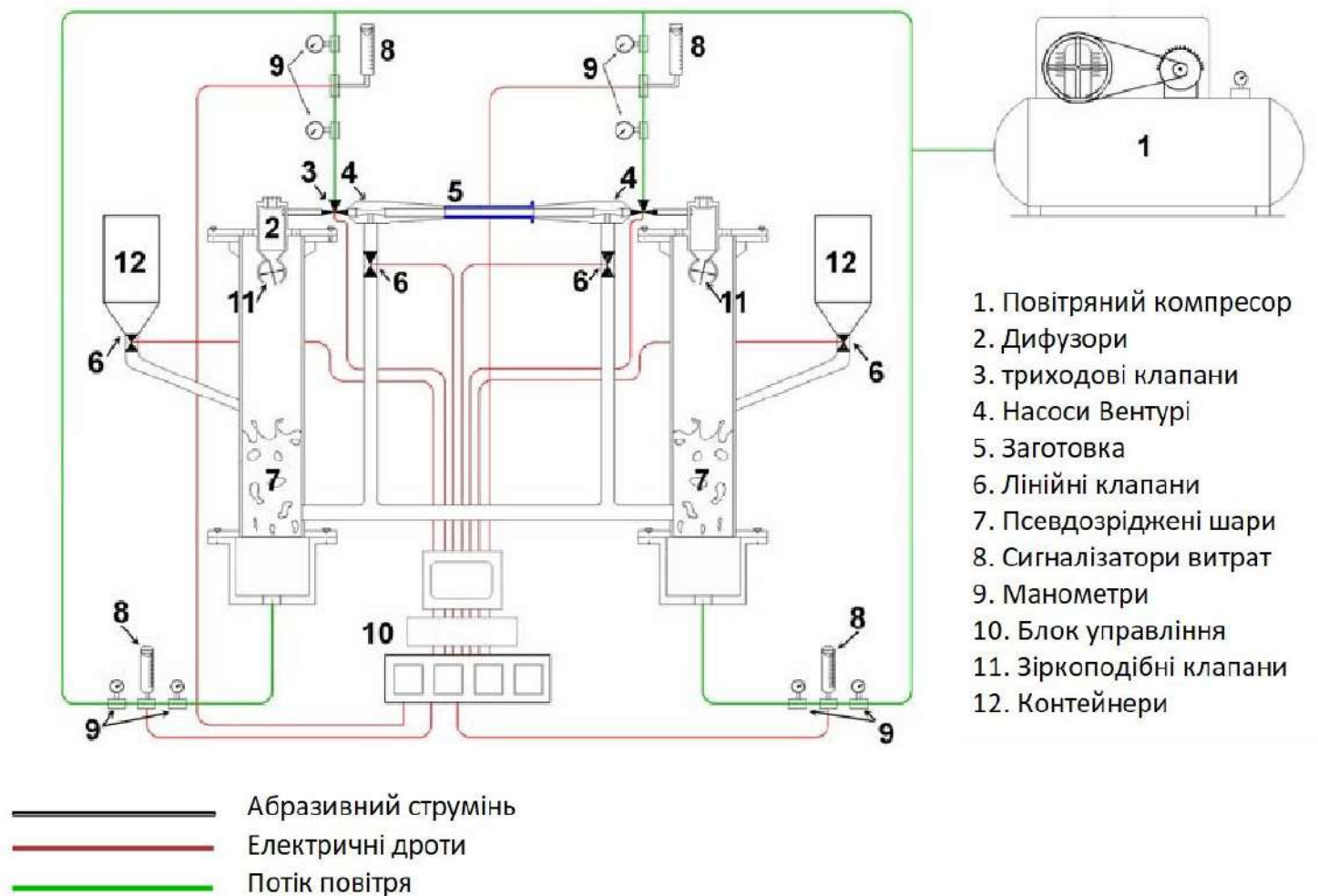


Рисунок 4.2 – Метод абразивно-струменевої обробки в псевдозрідженому шарі (FB-AJM) на трубах з алюмінієвих сплавів [11].

стиснене повітря під високим тиском (до 16 бар) до триходового клапана, розташованого перед трубою Вентурі, з'єднаної з обраним псевдозрідженим шаром, суспендований абразив швидко всмоктується псевдозрідженим

Таблиця 4.1 – Технічні характеристики системи FB-AJM

Сопло, мм	10
Шланг подачі абразиву, мм	10
Відвідний шланг, мм	10
Робоча рідина (псевдозрідження повітря + струменева рідина)	Повітря, макс. 8-10 атм, $130 \text{ м}^3 \text{ h}^{-1}$
Манометр, атм	0-16
Псевдозріджений шар (розміри)	Діаметр F 140 мм, висота 1200 мм
Наповнення	Висота 180 мм (5 кг)
Розмір заготовки	Довжина 350 мм, $d_{\text{внутр}}=10 \text{ мм}$
Матеріал заготовки	AA 6082 T6

шаром до сопла, яке було розроблено спеціально, і струменем подається до заготовки. Після цього, коли абразивний матеріал обтікає заготовку, він потрапляє на другий шар псевдозрідженого шару через систему пиловловлювачів (дифузорів), розташовану над ним. Зібраний абразив потім псевдозріджується додатковою подачею робочої рідини під помірним тиском у другий шар. Зворотний потік абразиву і сильніші порушення гідродинаміки другого псевдозрідженого шару запобігаються за допомогою зіркоподібних клапанів в основі циклону. З'єднання між двома псевдозрідженими шарами гарантує безперервність роботи, при цьому рівень абразиву всередині них підтримується постійним за принципом сполучених посудин. Нарешті, ролі двох псевдозріджених шарів і додатків можна автоматично міняти місцями, як показано на рис. 2. Таким чином,

струмінь абразиву подається в протилежному напрямку, оскільки тепер він подається в заготовку з протилежного боку, а вихідний абразив збирається в першому псевдозрідженому шарі. Два повітряні фільтри, розташовані на верхніх шарах, запобігають масивному вимиванню абразиву, а також відводять дисперговану стружку (що утворюється при обробці) і надлишкове повітря для псевдозрідження. Після цього використовуються "абсолютні" повітряні фільтри для очищення потоку повітря і стружки. Крім того, для забезпечення постійної кількості та якості абразивних матеріалів під час обробки, бункери безперервно завантажують свіжі абразивні матеріали на псевдозріджені шари. Нарешті, видалення диспергової стружки і повторне завантаження свіжого абразиву гарантує саморегенерацію обробних можливостей FB-AJM.

Переваги абразивно-струменевої обробки методом FB-AJM:

1. Висока чистота поверхні.
2. Точність до 0,5 мм
3. Менше споживання енергії
4. Можливість свердління отворів складної форми в крихких і твердих матеріалах.
5. Менші капітальні витрати.

Недоліки абразивно-струменевої обробки методом FB-AJM:

1. Високий знос сопла через потік абразивних частинок.
2. Менша швидкість зняття матеріалу.
3. Відсутність контакту між інструментом і заготовкою.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.

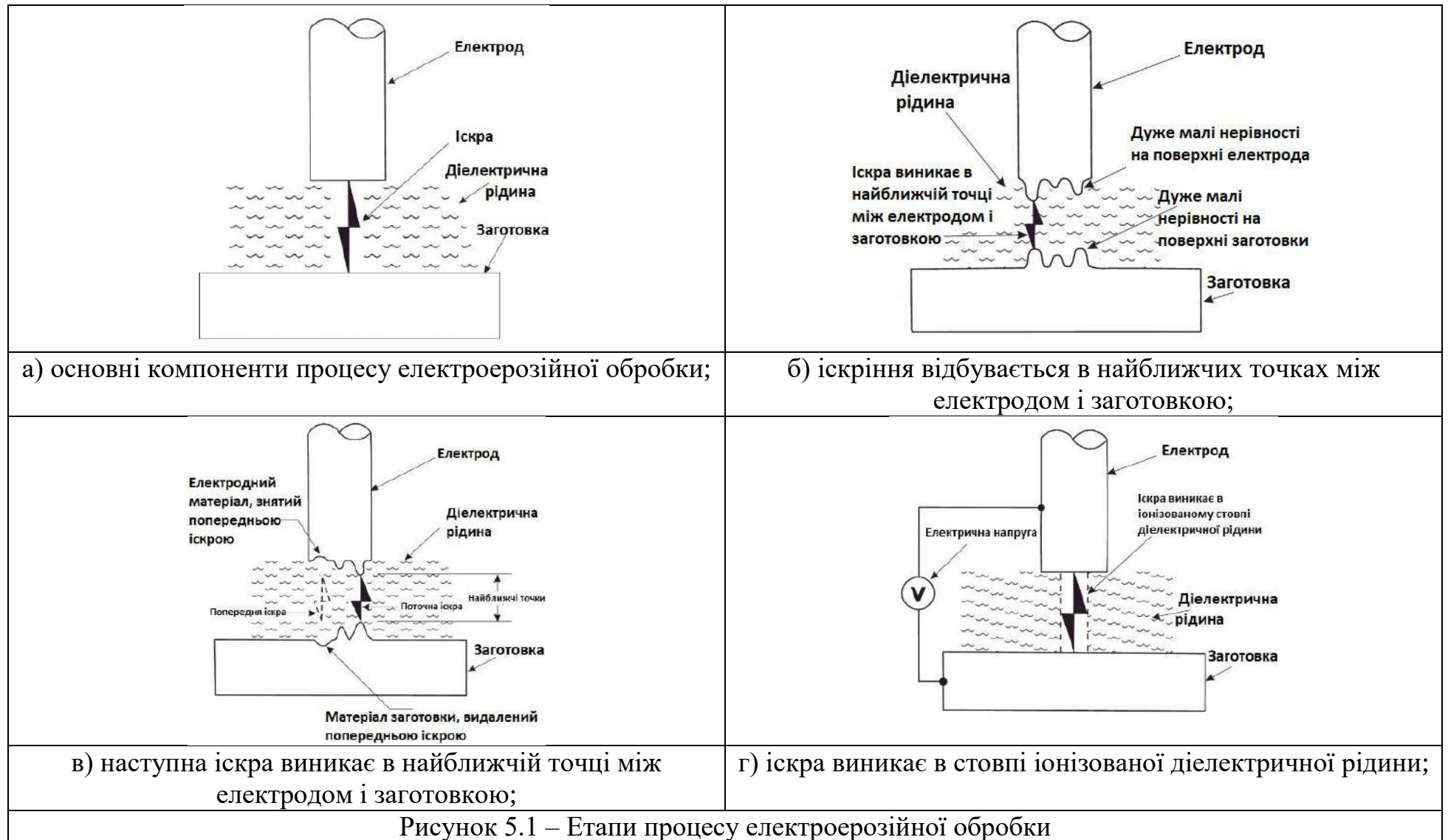
ОТРИМАННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ НЕ ПРОФІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОДОМ-ІНСТРУМЕНТОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМ МЕТОДОМ

5.1 Основи електроерозійної обробки

За останні роки електроерозійна обробка принесла багато вдосконалень в процес обробки. Можливість обробки складних деталей і твердих матеріалів зробила електроерозійну обробку одним з найпопулярніших процесів обробки. Внесок електроерозійної обробки в такі галузі, як різання нових твердих матеріалів, робить технологію електроерозійної обробки незамінною. З часом проведено багато оглядів дослідницьких тенденцій в області електроерозійної обробки з використанням ультразвукової вібрації, сухої електроерозійної обробки, електроерозійної обробки з порошковими добавками, електроерозійної обробки у воді та техніки моделювання для прогнозування продуктивності електроерозійної обробки.

Електроерозійна обробка (EDM) - це процес обробки електропровідних матеріалів за допомогою точно контрольованих іскор, які виникають між електродом і заготовкою в присутності діелектричної рідини. Електрод можна вважати ріжучим інструментом. На рис. 5.1-а) проілюстровано основні компоненти процесу електроерозійної обробки.

Електроерозійна обробка відрізняється від більшості операцій обробки зі стружкою тим, що електрод не має фізичного контакту із заготовкою для зняття матеріалу. Оскільки електрод не контактує із заготовкою, при електроерозійній обробці відсутнє зусилля притискання інструменту.



Електрод повинен бути віддалений від заготовки на відстань, необхідну для іскроутворення, відому, як іскровий проміжок. Якщо електрод торкається заготовки, іскріння припиняється, і матеріал не видаляється. Деякі електроерозійні верстати дозволяють електроду контактувати із заготовкою. Ці верстати використовуються переважно для видалення зламаних мітчиків і свердел і не вважаються електроерозійними верстатами для висікання або дрогового різання.

Інша основна принципова особливість процесу полягає в тому, що в кожний момент часу виникає лише одна іскра. Іскріння відбувається в діапазоні частот від 2 000 до 500 000 іскор в секунду, через що здається, що багато іскор виникають одночасно [12]. У звичайному режимі електроерозійної обробки іскри рухаються від однієї точки електрода до іншої в процесі іскроутворення. На рисунку 5.1-б) показано, що кожна іскра виникає між найближчими точками електрода та заготовки.

Іскра видаляє матеріал, як з електрода, так і з заготовки, що збільшує відстань між електродом і заготовкою в цій точці. Це призводить до того, що наступна іскра виникає в найближчій точці між електродом і заготовкою. На рисунку 5.1-в) показано, як це працює.

EDM - це термічний процес; матеріал видаляється за допомогою тепла. Тепло передається потоком електрики між електродом і заготовкою у вигляді іскри. Матеріал у найближчих точках між електродом і заготовкою, де іскра зароджується і гасне, нагрівається до такої міри, що матеріал випаровується.

Хоча під час електроерозійної обробки електрод і заготовка не повинні відчуватися більш ніж теплими на дотик, область, де виникає кожна іскра, дуже гаряча. Площа, яку нагріває кожна іскра, дуже мала, тому діелектрична рідина швидко охолоджує матеріал, що випаровується, а також поверхні електрода і заготовки. Однак іскра, що нагріває поверхню заготовки, може спричинити металургійні зміни.

Для підтримки іскрового проміжку між електродом і заготовкою потрібен діелектрик. Зазвичай цим діелектриком є рідина. В електроерозійних

верстатах для електроерозійного різання зазвичай використовується вуглеводневе масло, в той час, як в електроерозійних верстатах для різання дроту - деіонізована вода.

Основною характеристикою діелектричної рідини є те, що вона є електричним ізолятором до тих пір, поки не буде прикладена достатня електрична напруга, щоб змусити її перетворитися на електричний провідник. Діелектричні рідини, що використовуються для електроерозійної обробки, здатні залишатися електричними ізоляторами, за винятком найближчих точок між електродом і заготовкою [12]. У цих точках напруга іскроутворення змушує діелектричну рідину перетворитися з ізолятора на провідник, і виникає іскра. Момент, коли рідина перетворюється на електричний провідник, називається точкою іонізації. Коли іскра згасає, діелектрична рідина деіонізується, і рідина знову стає електричним ізолятором. Ця зміна діелектричної рідини з ізолятора на провідник, а потім знову на ізолятор відбувається для кожної іскри, що виникає в іонізованому стовпчику діелектричної рідини (рис. 5.1-г).

Діелектрична рідина, що використовується в електроерозійних верстатах, виконує важливі функції в процесі електроерозійної обробки. До них відносяться:

- контроль іскрового проміжку між електродом і заготовкою;
- охолодження нагрітого матеріалу для формування електроерозійної стружки;
- видалення стружки з зони іскроутворення.

5.2 Дротова електроерозія

Дротяна електроерозійна обробка (ЕЕО) - це процес обробки металу, при якому інструмент випускає тисячі іскор на металеву заготовку. Нетрадиційний процес, хоча і не новий, електроерозійна обробка працює на деталях, стійких до звичайних процесів обробки, але тільки якщо ці деталі є електропровідними; як правило, це кольорові метали, включаючи сталь, титан, латунь та багато інших. Замість того, щоб різати матеріал, ЕЕО плавить або випаровує його, утворюючи порівняно невелику стружку і забезпечуючи дуже точну лінію різання. Широке визнання в промисловості призвело до широкого спектру застосувань електроерозійного різання, оскільки воно є дуже універсальним, може різати тверді метали і займає відносно компактну робочу область.

Описання процесу непрофільної електроерозійної обробки зображено на рис.5.2. Від дротяної котушки (1) дріт (2) подається через дротопровідні котушки (3) та блоки керування (4). Для стійкості до стирання блоки управління зазвичай виготовляються з алмазу. Дріт збирається колектором (5) або розрізається на більш дрібні частини, коли споживається.

Підключення через джерело живлення призводить до того, що дріт діє як катод, а деталь – як анод. Коли електрод, у цьому випадку дріт, розташовується близько до заготовки, виникає іскровий розряд, який призводить до видалення матеріалу як з заготовки, так і з дроту.

Розряд підтримується діелектриком (6), який допомагає охолоджувати процес і утилізувати декомпресований матеріал. Процес також може бути повністю занурений у діелектрик.

Іскровий проміжок (7) призводить до того, що оброблений контур трохи перевищує діаметр дроту (8). Контур зазвичай контролюється переміщеннями заготовки в горизонтальній площині.

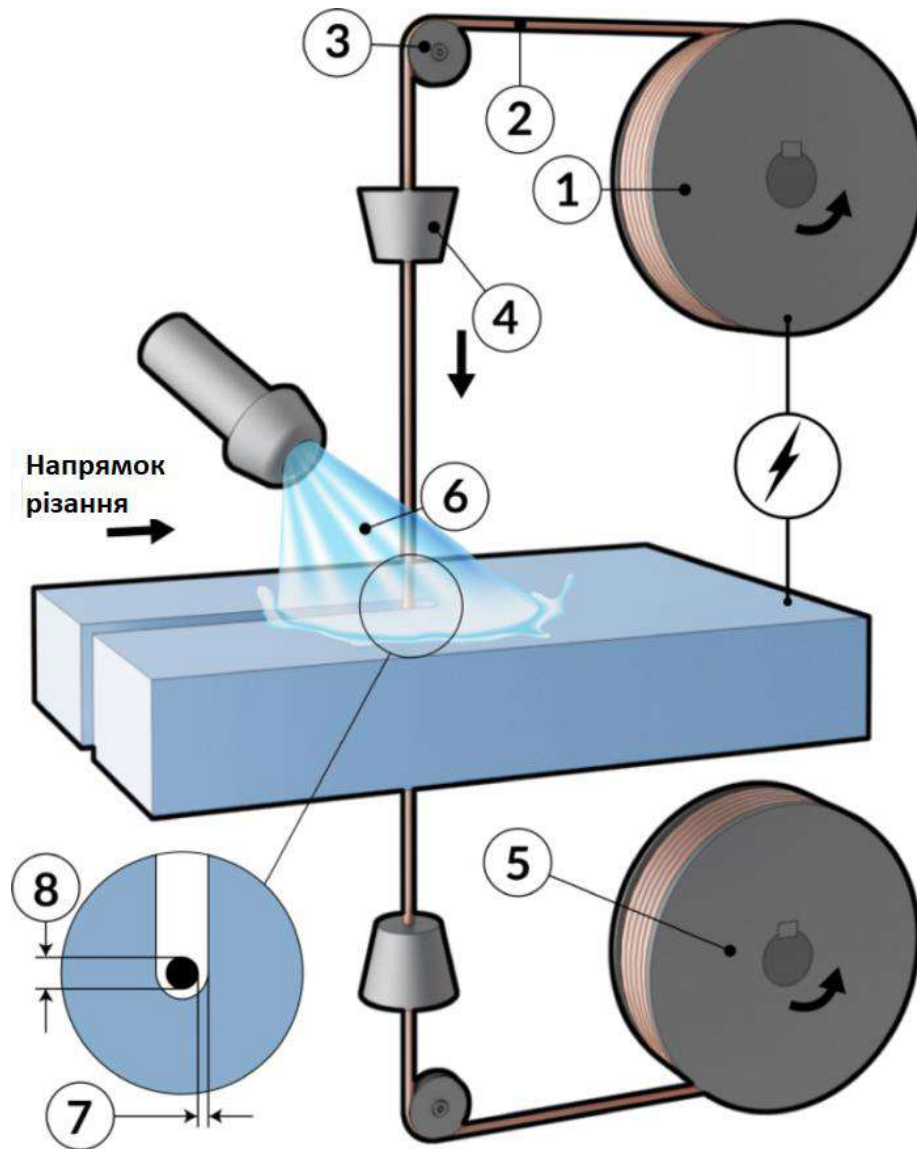


Рисунок 5.2 – Схематичне зображення процесу дротової електроерозійної обробки

Більшість обладнання має можливість нахилити дріт під час процесу (рис. 5.3). Це можна, наприклад, використовувати для створення кутів випуску для перфораційних інструментів. Цю функцію також можна використовувати для створення екструзійних матриць складної форми для досягнення оптимального потоку матеріалу.

Розглянемо відмінності між дротяною та звичайною електроерозійною обробкою. Існує два основних типи електроерозійної обробки: звичайна та

дротове різання. Звичайна електроерозійна обробка, використовує інструмент для розсіювання електричного струму. Цей інструмент, катод, проходить

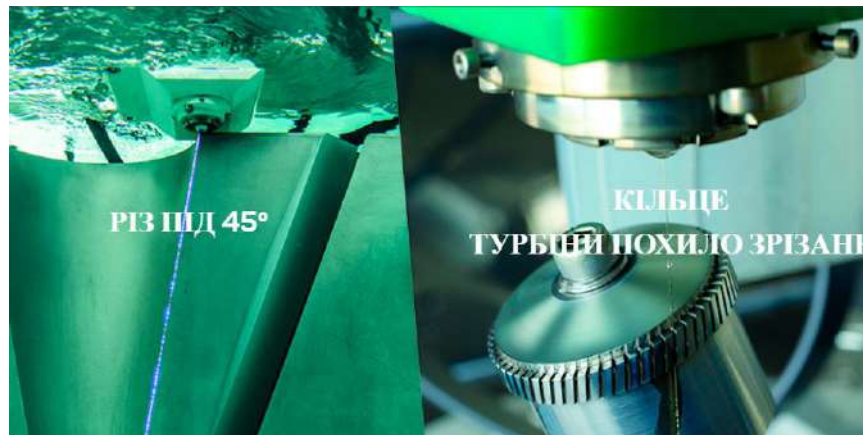


Рисунок 5.3 – Процес електроерозійної обробки з нахиленим дротом та похило зрізаним кільцем турбіни [13]

уздовж металевої заготовки, анода, і електричний струм реагує на неї, розплавляючи або випаровуючи метал. Під дією діелектричної рідини, зазвичай вуглеводневої оливи, в яку занурюються катод і заготовка, дрібна стружка, що утворюється в процесі, змивається з деталі. Електроерозійна обробка дротом розряджає електричний струм за допомогою натягнутого тонкого дроту (рис. 5.4, 5.5), який діє як катод і спрямовується вздовж бажаної траєкторії різання або пропилу. Діелектрична рідина в цьому випадку - зазвичай деіонізована вода - промивається через проріз, що знову ж таки слугує для віднесення частинок та контролю іскріння. Тонкий дрід дозволяє здійснювати точне різання з вузькими прорізами (зазвичай $\sim 0,015$ дюйма, але можливі і більш тонкі прорізи) і допусками $\pm 0,0001$ дюйма. Така підвищена точність дозволяє виконувати складні тривимірні розрізи, а також виробляти високоточні пуансони, матриці та зачисні пластини.

Важливо пам'ятати, що дрід у процесі постійно рухається і не підлягає повторному використанню. Як наслідок, мідний, латунний або інший металевий дрід може мати кілометри довжини, що здорожує процес. І хоча процес не використовує силу, а отже, не викликає задирок і може

використовуватися на делікатних предметах, можливість теплового стресу, безумовно, присутня.



Рисунок 5.4 – Зображення установки Fанус ROBOCUT до обробки [13]

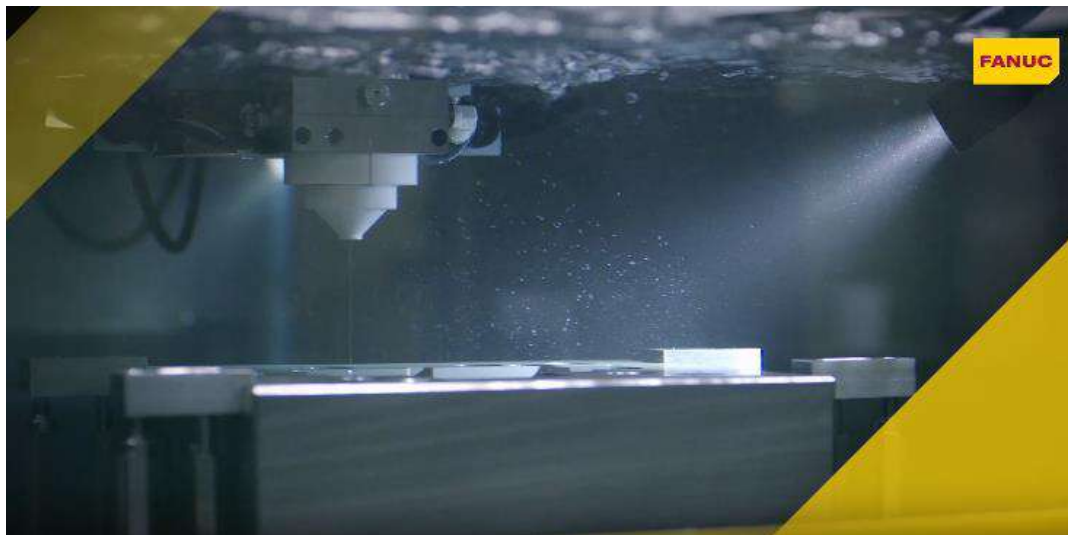


Рисунок 5.5 – Зображення дрітної ЕЕО всередині установки Fанус ROBOCUT [13]

Основна перевага такої електроерозійної обробки перед звичайною полягає в тому, що безперервна подача дроту зводить до мінімуму знос, який виникає при використанні нерухомого електрода. Однак дрітовий

електроерозійний верстат може споживати багато дроту, що призводить до додаткових витрат. Багато дротяних електроерозійних верстатів мають самонарізну різьбу, тому в разі обриву дроту процес можна продовжити майже без перерви.

Ще однією важливою перевагою є те, що деталі можна різати після термічної обробки, що виключає можливість викривлення, яке може виникнути після механічної обробки. Технологія ЕЕО дротом дозволяє відмовитися від 8 етапів, включаючи попередню обробку, загартування, чистову обробку та фінішну обробку, необхідних у традиційних процесах обробки, таких як фрезерування, свердління або нарізування рейки. Робоче колесо (рис. 5.6) було виготовлено за допомогою цієї технології, яка є дуже економічним способом різання.



Рисунок 5.6 – Отримана складна поверхня (робоче колесо), непрофільним електрод-інструментом (дротом)

У порівнянні з багатьма методами обробки, електроерозійна обробка дротом є повільним процесом, хоча швидкість з роками зростає завдяки технологічному прогресу. Продуктивність можна збільшити, якщо складати однакові деталі в стопку і різати їх одночасно. Для одночасного різання декількох однакових деталей існують багатоголові верстати. Оскільки електроерозійна обробка дротом є термічним процесом, заготовка може зазнавати певних навантажень.

5.3 Обладнання, що застосовується для електроерозійної обробки

Обладнання для електроерозійної обробки непрофільним електрод-інструментом працює за допомогою інструментів з числовим програмним керуванням (ЧПК), які можуть керувати дротом по тривимірній осі для забезпечення більшої гнучкості. Прості розрізи виконуються шляхом зміни координат різача по осях x-y, а більш складні розрізи досягаються додаванням осей руху до дротяних напрямних. Доступні як чотири-, так і п'ятикоординатні дротяні електроерозійні верстати та послуги. У той час як звичайні електроерозійні верстати не завжди можуть обробляти гострі кути або дуже складні отвори, підвищена точність електроерозійного різання дозволяє створювати складні конфігурації отворів та розрізи. Крім того, дротяні електроерозійні системи здатні різати метали товщиною до 0,004 дюйма і більш товсті матеріали до 16 дюймів, причому можливе різання і більш товстих секцій. При певній товщині матеріалу дротяна електроерозійна обробка просто змушує метал випаровуватися, тим самим усуваючи потенційне сміття. Дріт пристрою випромінює іскри з усіх боків, а це означає, що розріз повинен бути товщим, ніж сам дріт. Іншими словами, оскільки дріт оточений кільцем струму, найменший і найточніший можливий шлях різання - це додатковий діаметр кільця і дроту; технічні фахівці легко враховують цей додатковий розмір. Виробники продовжують виробляти все тонший і тонший дріт, щоб забезпечити менші прорізи і ще більшу точність (рис. 5.7) [13].

Переваги верстату Fanuc ROBOCUT α -C600iC:

- висока швидкість, висока точність і висока якість різання завдяки стабільній механічній структурі та відмінному управлінню;
- стабільне різання та легке налаштування форм завдяки штучному інтелекту, функція компенсації теплового зсуву;



Рисунок 5.7 – Електроерозійний верстат Fanuc ROBOCUT α-C600iC [13]

- призначений для безперервної безпілотної обробки завдяки високонадійній автоматичній подачі дроту (AWF3);
- просте технічне обслуговування для скорочення часу простою;
- високоточний поворотний стіл ROBOCUT CCR (рис. 5.8) відкриває нові можливості для застосувань, оснащений сервомотором FANUC і поворотним енкодером, який забезпечує максимальну точність у широкому діапазоні застосувань.

Контроль розряду iPulse3 зводить до мінімуму ризик обриву дроту на високих швидкостях обробки, навіть у складних умовах (рис. 5.9), таких як ті, що включають великі відстані сопел або зміну висоти різання.



Рисунок 5.8 – Стіл ROBOCUT CCR [13]

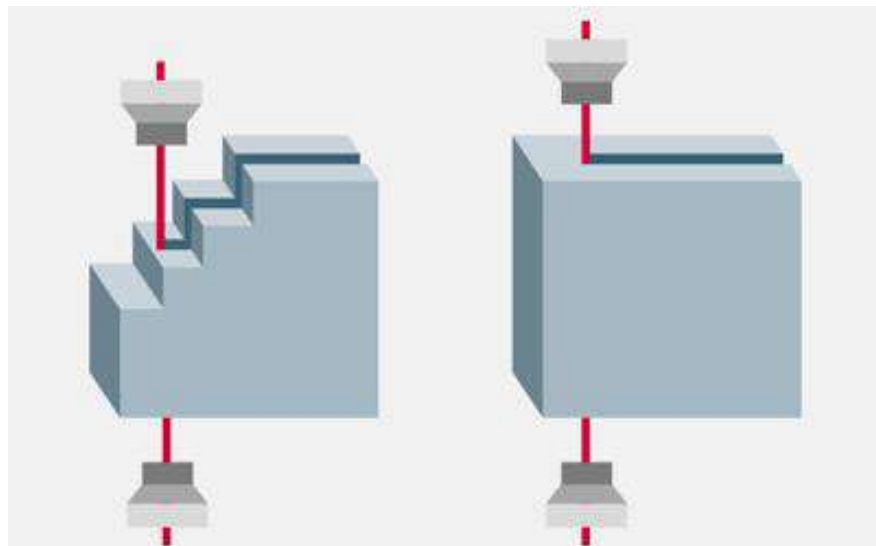


Рисунок 5.9 – Схематичне зображення ЕЕО у складних умовах [13]

5.4 Розрахунок трудомісткості електроерозійної операції

Основний час за формулою, [14] (5.1):

$$t_0 = \frac{z}{V_{\text{и}}} \cdot i \quad (5.1)$$

де z – розмір припуску, мм;

$V_{\text{и}}$ – швидкість подачі по глибині обробки, мм/хв (5.2);

i – кількість проходів.

Швидкість подачі по глибині обробки за формулою (5.2):

$$V_{\text{и}} = \frac{Q}{S} \quad (5.2)$$

де Q – продуктивність, $Q=266,7$ мм³/хв [14];

S – площа проекції поверхні, що обробляється на площину, перпендикулярну напрямку подачі (рис. 5.10).

Швидкість подачі по глибині обробки за формулою (5.2) та основний час за формулою (5.1):

$$V_{\text{и}} = \frac{266,7}{161,37} = 1,653 \text{ мм/хв}$$

$$t_0 = \frac{4}{1,653} \cdot 12 = 29,04 \text{ хв}$$

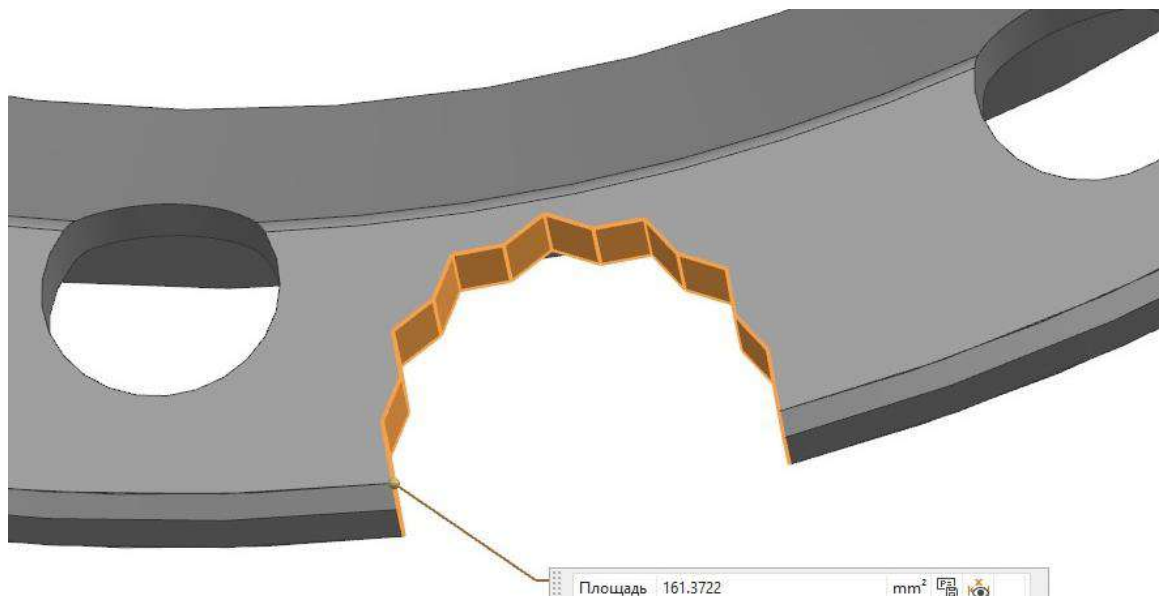


Рисунок 5.10 – Площа проекції поверхні, що обробляється на площину, перпендикулярну напрямку подачі

Допоміжний час для обробки одного отвору складається з наступних складових [14]:

1. Встановити/зняти деталь в пристосування 0,5 хв;
2. закрити/відкрити ванну верстата 0,08 хв;
3. заповнити ванну робочою рідиною 0,3 хв;
4. включити/вимкнути верстат 0,04 хв;
5. підвести електрод 0,1 хв, до 12ти отворів – 1,2 хв;
6. включити/вимкнути обробку 0,04 хв;
7. спустити робочу рідину 0,3 хв.

$$t_{\text{доп}} = 2,46 \text{ хв.}$$

Оперативний час за формулою (1.29):

$$t_{\text{оп}} = 29,04 + 2,46 = 31,5 \text{ хв}$$

Прибавочний час за формулою (1.30):

$$t_{\text{пп}} = 15\% \cdot 31,5 = 4,725 \text{ хв}$$

Штучний час за формулою (1.31):

$$t_{\text{шт}} = 31,5 + 4,725 = 36,225 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час за формулою (1.33):

$$t_{\text{шт-к}} = 36,225 + 28/50 = 36,785 \text{ хв}$$

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки електроерозійної операції, замість 4^{box} механічних операцій, є важливим етапом в процесі прийняття рішення щодо впровадження нової технології. Мета цього розрахунку полягає в тому, щоб визначити, чи буде впровадження електроерозійної операції економічно доцільним порівняно з традиційними механічними операціями.

Основні критерії для оцінки економічної ефективності можуть включати:

1. Вартість обладнання та матеріалів.
2. Трудові витрати.
3. Терміни виготовлення.
4. Якість та точність виготовлення.
5. Ефективність витрат енергії.
6. Технічні аспекти та інноваційні можливості.
7. Обсяг виробництва.

Розрахунки мають бути зроблені з урахуванням всіх цих факторів для отримання повної картини економічної доцільності. Якщо витрати на впровадження нової технології виправдовуються економією коштів чи іншими перевагами, то можна вважати, що введення електроерозійної операції є доцільним.

Заробітна плата основних виробничих робітників за формулою (6.1):

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} t_{\text{шт}_i} \cdot C_{\text{тар}} \cdot K_6 \cdot k_{\text{доп.}} \cdot k_{\text{соц.}} \quad (6.1)$$

де $m_{\text{оп}}$ – кількість операцій у ТП (таблиця 6.1);

$t_{\text{шт}-k_i}$ – норма штучно-калькуляційного часу виконання i -ої операції, год

ТП (таблиця 6.1);

$C_{\text{тар}}$ – годинна тарифна ставка робітника верстатника на i -ій операції, грн. [13, т.А.1, с.33];

K_{ζ} – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатоверстатному обслуговуванні [15, т.2.1, с.13];

$k_{\text{доп.}}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату [15, с.13];

$k_{\text{соц}}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [15, с.13].

Основна та додаткова заробітна плата всіх інших робітників за формулою (6.2):

$$Z_{\text{н}} = \frac{C_{\text{тар.н}} \cdot \Phi_{\text{р}} \cdot \text{Ч}_{\text{н}} \cdot k_{\text{доп.}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн., [15, т.А.1, с.33];

$\Phi_{\text{р}}$ – річний фонд часу, год, [15, с.13];

$\text{Ч}_{\text{н}}$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол.

Амортизаційні відрахування на обладнання за формулою (6.3):

$$A_{\text{вир}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \frac{K_i \cdot H_{\text{ai}} \cdot t_{\text{oi}}}{100 \cdot F_{\text{д}} \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість оснащення на i -ій операції, грн. (таблиця 6.1);

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на (оснащення) i -ої операції (таблиця 6.1);

t_{oi} – основний час на i -ій операції, хв (таблиця 6.1);

$F_{\text{д}}$ – дійсний фонд часу роботи устаткування, год.

Витрати на інструмент за формулою (6.4):

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ініј}} \cdot t_{\text{штіј}} \cdot \eta_{\text{м}}}{T_{\text{іј}} \cdot (n_j + 1)}, \quad (6.4)$$

де $C_{\text{ініј}}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ій операції, грн./шт.

$t_{\text{шті-кј}}$ – штучно-калькуляційний час роботи j -го інст-ту на i -ій операції, хв (таблиця 6.1);

$\eta_{\text{м}}$ – коефіцієнт машинного часу;

$T_{\text{іј}}$ – період стійкості інструменту j -го виду на i -ій операції, хв [15, т.3.8, с. 22];

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на i -ій операції [15, т.3.8, с.22];

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [15, т.3.8, с.22].

Витрати на технологічну електроенергію за формулою (6.5):

$$S_{\text{е}} = \frac{N_{\text{в}} \cdot k_{\text{Н}} \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_{\text{в}}} \cdot C_{\text{е}}, \quad (6.5)$$

де $N_{\text{в}}$ – потужність головного електродвигуна, кВт (таблиця 6.1);

$k_{\text{Н}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна [15, с.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [15, с.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [15, с.16];

$k_{\text{в}}$ – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [15, с. 16];

$C_{\text{е}}$ – вартість 1 кВт·год електроенергії.

Витрати обслуговування та ремонт обладнання за формулою (6.6):

$$S_{\text{р}} = \frac{C_{\text{го}} \cdot K_{\text{р}} \cdot C_{\text{р}}}{N}, \quad (6.6)$$

де $\Pi_{\text{то}}$ – залишкова вартість обладнання, грн.

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [15, с.16].

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою (6.7):

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

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковості поломки інструменту [15, с.16];

$C_{\text{гн}}$ – середня годинна заробітна плата наладчиків, грн./год [15, т.А.1, с.32];

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту, хв [15, с.17];

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв. (таблиця 4.1);

K_T – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучно-калькуляційному часі [15, с.17];

T_M – середня стійкість інструменту, хв. [15, т.3.15, с.32];

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, шт. [15, с.17].

Витрати інші загальновиробничі за формулою (6.8):

$$I_H = 3_o \cdot k_{\text{заг}} \quad (6.8)$$

де $k_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [15, с.17].

Розрахункова кількість потреби в обладнанні за формулою (6.9):

$$C_p = \frac{t_{\text{шт-кі}} \cdot N}{F_d \cdot k_B \cdot k_3 \cdot 60} \quad (6.9)$$

де $t_{\text{шт-кі}}$ – штучно-калькуляційний час і-тої, операції виготовлення деталі, хв;

N – програма випуску, шт.;

F_d – дійсний фонд часу роботи обладнання, год, [15, с.10];

k_B – коефіцієнт виконання норм часу [15, с.10];

Таблиця 6.1 – Вихідні дані вихідного та магістерського ТП

Назва вихідного параметру	Позн.	Технологічного процесу				
		Вихідний				Магістерський
Річна програма випуску деталей, шт.	N	2500				
Назва операції		Фрезерна з ЧПК	Плоскошлі-фувальна	Круглошлі-фувальна	Вібро-галтовка	ЕЕО
Обл-ня		65A60Ф3	3Л741А	3М151В	РА-S800	ОНА AV35
Штучно-калькуляційний час, хв.	T _{шт-к}	36,808	1,687	2,956	125,000	40,145
Розряд верстатника		5	5	4	5	6
Розряд наладчика		5	-			5
Основний час, хв	T _{oi}	24,37	0,255	0,358	68	29,04
Тарифна ставка осн. робітників, грн/год	C _{тар.}	65,1	57,5	65,1	65,1	76,6
Число змін	m	2				2
Оптова ціна верстата, грн	F	1600000	800000	980000	918 300	3480000
Число оснащення, шт.		1				1
Термін обслуговування оснащення, років	n	10	10	10	15	15
Норма аморти. відрахувань, %	H _a	12,2	16,4	16,4	14,9	14,9
Потужність електродвигунів, кВт	N _{ел}	20	5,5	10	1,5	15

k_z – коефіцієнт завантаження обладнання [15, с.10].

Фактичний коефіцієнт завантаження верстата за формулою (6.10):

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P} \quad (6.10)$$

де P – прийнята кількість робочих місць [15, с.10].

Кількість операцій, що виконуються на робочому місці за формулою (6.11):

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}} \quad (6.11)$$

Таблиця 6.2 – Результати розрахунку коефіцієнта закріплення операцій вихідного та магістерського ТП

Вихідний ТП								
№ опер.	Опер.	T _{шт-к} , хв.	C _p	P, чол	η _{зф}	O	K _{30i}	K ₃₀ (доз)і
080	Фрезерна з ЧПК	36,808	0,429	1	0,429	1,86	1,86	
085	Плоскошліфувальна	1,687	0,020	1	0,020	40,00	40,00	
090	Круглошліфувальна	2,956	0,034	1	0,034	23,53	23,53	
095	Віброгалтовка	125	1,456	1	1,456	0,55	0,55	
						Σ =	65,94	
Магістерський ТП								
080	ЕЕО	40,145	0,468	1	0,47	1,7	1,7	12,56

$K_{зо}$ в вихідному ТП $K_{зо}=65,94/4=16,49$. А в магістерському ТП верстат був дозавантажений схожими деталями (дисками, кільцями та ін.) та $K_{зо (доз)i}$ після дозавантаження $K_{зо (доз)i}=12,56$.

Заробітна плата основних виробничих робітників за формулою (6.1).

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника вихідного та магістерського ТП

Вихідний ТП							
№ опер.	Опер.	Т _{шт-к} , хв.	С _{тар} , грн	к _{доп}	к _{соц}	К _б	З _о , грн
080	Фрезерна з ЧПК	36,808	65,1	1,2	1,4	1	67,094
085	Плоскошлі- фувальна	1,687	57,5	1,2	1,4	1	2,716
090	Круглошлі- фувальна	2,956	65,1	1,2	1,4	1	5,388
095	Віброгал-товка	125	65,1	1,2	1,4	1	227,85
							Σ = 303,05
Магістерський ТП							
080	ЕЕО	40,145	76,6	1,2	1,4	0,65	55,97

Основна та додаткова заробітна плата всіх інших робітників за формулою (6.2):

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків за магістерським ТП

№ оп.	Опер.	С _{тар.н} , грн	Ф _р , год	Ч _н	к _{доп}	к _{соц}	З _н , грн
080	ЕЕО	57,7	4015	1	1,2	1,4	1,31

Таблиця 6.7 –Витрати на інструмент магістерського ТП

№ оп.	Опер.	Т _{шт-к} , хв.	Вартість			Стій- кість Т, хв	η _{мі}	S _{ін} , грн
			Тримач*, грн.	Інстру- мент *, грн.	Кількість інст-ту, шт.			
080	ЕЕО	40,145	20000	3300	1	35	0,72	160,357

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом за формулою (6.7):

Таблиця 6.8 –Витрати на налаштування інструментів поза верстатом вихідного та магістерського ТП

№ оп.	Опер.	Т _{шт-к} , хв.	Т _о , хв.	Інструмент	С _{тар.н} , грн	Стійкість Т, хв	К _т	S _н , грн
Вихідний ТП								
080	Фрезерна з ЧПК	36,808	24,37	Фреза кінц	57,7	5	0,66	16,086
Магістерський ТП								
080	ЕЕО	40,145	29,04	Електрод	57,7	35	0,72	2,987

Витрати на технологічну електроенергію за формулою (6.5):

Таблиця 6.9 –Витрати на силову електроенергію вихідного та магістерського ТП

Вихідний ТП											
№ оп.	Опер.	T _{шт} , хв.	Ц _е , грн./ кВт·год	N _е кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _W	η _е	k _в	S _е ,
080	Фрезерна з ЧПК	36,808	3,45	20	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	30,80
085	Плоскошлі- фувальна	1,687	3,45	5,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	0,23
090	Круглошлі- фувальна	2,956	3,45	10	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	0,57
095	Віброгал- товка	125	3,45	1,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	3,59
										Σ = 35,19	
Магістерський ТП											
080	ЕЕО	40,145	3,45	20	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	25,2

Витрати інші загальновиробничі за формулою (6.8):

Таблиця 6.10 – Витрати інші - загальновиробничі вихідного та магістерського ТП

Вихідний ТП				
№ опер.	Опер.	З _о ,грн	k _{заг}	I _н , грн
080	Фрезерна з ЧПК	67,094	0,2	13,419
085	Плоскошліфувальна	2,716	0,2	0,543
090	Круглошліфувальна	5,388	0,2	1,078
095	Віброгалтовка	227,850	0,2	45,570
				Σ = 60,61
Магістерський ТП				
080	ЕЕО	55,967	0,2	11,19

Витрати обслуговування та ремонт оснащення за формулою (6.6):

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування оснащення вихідного та магістерського ТП

Вихідний ТП					
№ опер.	Опер.	Ц _{то} , грн	k _p ,грн	C _p	S _p , грн
080	Фрезерна з ЧПК	832000	0,02	0,429	2,855
085	Плоскошліфувальна	416000	0,02	0,020	0,067
090	Круглошліфувальна	509600	0,02	0,034	0,139
095	Віброгалтовка	477516	0,02	1,456	5,562
					Σ = 8,623
Магістерський ТП					
080	ЕЕО	1809600	0,02	0,468	8,469

Таблиця 6.12 – Параметри технологічної собівартості порівнюваних ТП, грн.

Параметри	Варіанти ТП	
	Вихідний	Магістерський
З _о	303,05	55,97
З _н	78,63	1,31
A _{від}	58,75	62,507
S _p	8,623	8,469
S _{ін}	353,008	160,357
S _н	16,086	2,987
S _e	35,19	25,2
I _н	60,61	11,19
C _т	913,95	342,247

Умовний економічний ефект за формулою (6.12):

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

де $C_{1/2}$ – собівартість деталі вихідного та магістерського ТП, відповідно грн.

$$E_{yp} = (913,95 - 342,247) \cdot 2500 = 1827850 \text{ грн.}$$

Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки електроерозійної операції, яка замінює чотири механічні операції, є ключовим етапом у процесі прийняття рішення щодо впровадження нової технології. Отримана вигода в розмірі 1827850 гривень свідчить про те, що впровадження нової технології є фінансово вигідним рішенням.

Цей результат свідчить про те, що використання електроерозійної операції призводить до ефективного використання ресурсів і зменшення витрат у порівнянні з традиційними методами. Такий висновок підкреслює стратегічне значення впровадження електроерозійних операцій, як інноваційного кроку в розвитку технологічного процесу підприємства.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

ЗАХОДИ З БЕЗПЕКИ ТА ГІГІЄНИ ПРАЦІ

Під час організації будь-якого виробничого процесу основна увага фахівців надається питанню забезпечення безпечних та комфортних умов праці. Основною і обов'язковою умовою, що гарантує безпеку є дотримання вимог нормативних документів, що рекомендовані для застосування в окремій галузі або для зазначеного виробництва. Наприклад, основними документами, що нормують безпечність обробки деталей та випуску продукції в машинобудуванні є НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями», та «Технічний регламент безпеки» [16, 17].

Відповідність обладнання вимогам ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проєктування та будівництва стаціонарних і змінних захисних огорож» та ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з'єднані з огорожами. Принципи проєктування та вибору» обумовлює технічну можливість уникнути травмування працюючих [18, 19]. Враховуючи, що, інколи люди можуть бути недостатньо уважними або відповідальними, схильними до порушень правил виконання своїх обов'язків, то наявність автоматизованих захисних пристосувань є первинним фактором безпеки. Більш проблематичним є забезпечення комфорту для людей, що виконують різноманітні професійні обов'язки, які мають різні звички та особисті ергономічні вади. Однією із умов, що гарантують працюючим безпеку та можливість зберегти здоров'я є наявність в приміщенні природного та штучного освітлення. Як відомо, саме через зір людина отримує основну інформацію про безпеку, навколо неї, про зовнішнє середовище, може ефективно працювати. Нормується освітленість ДБН В.2.5-28-2018 «Природне

і штучне освітлення» в залежності від того, яку роботу планується виконувати в зазначеному приміщенні [20].

Але, також враховується, що в умовах інтенсивної зорової роботи наявність природного освітлення є обов'язковим. Проникає воно через вікна, розмір яких є не завжди нормованим і оптимальним. Тому, розрахуємо та визначимося який розмір вікон та їх кількість є необхідною для приміщення, що має висоту 4,5 м, довжину 10 м, ширину 4 м.

Наявність в робочому приміщенні верхньому і боковому природного освітлення могло б забезпечити найбільш комфортні умови праці, максимальне природне освітлення та можливість зменшувати витрати на електропостачання, особливо в осінньо-зимовий період, але, враховуючи архітектурні особливості, що притаманні більшості промислових забудов, це неможливо.

Крім того, в кліматичній зоні Запоріжжя вважається і більш раціональним застосування саме природного бокового освітлення. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» ефективність природного освітлення рекомендується визначати на відстані 1 м від стіни, яка є, протилежною вікнам. В навчальних приміщеннях та робочих кімнатах вікна, як правило, розміщують вздовж стіни, що має більшу довжину, що зазначено в ДБН В 2.2-3:2018 «Будинки і споруди. Заклади освіти».

Розрахунок природного освітлення базується на врахуванні коефіцієнта природної освітленості (КПО) [21]:

$$e = \frac{E_{\text{вн}}}{E_{\text{зов}}} \cdot 100 \quad (4.1)$$

де e – коефіцієнт природної освітленості;

$E_{\text{вн}}$ – освітлення в зазначеному місці робочого приміщення, яке створюється світлом небосхилу, лк;

$E_{зОВ}$ — освітленість зовнішньої горизонтальної поверхні, яке створюється світлом відкритого небосхилу, лк.

Нормування природної освітленості базується на врахуванні наступних характеристик: найменший розмір об'єкту розпізнавання, розряд зорової роботи, що залежить від необхідного розміру об'єкту та нормованого коефіцієнта природної освітленості.

Визначимо розряд та характеристику зорової роботи; коефіцієнта природної освітленості та розрахуємо e_n [21].

Для збереження здоров'я, швидкого та якісного виконання робіт, що пов'язані із значним напруженням зору, більш доцільно вибрати третій розряд зорової роботи, тобто високої точності, і під розряд а [20]. Для таких характеристик коефіцієнт природної освітленості дорівнює 2%.

Нормовані значення КПО визначається за формулою:

$$e_n = e_n^m \cdot m \cdot c \quad (4.2)$$

де e_n^m - нормоване значення КПО для 3 поясу світлового клімату;

$m=0,89$ - коефіцієнт світлового клімату для України;

$c=0,75$ - коефіцієнт сонячності клімату за [21, с.13, дод. В].

$$e_n = 2 \cdot 0,89 \cdot 0,75 = 1,335 \%$$

Розраховуючи природне освітлення, необхідно знати площу вікон які, можуть забезпечити нормоване значення КПО на робочих місцях в приміщенні.

Як рекомендується методикою розрахунків бокового природного освітлення площу світлових прорізів можна визначити за допомогою формули:

$$S_B = \frac{e_n \cdot K_3 \cdot \eta_B}{100 \cdot \tau_{г1}} \cdot S_{п} \cdot K_{БУД} \quad (4.4)$$

де S_B - площа вікон;

$K_3=1,3 \dots 1,5$ - коефіцієнт запасу;

$\eta_B=10,6$ - світлова характеристика вікон [21, с.14, дод. Д];

S_{Π} - площа підлоги робочого приміщень;

$K_{БУД}=1,4$ -коефіцієнт затінення вікон будівлями, що стоять навпроти;

$r_1=2 \dots 3,3$ - коефіцієнт, що враховує підвищення КПО при боковому освітленні за рахунок світла, відбитого від поверхонь приміщення;

τ - загальний коефіцієнт світлопропускання:

$$\tau = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 \cdot \tau_4 \quad (2.5)$$

де $\tau_1=0,8$ -коефіцієнт світлопропускання скла за [21, с.14, дод. Е];

$\tau_2=0,7$ - коефіцієнт, що враховує втрату світла у віконній рамі за [21, с.14, дод. Е];

τ_3 - коефіцієнт, що враховує втрати світла у несучих конструкціях (при боковому освітленні – 1; при верхньому – 0,8...0,9);

$\tau_4=1$ - коефіцієнт, що враховує втрати світла у сонцезахисних пристроях за [21, с.14, дод. Е].

$$\tau = 0,8 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 = 0,56$$

Рекомендований розмір вікон становить:

$$S_B = \frac{1,335 \cdot 1,4 \cdot 10,6}{100 \cdot 0,56 \cdot 2,5} \cdot 40 \cdot 1,4 = 7,93 \text{ м}^2 \approx 8 \text{ м}^2$$

Приймаємо, що розміри вікон – $1,5 \times 2$ м, тоді розрахункова кількість таких вікон на площу робочого приміщення в 40 м^2 становить 2,6 вікна, тобто нам необхідно передбачити три вікна, саме така кількість дасть можливість створити умови праці, які є і комфортними і безпечними.

ВИСНОВОК

У результаті магістерського проєкту було ретельно спроектовано технологічний процес виробництва деталі "Шайба контровочна", включаючи вибір устаткування та інструментів, прорахунок різальних режимів та визначення норм часу. Проєкт передбачав створення робочих та контрольних пристосувань, а також оптимізацію геометрії деталі для підвищення міцності.

Інноваційним кроком стало запропоноване використання абразивно-струменевої обробки в псевдозрідженому шарі для автоматизації оздоблювальної операції. Додатково було розроблено спецзавдання, спрямоване на отримання складних поверхонь за допомогою електроерозійного методу з використанням не профільного електрода-інструмента.

Оцінка трудомісткості електроерозійної операції та прогнозована економічна ефективність вказують на переваги впровадження цієї технології. Заходи забезпечення безпечної роботи персоналу свідчать про здатність доцільного впровадження інновацій, не лише у виробництві, а й в аспекті охорони праці. Такий комплексний підхід підтверджує не лише технічну доцільність, але й стратегічну вагомість запропонованих рішень у контексті розвитку виробництва деталі "Шайба контровочна".

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування: навчальний посібник для студ. вищ. навч. закладів/ В.О.Богуслаєв, В.І.Ципак, В.К.Яценко.- Запоріжжя:Мотор Січ, 2003.- 336 с.

2. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 6.05050201 – технологія машинобудування всіх форм навчання // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 2-е). Під ред., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 62 с.

3. Довідник технолога-машинобудівника Т1. /Під ред. А.Г.Косилової, Р.К.Мещерякова. – М.: Машинобудування, 1985.- 694 с.

4. Довідник технолога-машинобудівника Т2. /Под ред. А.Г.Косилової, Р.К.Мещерякова. – М.: Машинобудування, 1985.- 652 с.

5. Нормативні таблиці режимів різання на токарні, свердлильні та фрезерні роботи, довідник: Запорожжя; вид-во АТ «Мотор Січ», Т1 – 136с., Т2 – 133с.

6. Стружестрах Є.І. Довідник нормувальника .М.: Машинобудування, 1961.-Т2.-890с.

7. Богуслаєв В. О. Верстатні пристосування/В. О. Богуслаєв, В. А. Леховіцер, А. С. Смірнов. – Запорожжя: ОАТ «Мотор Січ», 2000. – 461 с.

8. Справочник конструктора по расчету и проектированию станочных приспособлений /В.Е. Антонюк, В.А. Королев, С.М. Башеев. - Минск. Беларусь, 1969. - 392 с.

1. M.C. Shaw, Principles of Abrasive Processing, Oxford Series on Advanced Manufacturing, Clarendon Press, Oxford University, 1996.

2. J.R. Birch, T.D. Burleigh, Oxides formed on titanium by polishing, etching, anodizing, or thermal oxidizing, Corrosion 56, 2000, 1233-1241.

3. M. Barletta, S. Guarino, G. Rubino, V. Tagliaferri , Progress in fluidized bed assisted abrasive jet machining (FB-AJM): Internal polishing of aluminium tubes, Materials Science International Journal of Machine Tools & Manufacture 47 (2007) 483–495.

4. Elman C. Jameson, Electrical Discharge Machining, Society of Manufacturing Engineer, Dearborn, MI., с. 332.

5. Fanuc. Wire EDM ROBOCUT. Electrical discharge machining. Wire EDM ROBOCUT Електронний ресурс: <https://www.fanuc.eu/ua/uk/robocut-ib> (дата звернення 02.10.2023).

6. Проєкт технічного переозброєння цеху. Методичні рекомендації до курсового проєкту з дисципліни «Проєктування машинобудівного виробництва»/С.Г. Селіванов - УГАТУ, 2006. - 44с.

15. Методичні рекомендації для дипломного проєктування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спец. 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська – Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 – 43 с.

16. НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966 .

17. Технічний регламент безпеки машин [Електронний ресурс] – Чинний від 2013-08-12. : станом на 11.07.2018 р. – К. : КМ України, 2013. – 76 с. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-п> – (Постанова)

18. ДСТУ EN ISO 14120:2017«Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проєктування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

19. ДСТУ EN ISO 14119:2017 «Безпечність машин. Блокувальні пристрої, з’єднані з огорожами. Принципи проєктування та вибору».

20. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

21. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження природної освітленості виробничих приміщень» з дисципліни «Безпека життєдіяльності фахівця з основами охорони праці» : для студентів усіх спеціальностей та форм навчання. / Укл. : О.В.Коробко, Ю.В.Якімцов, Ю.І.Троян: – Запоріжжя : Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2020. – 16 с.

ДОДАТОК А

Хімічний склад та механічні властивості сталі 30ХГСА

Таблиця А.1 – Хімічний склад в % матеріалу 30ХГСА.

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Cu
0,28 – 0,34	0,9 – 1,2	0,8 – 1,1	До 0,3	до 0,025	до 0,025	0,8 – 1,1	до 0,3

Таблиця А.2 – Механічні властивості сталі 30ХГСА залежно від перерізу

Переріз, мм	Межа плинності умовна $\sigma_{0,2}$ (МПа)	Межа міцності при розтягуванні σ_b (МПа)	Величина видовження δ_5 (%)	Відносне звуження ψ %	Ударна в'язкість КСУ (кДж/м ²)
Закалювання 880 °С, олива. Відпуск 600 °С, вода.					
30	880	1000	12	50	69
50	760	880	12	50	69
80	740	860	14	50	78
120	670	820	14	50	78
160	590	740	14	50	78
200	530	720	14	45	59
240	490	710	14	45	59

[illegible]

Копировал

Формат А4

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

		Формат			Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		Зона	Паз	Лист					
Перв. примен.									
						Документация			
						НУЗП 401381.025 СК	Складальне креслення		
Справ. №									
						Детали			
			1			Втулка	1		
			2			Корпус	1		
			3			Кронштейн	1		
			4			Плита	1		
			5			Проставка	1		
			6			Ролик	2		
			7			Стійка	1		
			8			Тримач	1		
	9			Хомут	1				
Подп. и дата									
Инд. № докл.									
Взам. инд. №									
Подп. и дата									
Инд. № подл.									
Изм. / Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 401381.025	Лит.	Лист	Листов		
Разраб.	Возраганова А.В.			Пристосування для контролю паралельності			1		
Пров.	Канонів В.В.								
Н.контр.	Дядя С.								
Утв.	Дядя С.								
					НУЗП, каф. ТМБ гр. М-122м				
					Формат А4				

Копіював