

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 профільним електродом-інструментом на деталі типу «Гребінка»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-112м

Спеціальності 131 Прикладна механіка
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

ШИШЕНКО А.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник КОНОНОВ В.В.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.
(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

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)

ШИШЕНКО Анна Вікторівна

(ПРИЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) «Отримання складних поверхонь профільним електродом-інструментом на деталі типу «Гребінка»

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 Гребінка; річна програма випуску N=2000 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	23.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація. Високоєфективний електроерозійний верстат з високою точністю та швидкістю різання – ONAAV35	11.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	21.10.2023	
5	Спецзавдання. Отримання складних поверхонь профільним електродом-інструментом електроерозійним методом	02.11.2023	
6	Економічний розрахунок	13.11.2023	
7	Охорона праці	15.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, карт	22.11.2023	
9	Нормоконтроль	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	18.12.2023	

Студент(ка)

(підпис)

Анна ШИШЕНКО

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис)

Віталій КОНОНОВ

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 118 с.; 41 рис.; 27 табл.; 2 дод.; 21 джерело.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ГРЕБІНКА, ЕЛЕКТРОД-ІНСТРУМЕНТ, ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНА ОБРОБКА, МЕМБРАННИЙ ПАТРОН, МІЦНІСТЬ, НАВАНТАЖЕННЯ, ПРИПУСК, ОПТИМІЗАЦІЯ, ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ.

Об'єкт дослідження – гребінка.

Мета магістерського проєкту – розробити технологічний процес з отриманням складних поверхонь профільним електродом-інструментом на деталі «Гребінка».

У рамках магістерського проєкту було ретельно пророблено технологічний процес виготовлення деталі "Гребінка", включаючи відбір необхідного обладнання, інструментів, аналіз режимів різання та норм часу. Проєкт передбачав створення робочого пристосування з мембранним патроном для токарної обробки та контрольного пристосування для вимірювання торцевого биття.

Одним із ключових етапів стало проведення розрахунку міцності деталі "Гребінка. Також висунута пропозиція, щодо оптимізації геометрії деталі для подальшого поліпшення її властивостей.

Для автоматизації електроерозійної операції було запропоновано впровадження високоефективного електроерозійного верстата ONA AV35. Проєкт також передбачав розробку спецзавдання на тему "отримання складних поверхонь профільним електродом-інструментом електроерозійним методом". На основі цього завдання була проведена прогнозована оцінка економічної ефективності від її впровадження.

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	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготівки з економічним обґрунтуванням	12
1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	21
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	24
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	25
1.6 Розрахунок режимів різання	31
1.7 Технічне нормування операцій	43
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	47
1.8.1 Розробка токарної операції 020	48
1.8.2 Розробка свердлильної операції 045	52
1.8.3 Розробка фрезерної операції 050	55
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	58
2.1 Проєктування робочого пристрою	58
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	58
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	60
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	62
2.2 Проєктування контрольного пристосування	65
3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ	67
3.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі	67

3.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції	71
3.3 Оптимізація геометрії деталі.....	72
4 АВТОМАТИЗАЦІЯ	73
5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	79
5.1 Загальні відомості про електроерозійну обробку	79
5.2 Аналіз попередніх наукових досліджень з використанням профільних електрод-інструментів	81
5.3 Приклад застосування профільного електрод-інструмента за допомогою обладнання ONA	88
5.4 Розрахунок трудомісткості електроерозійної операції	91
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	94
7 ОХОРОНА ПРАЦІ	107
ВИСНОВОК.....	112
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ.....	113
ДОДАТОК А. Специфікація робочого пристосування	116
ДОДАТОК Б. Специфікація контрольного пристосування.....	117

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

CAD/CAM	Проектування з використанням комп'ютерної технології
CCD	Центральна композитна конструкція
EDM	Електроерозійна обробка
MRR	Швидкість зняття матеріалу
Ra	Шорсткість поверхні
RSM	Методологія поверхні відгуку
TWR	Швидкість зношування інструменту
EEO	Електроерозійна обробка
KBM	Коефіцієнт використання матеріалу
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
ТО	Термообробка
ТП	Технологічний процес
ЧПК	Числове програмне керування

ВСТУП

Технологія машинобудування є сукупністю методів та прийомів виготовлення машин, які розвивалися протягом тривалого часу та використовуються у певній галузі виробництва.

У рамках цієї галузі були сформовані такі поняття, як технологія лиття, технологія обробки тиском, технологія зварювання, технологія механічної обробки та технологія збирання машин. Всі ці виробничі процеси є складовими технології машинобудування, яка охоплює всі етапи процесу створення машинобудівних виробів.

У межах цієї галузі комплексно вивчаються питання взаємодії верстатів, пристосувань, ріжучого інструменту та оброблюваних деталей. Особлива увага приділяється розробці найбільш раціональних, продуктивних та економічних технологічних процесів обробки деталей машин, включаючи вибір металорізального обладнання та технологічної оснастки. Також розробляються методи для побудови оптимальних технологічних процесів.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Гребінка» (рис. 1.1) слугує для встановлення в неї комплексу лопаток напрямного апарату з 40 штук. Встановлюються вони по колу в 40 отворів у її визначеному положенні. Сама деталь встановлюється в паз суміжної з нею деталі-корпусу та упирається бортиками, таким чином і закріплюючись у робочому вузлі. Вузол встановлюється в турбіну авіаційного двигуна AI-450. Двигун AI-450 працює за допомогою двох обертових частин: газогенератора та вільної турбіни. Вільна турбіна передає свою енергію на передній редуктор двигуна через спеціальний вал, що прокладений всередині вала газогенератора.

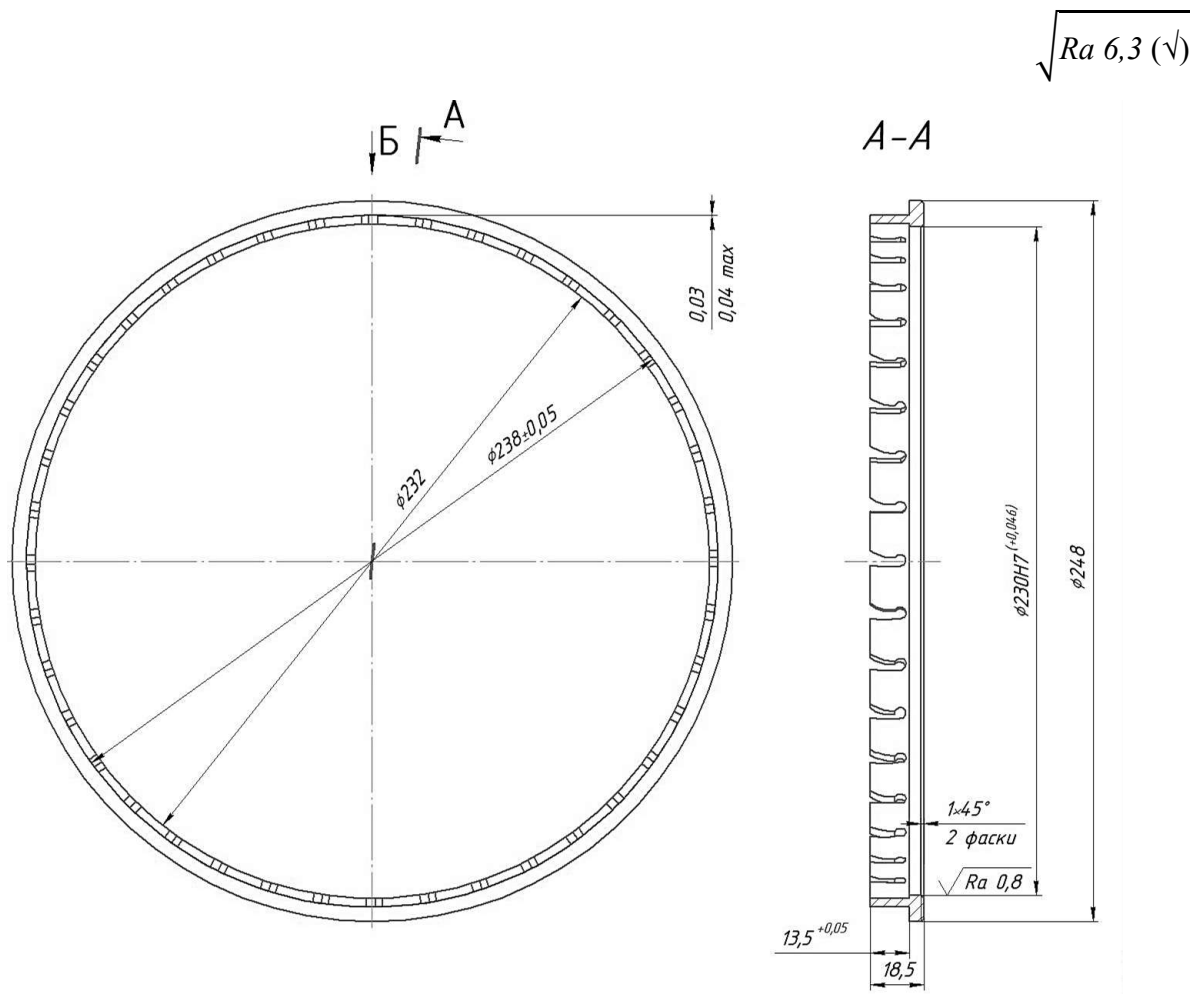


Рисунок 1.1 - Ескіз деталі «Гребінка».

Хімічний склад та механічні властивості сталі 30 ХГСА з якої, виготовлена деталь, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад та механічні властивості сталі 30ХГСА ДСТУ 7806 [1].

Хімічні властивості								
C	Si	Mn	Cr	Ni	S	P	Cu	Fe
0,8-0,34	0,9-1,2	0,8-1,1	0,8-1,1	До 0,3	до 0,25	до 0,055	до 0,3	≈ 96
Механічні властивості								
Термічна обробка			Границя плинності σ_T (Н/мм ²)	Тимчасовий опір σ_B (Н/мм ²)	Відносне видовження δ_5 (%)	Відносне звуження ψ %	Ударна в'язкість КСУ (Дж/см ²)	
Гартування або нормалізування		Відпускання		Не менше ніж				
Темпе- ратура °C	Середо- вище охолод- ження	Темпе- ратура °C	Середо- вище охолод- ження	835	1080	10	45	49
880	Олива	540	Вода чи олива					

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції та умов здійснення виробничого процесу, виробництво умовно поділяється на три основних види: одиничне, серійне і масове. Кожен з цих видів має свої характерні особливості виробничого і технологічного процесів, а також вимагає особливої форми організації роботи.

На даному етапі проєктування важко правильно визначити вид виробництва, тому ми проведемо попереднє визначення типу виробництва за допомогою виробничої програми та маси деталей.

Для визначення типу виробництва враховуються габарити, маса (вага) та обсяг річної програми виробництва виробів. За допомогою усіх цих даних встановлюється тип виробництва [2].

Беручи до уваги, що маса деталі $m = 0,45$ кг та річну програма випуску $N = 2000$ штук, типом виробництва обрано - серійний.

Форми організації технологічних процесів залежать від кількох факторів [2], а саме:

1. Порядок виконання операцій технологічного процесу: Це означає, що послідовність виконання операцій може визначати форму організації технологічного процесу. Наприклад, послідовний чи паралельний характер операцій може впливати на організацію виробництва.

2. Розташування технологічного обладнання: Географічне розташування обладнання і робочих місць може впливати на ефективність технологічного процесу. Наприклад, згуртоване розміщення обладнання може сприяти ефективнішому контролю та координації робіт.

3. Кількість виробів: Обсяг виробництва визначає, чи будуть використовуватись масові, серійні чи одиничні методи виробництва. Наприклад, великі обсяги можуть підтримувати вигідне використання масового виробництва, тоді, як невеликі обсяги можуть вимагати індивідуального підходу, характерного для одиничного виробництва.

Таким чином, враховуються всі ці фактори для визначення оптимальної форми організації технологічних процесів у конкретному виробництві.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

В даному проєкті зіставляються два методи отримання заготовок, а саме кільцевий прокат та прес.

Ескіз заготовки з кільцевого прокату наведений нижче (рис. 1.2).

Невказані радіуси на ескізі не більше 5 мм.

Різностінність не більше 8 мм.

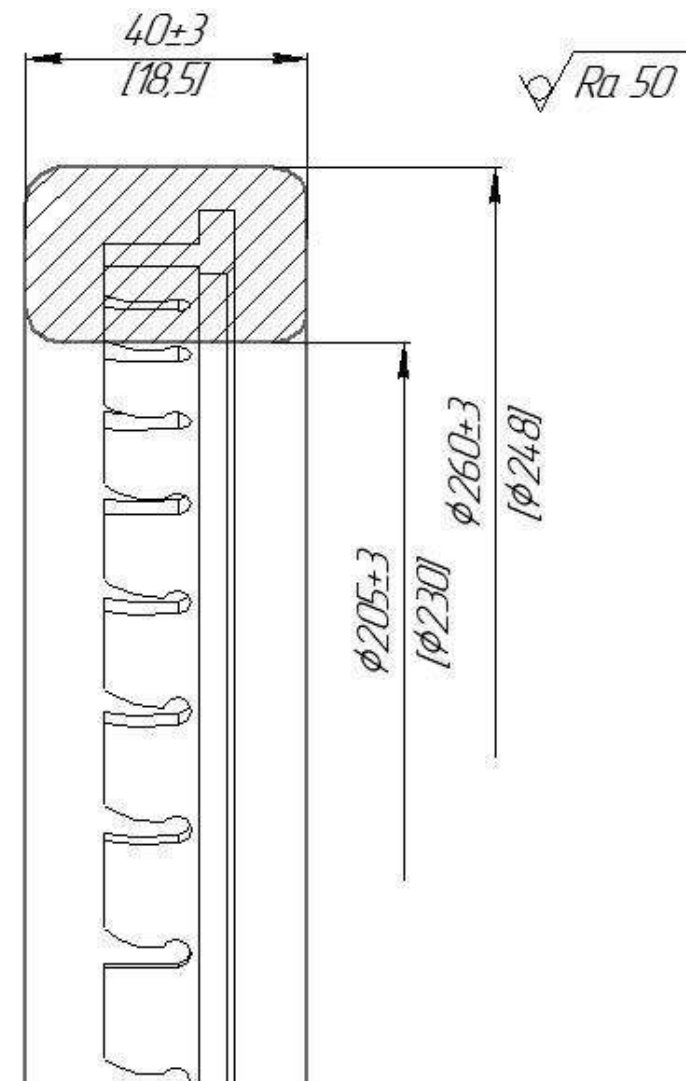


Рисунок 1.2 - Ескіз заготовки з кільцевого прокату.

Для того, щоб дізнатися масу вищенаведеної заготовки (рис. 1.2), було побудовано її 3D-модель, у програмному забезпеченні Siemens NX. Відповідно маса заготовки з кільцевого прокату $m_3=2,99$ кг (рис. 1.3).

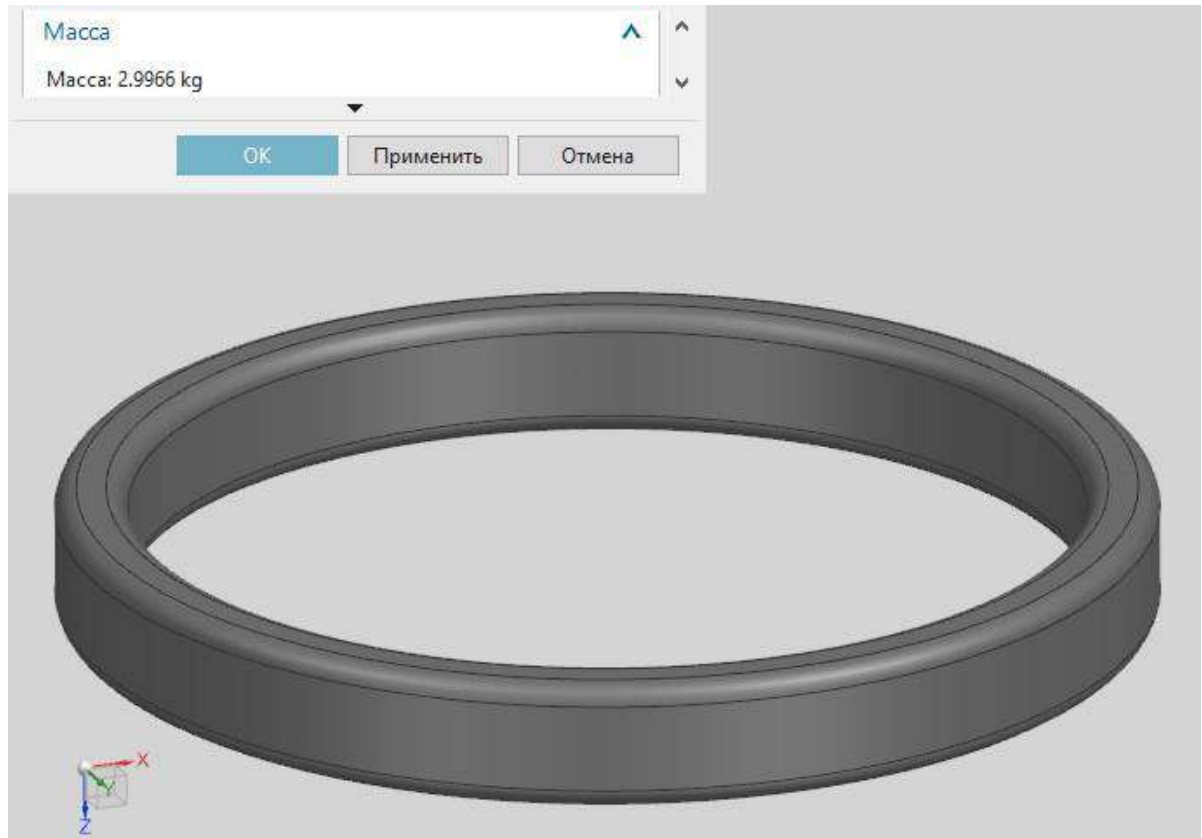


Рисунок 1.3 – 3D-модель заготовки з кільцевого прокату.

Ескіз заготовки, штампованої на пресах (рис. 1.4).

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

Невказані штампувальні ухили 5-7.

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

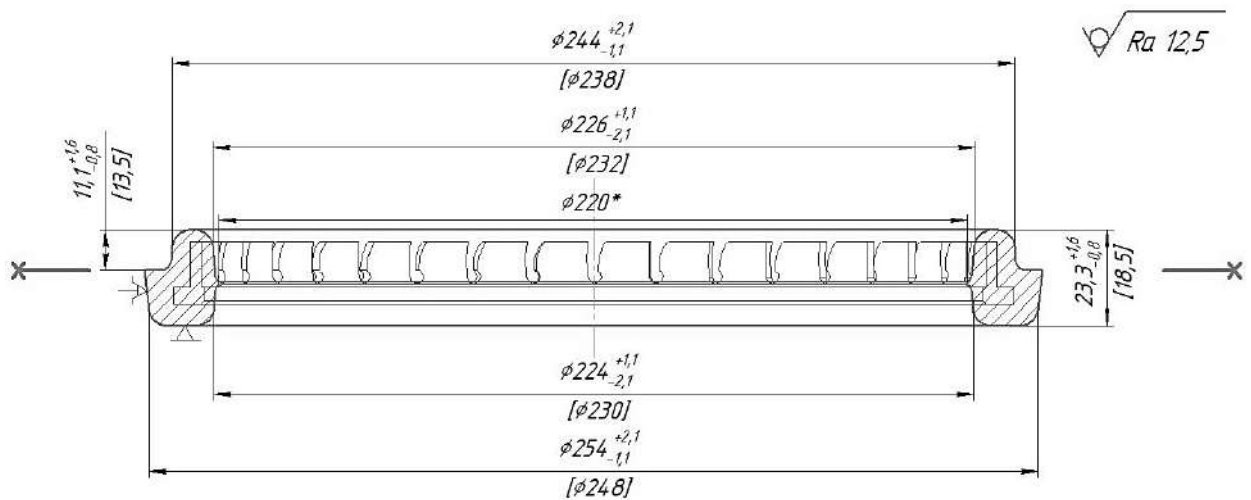


Рисунок 1.4 – Ескіз заготовки виготовленої на пресах.

Для того, щоб дізнатися масу вищенаведеної заготовки (рис. 1.4), було побудовано її 3D-модель, у програмному забезпеченні Siemens NX. Відповідно маса заготовки з кільцевого прокату $m_3=2,14$ кг (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Модель заготовки виготовленої на пресах.

Одержуємо вартість однієї заготівки, виготовленої будь-яким зі способів за формулою (1.1), [с.5, 3]:

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

де Q – маса заготівки, кг;

q – маса деталі, кг;

B_B – 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_P – коефіцієнт врахування програми випуску заготовок.

$$B_{\text{кіл.прокат}} = \frac{2540}{1000} \cdot 1 \cdot 1,22 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1 - (2,99 - 0,45) \cdot \frac{140}{1000} = 7,71 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{преси}} = \frac{3500}{1000} \cdot 0,9 \cdot 1,22 \cdot 0,87 \cdot 1,14 \cdot 1 - (2,14 - 0,45) \cdot \frac{140}{1000} = 7,92 \text{ грн.}$$

Одержуємо коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) за формулою (1.2) [с.6, 3]:

$$\eta = q/Q \quad (1.2)$$

де q – маса деталі, кг;

Q – маса заготівки, кг.

– кільцевий прокат:

$$\eta_{\text{ГКМ}} = \frac{0,45}{2,99} = 0,15$$

– преса:

$$\eta_{\text{Преси}} = \frac{0,82}{2,14} = 0,21$$

Результати розрахунків занесено до таблиці 1.2.

Порівняння двох видів отримання заготовок наочно показало, що заготовка отримана кільцевим прокатом трохи дешевша від заготовки отриманої на пресах. Та в свою чергу заготовка отримана на пресах має вищий КВМ. Тому далі будемо порівнювати додаткові витрати на виготовлення заготовок на пресах з додатковими витратами на матеріал заготовок з кільцевого прокату.

Одержано річне заощадження за вартістю виготовлення заготовок [с.6, 3]:

$$E_B = (B_2 - B_1)П \quad (1.3)$$

де B_1 – вартість однієї тони заготовок з кільцевого прокату, грн.;

B_2 – вартість однієї тони заготовок виготовлених на пресах, грн;

$П$ – річна програма випуску заготовок, шт.

$$E_B = (7,92 - 7,71) \cdot 2000 = 420 \text{ грн.}$$

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники за варіантами

Показник	Познач.	Один. виміру	Варіант	
			Кільц. прокат	Преса
Маса заготовки	Q	кг	2,99	2,14
Базова варт. 1т загот	Сб	грн	2540	3500
Коефіцієнти	K_T	-	1	0,9
	K_M	-	2,4	2,4
	K_B	-	1,22	1,22
	K_{II}	-	0,87	0,87
	K_C	-	1	1,14
Варт. 1т стружки	$S_{отх}$	грн	140	140
Варт. 1шт. загот.	С	грн	7,71	7,92
КВМ	η_1	-	0,15	0,21

Одержано річне заощадження матеріалу [с.6, 3]:

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

$$M = \frac{0,45(0,21 - 0,15)}{0,15 \cdot 0,21} \cdot 2000 = 1700 \text{ кг}$$

Річне заощадження від впровадження заготовки виготовленої на пресах економічно доцільніше за кільцевий прокат, тому для подальших розрахунків обрано саме заготовку виготовлену на пресах.

1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Відпрацювання конструкції на технологічність є комплексом заходів, щодо забезпечення необхідного рівня технологічності конструкції за встановленими показниками, спрямована на підвищення продуктивності праці, зниження витрат і скорочення часу на виготовлення виробу.

КВМ в галузевому машинобудуванні повинен відповідати рівнянню $\eta \geq 0,8$. КВМ деталі «Гребінка» менший, а саме $\eta = 0,27$, тому деталь – одразу можна визнати не технологічною.

Кількісна оцінка одержуємо за наступною 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 одержуємо за наступною формулою:

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

де n_{yn} – кількість уніфікованих деталей;

n_{Σ} – загальна кількість деталей.

Коефіцієнт точності одержуємо за формулою:

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

де A_{cp} – середній квалітет точності одержуємо за наступною формулою:

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

де $n_{1...n}$ – кількість розмірів, що мають відповідний квалітет;

$\sum_n$ – кількість усіх розмірів.

Коефіцієнт шорсткості одержуємо за формулою:

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

де $K_{ш}$ – коефіцієнт шорсткості;

B_{cp} – середній квалітет шорсткості, який одержуємо за формулою:

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

де $K_{4...7}$ – клас шорсткості;

$n_{1...n}$ – кількість розмірів, що мають відповідний клас шорсткості;

$\sum_n$ – кількість усіх розмірів.

До того ж була виконана якісна оцінка технологічності деталі «Гребінка» (рис.1.6):

- деталь тонкостінна;
- деталь не габаритна;
- деталь нормальної точності;
- уніфіковані елементи: фаски, радіуси;
- можливість застосування не типових технологічних процесів;
- можливість обробляти деталь не стандартним інструментом;
- поверхні деталі доступні до обробки.

Далі була проведена кількісна оцінка технологічності деталі «гребінка».

Всі одержані дані занесені до таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Аналіз деталі на технологічність

№розм	Розміри	Квалітет	Шорсткість	Уніфікація
Діаметральні				
1	φ232	H12	6,3/4	–
2	φ238±0,05	h12	6,3/4	+
3	φ230 ^{+0,046}	H7	0,8/7	–
4	φ248	h12	6,3/4	+
5	φ4	H12	6,3/4	+
Лінійні				
7	18,5	h12	6,3/4	–
8	13,5 ^{+0,5}	H12	6,3/4	+
9	10,4±0,05	h12	6,3/4	+
10	8±0,2	H12	6,3/4	+
11	0,03	h12	6,3/4	–

Коефіцієнт уніфікації одержуємо за формулою (1.6):

$$K_{\text{ун}} = \frac{6}{10} = 0,6 \geq 0,6$$

За даним коефіцієнтом деталь являється технологічною.

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

$$A_{\text{ср}} = \frac{12 \cdot 9 + 7 \cdot 1}{10} = 11,5$$

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{11,5} = 0,91 > 0,6$$

За даним коефіцієнтом деталь являється технологічною.

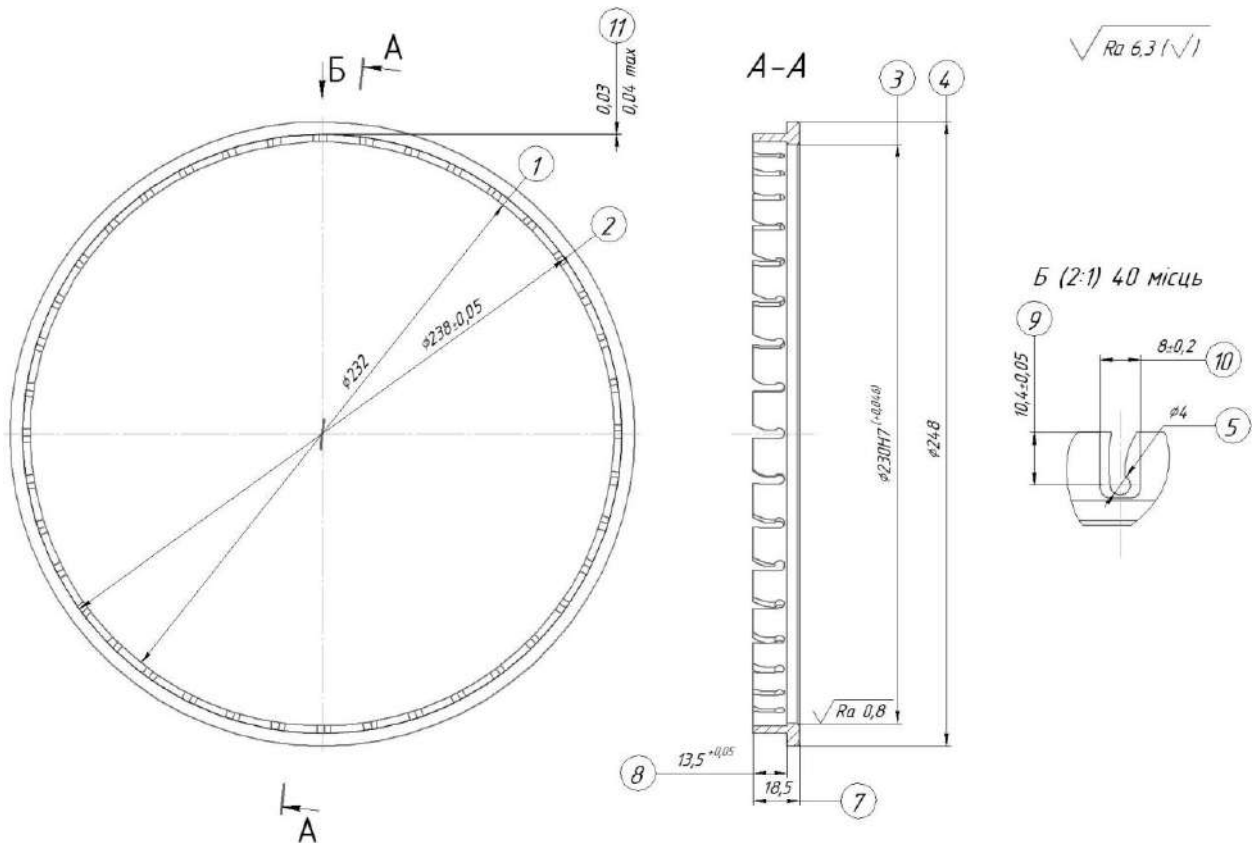


Рисунок 1.6 – Технологічна розмітка поверхонь деталі «гребінка»

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

$$B_{\text{ср}} = \frac{4 \cdot 9 + 7 \cdot 1}{10} = 4,3$$

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{4,3} = 0,76 > 0,6$$

За даним коефіцієнтом деталь являється технологічною.

Загальний рівень технологічності одержуємо за формулою (1.3):

$$K_{\text{тех}} = \frac{0,6+0,91+0,6}{3} = 0,70 > 0,6$$

Після проведених розрахунків можна зробити такий висновок: деталь задовольняє всім коефіцієнтам кількісної оцінки технологічності конструкції, але не відповідає параметрам якісної оцінки. Відтак, можна прийняти рішення, що деталь не відповідає стандартам технологічності.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

МОП (маршрут обробки поверхонь), відіграє важливу роль у досягненні необхідної якості поверхні деталі. Він є основою технологічного процесу механічної обробки, оскільки саме в МОП враховуються фізико-механічні, хіміко-термічні та інші процеси, що впливають на стан поверхні заготовки.

МОП для внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 230H7(^{+0,046})$.

Вихідні дані деталі та заготовки:

Дані заготовки:

$Td_3 = 3200$ мкм;

$Ra_3 = 12,5$ мкм;

Квалітет - IT 16;

Дані деталі:

$Td_d = 0,046$ мм = 46 мкм;

$Ra_d = 0,8$ мкм

Уточнення за квалітетом одержуємо за формулою:

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

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

$Td_{\text{дет}}$ – допуск на деталь в мкм.

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{3200}{46} = 69,57$$

Уточнення за шорсткістю одержуємо за формулою:

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

де $Ra_{\text{заг}}$ – шорсткість на заготовку в мкм;

$Ra_{\text{дет}}$ – шорсткість на деталь в мкм.

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{12,5}{0,8} = 15,63$$

Кількість переходів одержуємо за формулою:

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

$$K_{\text{розр}} = 2 \cdot \lg 69,57 = 3,68$$

Округляємо кількість переходів до 4х. $K=3$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 7 = 9 = 4 + 2 + 2 + 1$$

$$IT16 \rightarrow T/O \rightarrow h12 \rightarrow h10 \rightarrow h8 \rightarrow h7$$

$$Ra\ 12,5 \rightarrow T/O \rightarrow Ra\ 6,3 \rightarrow Ra\ 3,2 \rightarrow Ra\ 1,6 \rightarrow Ra\ 0,8$$

Перевірка:

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

$$69,57 \leq 69,56 \text{ вірно}$$

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

$$15,63 \leq 15,63 \text{ вірно}$$

Розраховані дані занесено до таблиці 1.4. Перевірка наочно показала, що розрахунки виконані вірно. За результатами відповідно виконано вірний маршрут обробки заданої поверхні.

Проектування маршруту обробки зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 248h12_{(-0,46)}$.

Дані про деталь та заготовку:

Заготовка:

$$Td_3 = 3200 \text{ мкм};$$

$$Ra_3 = 12,5 \text{ мкм};$$

Квалітет – IT 17;

Деталь:

$$Td_d = 460 \text{ мкм};$$

$$Ra_d = 6,3 \text{ мкм}$$

Квалітет – $h12_{(-0,46)}$.

Уточнення за квалітетом одержуємо за формулами (1.11), (1.12):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{3200}{460} = 6,95$$

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{12,5}{6,3} = 1,98$$

Кількість переходів одержуємо за формулою (1.13):

$$K_{розр} = 2 \cdot \lg 6,95 = 1,68$$

Після округлення кількість переходів - $K=1$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 16 - 12 = 4$$

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

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

Перевірка:

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

$$6,95 \leq 6,95\text{-вірна}$$

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

$$1,98 \leq 1,98\text{-вірна}$$

Дані, занесені до таблиці 1.4, є результатами проведених розрахунків, які були наведені вище. Після цього, була здійснена перевірка. В результаті був сформований маршрут обробки заданої поверхні.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Під час проєктування технологічного процесу виготовлення деталі вирішуються головні завдання технології: забезпечення необхідної якості, максимальної продуктивності, мінімальної собівартості і мінімізація шкідливих впливів на навколишнє середовище. Для досягнення цих цілей технологічні основи закладаються при призначенні послідовності маршрутів обробки поверхонь (МОП), а організаційні основи формуються при створенні оперативного маршруту виготовлення деталі (МВД).

Для створення маршруту обробки поверхонь необхідно провести характеристику кожної оброблюваної поверхні та порівняти її з відповідною

поверхнею заготовки. Характеристики основних поверхонь деталі «Гребінка» (рис. 1.1) записуються в таблицю 1.4.

Таблиця 1.4 – План обробки поверхонь

	Показ., мкм	Уточн.	Кіл. пер.	Різні.пок. ШТК	i	Метод обр.		Td, мкм	Ra, мкм	ε_{iTd}	ε_{iRa}
Зов.цил.пов. $\varnothing 248h12_{(-0,46)}$.	Td	6,95	1	16-12=4	1	Загот.	IT16	3200	12,5	–	–
					2	T/O	–	–	–	–	–
	Ra	1,98			3	Точін.однокр.	h12	460	6,3	6,95	1,98
					6	Уточнення				6,95	1,98
Внутр. цил.пов. $\varnothing 230H7^{(+0,046)}$			4	16-7=9= =4+2+2+1	1	Загот.	IT16-	3200	12,5	–	–
					2	T/O	–	–	–	–	–
	Td	69,57			3	Розтч. чорн.	H12	460	6,3	6,95	1,98
					4	Розтч. чист.	H10	185	3,2	2,48	1,96
	Ra	15,63			5	Шліф. чорн.	H8	72	1,6	2,57	2
					6	Шліф. чист.	H7	46	0,8	1,56	2
					7	Уточнення				69,57	15,63

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків розрахунково-аналітичним методом на розмір $\varnothing 248h12_{(-0,46)}$.

Зовнішня поверхня $\varnothing 248h12_{(-0,46)}$ Ra=6,3.

МОП:

1. Заготовка IT17 ($T_{D1} = 2900$ мкм);
2. T/O
3. Точіння чорнове h12($T_{D2} = 460$ мкм);

Для заготовки були вибрані нормативні значення висоти нерівностей Rz та висоти дефектного шару h [4, т. 3.7, с.23]. Дані були внесені 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;

Сумарне значення просторових відхилень одержуємо 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 одержуємо за формулою:

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

де $\rho_{к\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні; [4, т. 3.9, с.25];

l – довжина даної поверхні.

$$\rho_{зм} = 1 \cdot 5 = 5 \text{ мкм}$$

Допустиме значення короблення поверхні одержуємо за формулою:

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

де $\rho_{к\ таб}$ – табличне значення короблення поверхні; [4, т. 3,9, с.25];

l – довжина даної поверхні.

$$\rho_{кор} = 2,4 \cdot 5 = 12 \text{ мкм}$$

Сумарне значення просторових відхилень одержуємо за формулою (1.14):

$$\rho_1 = \sqrt{5^2 + 12^2} = 13 \text{ мкм}$$

Приймаємо коефіцієнти уточнення k_i за [5, т.13, с.42];

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot k_2 = 13 \cdot 0,06 = 0,78 \text{ мкм};$$

Визначення мінімальних припусків одержуємо 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, [5, т. 13, с.42].

$$2z_2^{\min} = 2(160 + 200 + \sqrt{13^2 + 120^2}) = 0,961 \text{ мм};$$

Одержуємо номінальні припуски:

$$2z_2^H = 2z_2^{\min} + e_{i \text{ заг}} = 0,961 + 1 = 2,061 \text{ мм}.$$

Одержуємо номінальні діаметри:

$$d_2^H = d_{\text{дет}}^H = 248 \text{ мм};$$

$$d_1^H = d_2^H + 2z_2^H = 248 + 2,061 = 250,061 \text{ мм}.$$

Одержуємо максимальні припуски:

$$2z_2^{\max} = 2z_2^{\min} + Td_1 + Td_2 = 0,961 + 3,2 + 0,46 = 4,621 \text{ мм};$$

Одержуємо загальний номінальний припуск:

$$2z_0^H = \sum 2z_i^H = 2,061 \text{ мм}.$$

Перевірка:

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

$$250,061 - 248 = 2,061$$

$$2,061 = 2,061$$

Висновок із результатів перевірки свідчить про те, що схема припусків була прорахована вірно.

Таблиця 1.5 – Результати розрахунків припусків на обробку циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 248h12_{(-0,46)}$.

	Найм.операції	R_z , мкм	h , мкм	ρ ,	ε_i	Td , мм	$2z_i^H$, мм	d_i^H , мм	Вик. р-р d , мм	$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівельна	160	200	13	—	3,2	—	250,061	$250_{-1,1}^{+2,1}$	—	—
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Точ. чорнове	80	50	1	120	0,46	2,061	248	$248_{-0,46}$	4,621	0,961

Було проведено розрахунки припусків, використовуючи табличний спосіб.

Циліндрична внутрішня поверхня $\varnothing 230H7^{(+0,046)}$.

Вдалося підібрати мінімальні припуски, використовуючи табличний спосіб [4, т. 4.3, с.42].

1. Заготовка;
2. Т/О
3. Розточування чорнове $2z_3^{\min} = 2 \cdot 3,5 = 7$ мм;
4. Розточування чистове $2z_4^{\min} = 2 \cdot 2,6 = 5,2$ мм;
5. Шліфування чорнове $2z_5^{\min} = 2 \cdot 0,3 = 0,6$ мм;
6. Шліфування чистове $2z_6^{\min} = 2 \cdot 0,2 = 0,4$ мм.

Було одержано розрахункові номінальні припуски:

$$2z_3^H = 2z_3^{\min} + e_{\text{изар}} = 7 + 2,1 = 9,1 \text{ мм};$$

$$2z_4^H = 2z_4^{\min} + Td_3 = 5,2 + 0,46 = 5,66 \text{ мм};$$

$$2z_5^H = 2z_5^{\min} + Td_4 = 0,6 + 0,185 = 0,785 \text{ мм};$$

$$2z_6^H = 2z_6^{\min} + Td_5 + es_{\text{дет}} = 0,4 + 0,072 + 0,046 = 0,518 \text{ мм};$$

Було одержано номінальні розміри:

$$d_6^H = 230 \text{ мм};$$

$$d_5^H = d_6^H - 2z_6^H = 230 - 0,518 = 229,482 \text{ мм};$$

$$d_4^H = d_5^H - 2z_5^H = 229,482 - 0,785 = 228,697 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_4^H - 2z_4^H = 228,697 - 5,66 = 223,037 \text{ мм}.$$

$$d_{1\text{зар}}^H = d_3^H - 2z_3^H = 223,037 - 9,1 = 213,937 \text{ мм}.$$

Було одержано максимальні припуски:

$$2z_3^{\max} = 2z_3^{\min} + Td_3 + Td_1 = 7 + 0,46 + 3,2 = 10,66 \text{ мм};$$

$$2z_4^{\max} = 2z_4^{\min} + Td_4 + Td_3 = 5,2 + 0,185 + 0,46 = 5,845 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 2z_5^{\min} + Td_5 + Td_4 = 0,6 + 0,072 + 0,185 = 0,857 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 2z_6^{\min} + Td_6 + Td_5 = 0,4 + 0,046 + 0,072 = 0,518 \text{ мм}.$$

Було одержано загальний номінальний припуск:

$$2z_O^H = 2z_3^H + 2z_4^H + 2z_5^H + 2z_6^H = 9,1 + 5,66 + 0,785 + 0,518 = 16,063 \text{ мм}.$$

Була виконана перевірка одержаних розрахунків для підтвердження їх правильності:

$$1) 2z_O^H = d_6^H - d_{1\text{зар}}^H$$

$$16,063 = 230 - 213,937$$

$$16,063 = 16,063$$

$$2) 2z_n^{\max} - 2z_n^{\min} = Td_n + Td_{n+1}$$

$$3,66 = 3,66$$

$$3) 0,645 = 0,645$$

$$4) 0,257 = 0,257$$

$$6) 0,118 = 0,118$$

Таблиця 1.6 містить правильні та коректно до неї внесені результати перевірки схеми припусків.

Таблиця 1.6 - Розрахунок припусків на обробку циліндричної внутрішньої поверхні $\varnothing 230H7^{(+0,046)}$.

	Операції	Відхилення		Допуск	Ном прип. $2z_i^H$, мм	Номін. р-р, d_i^H , мм	Викон. р-р d , мм	Припуски	
		es, мм	ei, мм					$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівка	1,1	-2,1	3,2	—	213,937	$\varnothing 214_{-2,1}^{+1,1}$	-	-
2	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—
3	Розт. чорн.	0,46	0	0,46	9,1	223,037	$\varnothing 223^{+0,46}$	10,66	7
4	Розт. чист.	0,185	0	0,185	5,66	228,697	$\varnothing 228,7^{+0,185}$	5,845	5,2
5	Шліф. чор.	0,072	0	0,072	0,785	229,482	$\varnothing 229,48^{+0,072}$	0,857	0,6
6	Шліф. чис.	0,046	0	0,046	0,518	230	$\varnothing 230^{+0,046}$	0,518	0,4

1.6 Розрахунок режимів різання

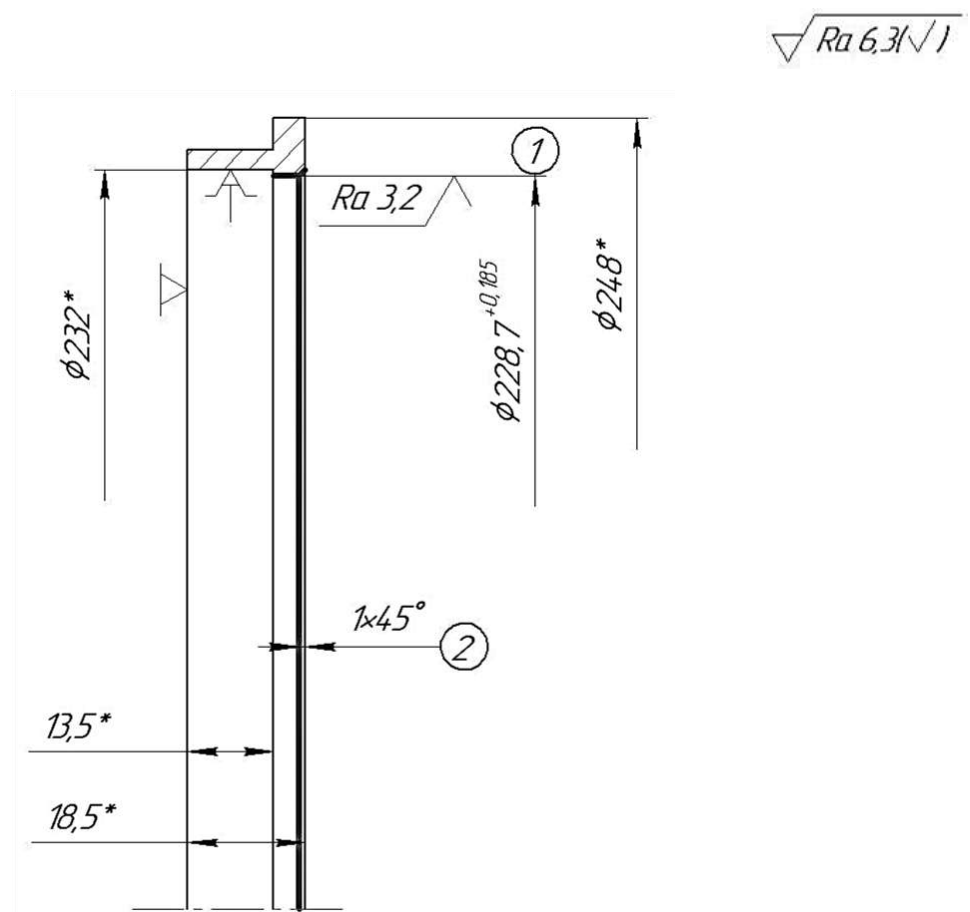
Розрахунок режимів різання на токарну операцію 030 (рис. 1.7).

Для операції було вибрано різець токарний розточувальний – з пластинами із твердого сплаву T15K6, ГОСТ 18882–73 [6, т.13, с.123].

Одержуємо глибину різання за формулою (1.18):

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

де $D_{\max/\min}$ – діаметр поверхні деталі на попередній операції та на даній операції, відповідно.



* – розміри для довідок.

Рисунок 1.7 – Ескіз обробки деталі “гребінка” на операцію 030 токарну з ЧПК. Верстат, на якому, виконується операція - 16K20Ф3.

Одержуємо глибину різання за формулою (1.18) для двох переходів внутрішньої обробки (1^й розточування $\varnothing 228^{+0,185}$, 2^й точіння фаски $1 \times 45^\circ$):

$$t_1 = \frac{228,7 - 223}{2} = 2,85 \text{ мм}$$

$$t_2 = 1 \text{ мм}$$

Одержуємо подачу різання за формулою (1.19)

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

де S_T – рекомендована таблична подача, [7, с.14];

K_1 – коефіцієнт, що залежить від твердості оброблюваного матеріалу, [7, с.14];

K_2 – коефіцієнт, що залежить від виду обробки, [7, с.14].

$$S_{o1} = 0,35 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,49 \text{ мм/об}$$

$$S_{o1} = 0,35 \cdot 1,4 \cdot 1 = 0,49 \text{ мм/об}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, для обох переходів $S_o = 0,5 \text{ мм/об}$.

Одержуємо 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 [7, с.14];

V_1 – коефіцієнт, що залежить від діаметру оброблюваної поверхні, [7, с.14];

V_2 – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, [6, с.14];

V_3 – коефіцієнт, що залежить від виду оброблюваної поверхні, [6, с.14];

V_4 – коефіцієнт, що залежить від наявності охолодження, [7, с.14];

V_5 – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні [7, с.14];

V_6 – коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту, [7, с.14];

V_7 – коефіцієнт, що залежить від значення подачі, [7, с.14];

V_8 – коефіцієнт, що залежить від стійкості ріжучої частини інструменту, [7, с.14].

$$V_{\text{розр1}} = 150,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,35 \cdot 1,1 \cdot 0,61 \cdot 0,93 \cdot 0,8 \cdot 0,91 = 23,85 \text{ м/хв}$$

$$V_{\text{розр2}} = 150,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,35 \cdot 1,1 \cdot 0,61 \cdot 1,14 \cdot 0,91 \cdot 0,8 = 29,27 \text{ м/хв}$$

Одержуємо швидкість обертів за формулою (1.21):

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

$$n_{\text{розр1}} = \frac{1000 \cdot 23,88}{3,14 \cdot 228,7} = 33,25 \text{ хв}^{-1}$$

$$n_{\text{розр2}} = \frac{1000 \cdot 29,27}{3,14 \cdot 228,7} = 40,76 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, для обох переходів $n_{\text{пр}} = 50 \text{ хв}^{-1}$.

Фактичну швидкість різання одержуємо за формулою (1.22):

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

$$V_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 228,7 \cdot 50}{1000} = 35,91 \text{ м/хв}$$

Машинний час одержуємо за формулою (1.23):

$$t_0 = \frac{L_{\text{р.х.}}}{n \cdot S_o} \cdot i \quad (1.23)$$

де $L_{\text{р.х.}}$ – довжина робочого ходу інструменту, мм;

i – кількість прорізів, яку робить інструмент.

Довжину робочого ходу інструменту одержуємо за формулою (1.24):

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

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

$l_{вр}$ – довжина врізання, мм;

$l_{пер}$ – довжина перебігу, мм.

$$L_{p.x1} = 2 + 4 + 0 = 6 \text{ мм}$$

$$L_{p.x2} = 0 + 1 + 2 = 3 \text{ мм}$$

Одержуємо машинний час за формулою (1.23):

$$t_{o1} = \frac{6}{50 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,24 \text{ хв}$$

$$t_{o2} = \frac{3}{50 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,12 \text{ хв}$$

$$t_{o \text{ заг}} = 0,24 + 0,12 = 0,36 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на шліфувальну операцію 040 (рис. 1.8).

Для операції було вибрано шліфувальний круг $d_{кр}=100$ мм, $B = 25$ мм, СМ2 – С2, ГОСТ 2424–83 [6, т.170 с.253].

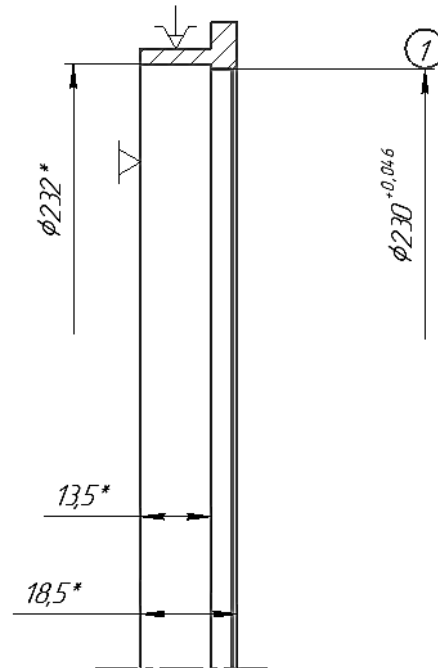
Одержуємо глибину різання за формулою (1.18) для внутрішньої обробки (шліфування $\varnothing 230^{+0,046}$):

$$t_1 = \frac{230 - 229,48}{2} = 0,26 \text{ мм}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, подача $S_o = 0,4$ мм/об [6, т. 55 с.301].

Для операції було вибрано значення швидкостей обертання шліфувального круга та деталі: $V_{кр} = 30$ м/с, $V_{дет} = 25$ м/хв [6, т. 55 с.301].

$\sqrt{Ra\ 0,8}$



* – розміри для довідок.

Рисунок 1.8 – Ескіз обробки деталі “Гребінка” на операцію 040 шліфувальну. Верстат, на якому, виконується операція - внутрішньо-шліфувальний 3К228.

Одержуємо швидкість обертів деталі за формулою (1.25):

$$n_{дет} = \frac{1000 \cdot V_{дет}}{\pi \cdot D} \quad (1.25)$$

$$n_{дет} = \frac{1000 \cdot 25}{3,14 \cdot 230} = 34,62 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата: $n_{дет} = 50 \text{ хв}^{-1}$.

Одержуємо швидкість обертів шліфувального круга за формулою (1.26):

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot V_{кр} \cdot 60}{\pi \cdot D_{кр}} \quad (1.26)$$

$$n_{кр} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 60}{3,14 \cdot 100} = 5732,48 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата: $n_{кр} = 4000 \text{ хв}^{-1}$.

Фактичну швидкість різання одержуємо за формулою (1.22):

$$V_{ф_{дет}} = \frac{3,14 \cdot 230 \cdot 60}{1000} = 36,11 \text{ м/хв}$$

$$V_{ф_{кр}} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 4000}{1000 \cdot 60} = 20,93 \text{ м/с}$$

Довжину робочого ходу інструменту одержуємо за формулою (1.24):

$$L_{р.х} = 0,1 + 4 + 1 = 5,1 \text{ мм}$$

Одержуємо машинний час за формулою (1.23):

$$t_0 = \frac{5,1}{0,4 \cdot 60} = 0,26 \text{ хв.}$$

Розрахунок режимів різання на свердлильну операцію 045 (рис. 1.9).

Свердління 40х отворів $\varnothing 4$.

Для операції було вибрано свердло спіральне – з швидкорізальної сталі Р6М5, з циліндричним хвостовиком $\varnothing 4$ мм, ГОСТ 4010–77 [6, т. 40, с.137].

Одержуємо глибину різання за формулою (1.27):

$$t = \frac{d_{св}}{2} \quad (1.27)$$

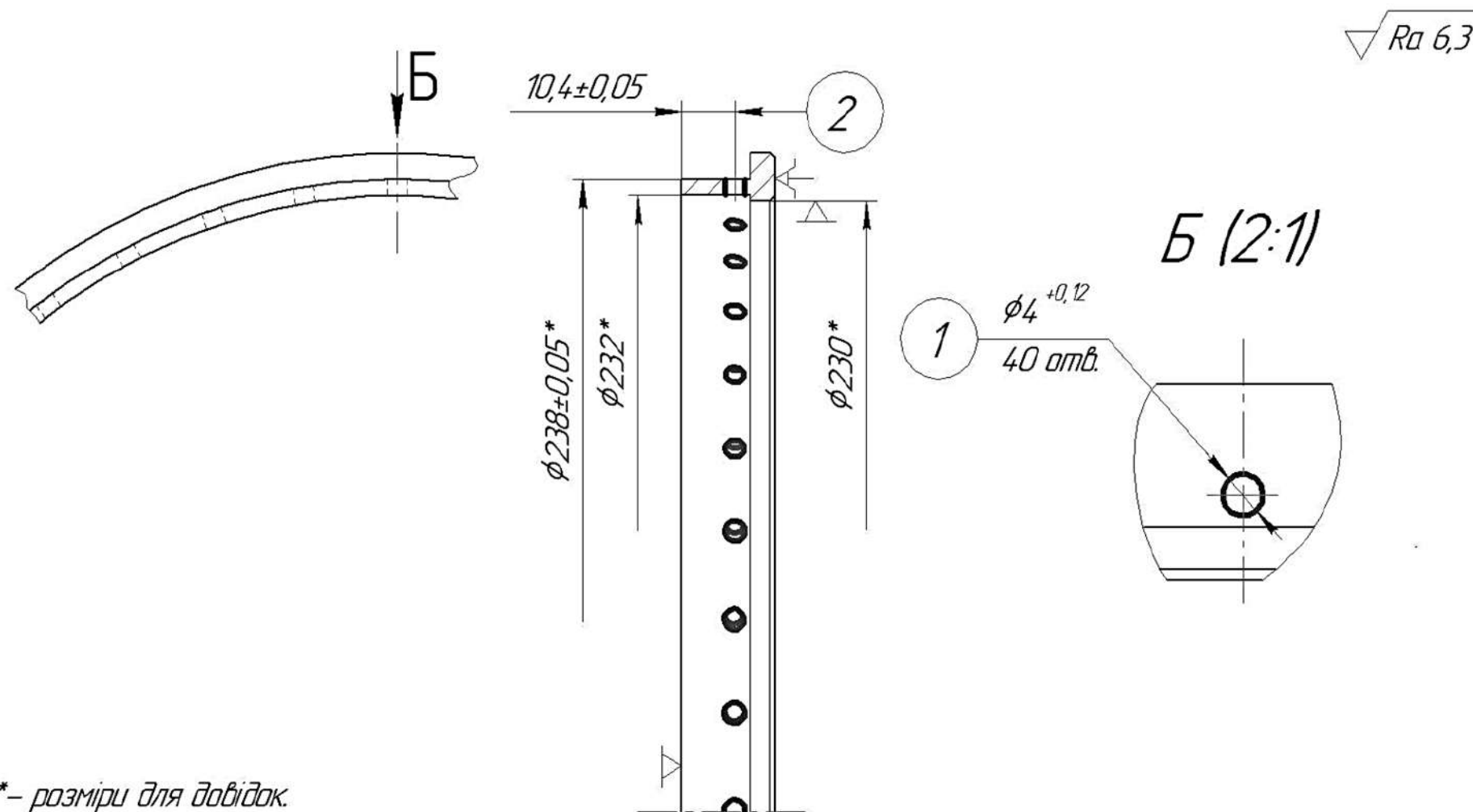


Рисунок 1.9 – Ескіз обробки деталі “гребінка” на операцію 045 свердлильну з ЧПК. Верстат, на якому, виконується операція – вертикально-свердлильний JET JDP-10L-M.

$$t = \frac{4}{2} = 2 \text{ мм}$$

Стійкість інструменту вибрано, $T=6$ хв [7, т. 30, с.279];

Одержуємо подачу різання за формулою (1.19)

$$S_o = 0,05 \cdot 1 \cdot 1 = 0,05 \text{ мм/об}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, $S_o = 0,5$ мм/об.

Одержуємо швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 40,2 \cdot 0,48 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,85 \cdot 0,62 \cdot 1 \cdot 1 = 27,67 \text{ м/хв}$$

Одержуємо швидкість обертів за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 27,67}{3,14 \cdot 4} = 2203,03 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, для обох переходів $n_{\text{пр}} = 2000 \text{ хв}^{-1}$.

Фактичну швидкість різання одержуємо за формулою (1.22):

$$V_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 2000}{1000} = 25,12 \text{ м/хв}$$

Довжину робочого ходу інструменту одержуємо за формулою (1.24):

$$L_{\text{р.х.}} = 2 + 3 + 2 = 7 \text{ мм}$$

Одержуємо машинний час за формулою (1.23):

$$t_0 = \frac{7}{0,05 \cdot 2000} \cdot 40 = 2,8 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на фрезерну операцію 050 (рис. 1.10).

Для операції було вибрано кінцеву фрезу - з кріпленням пластин з швидкорізальної сталі Р6М5 D=4 мм; z= 3, ГОСТ 17025-71 [7, т. 65, с.174].

Одержуємо глибину різання, а саме глибина дорівнює глибині пазу t=0,03 мм.

Одержуємо подачу в мм на один зуб за формулою (1.28)

$$S_z = S_T \cdot K_{S_z D} \cdot K_{S_z t} \cdot K_{S_z II} \cdot K_{S_z o} \cdot K_{S_z III} \cdot K_{S_z i} \quad (1.28)$$

де S_{zT} – табличне значення подачі, мм/зуб, [7, с.14];

$K_{S_z D}$ – коефіцієнт, що залежить від діаметру фрези, [7, с.14];

$K_{S_z t}$ – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, [7, с.14];

$K_{S_z II}$ – коефіцієнт, що залежить від виду оброблюваної поверхні, [7,с.14];

$K_{S_z o}$ – коефіцієнт, що залежить від наявності охолодження, [7, с.14];

$K_{S_z III}$ – коефіцієнт, що залежить від шорсткості поверхні, [7, с.14];

$K_{S_z i}$ – коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту, [7, с.14].

$$S_z = 0,094 \cdot 1,16 \cdot 0,44 \cdot 1,15 \cdot 0,31 \cdot 1,4 \cdot 0,57 = 0,045 \text{ мм/зуб}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, для обох переходів $S_z = 0,015 \text{ мм/зуб}$.

Одержуємо швидкість різання одержуємо за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 34,9 \cdot 0,68 \cdot 1,22 \cdot 1,18 \cdot 0,49 \cdot 1,15 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 19,25 \text{ м/хв}$$

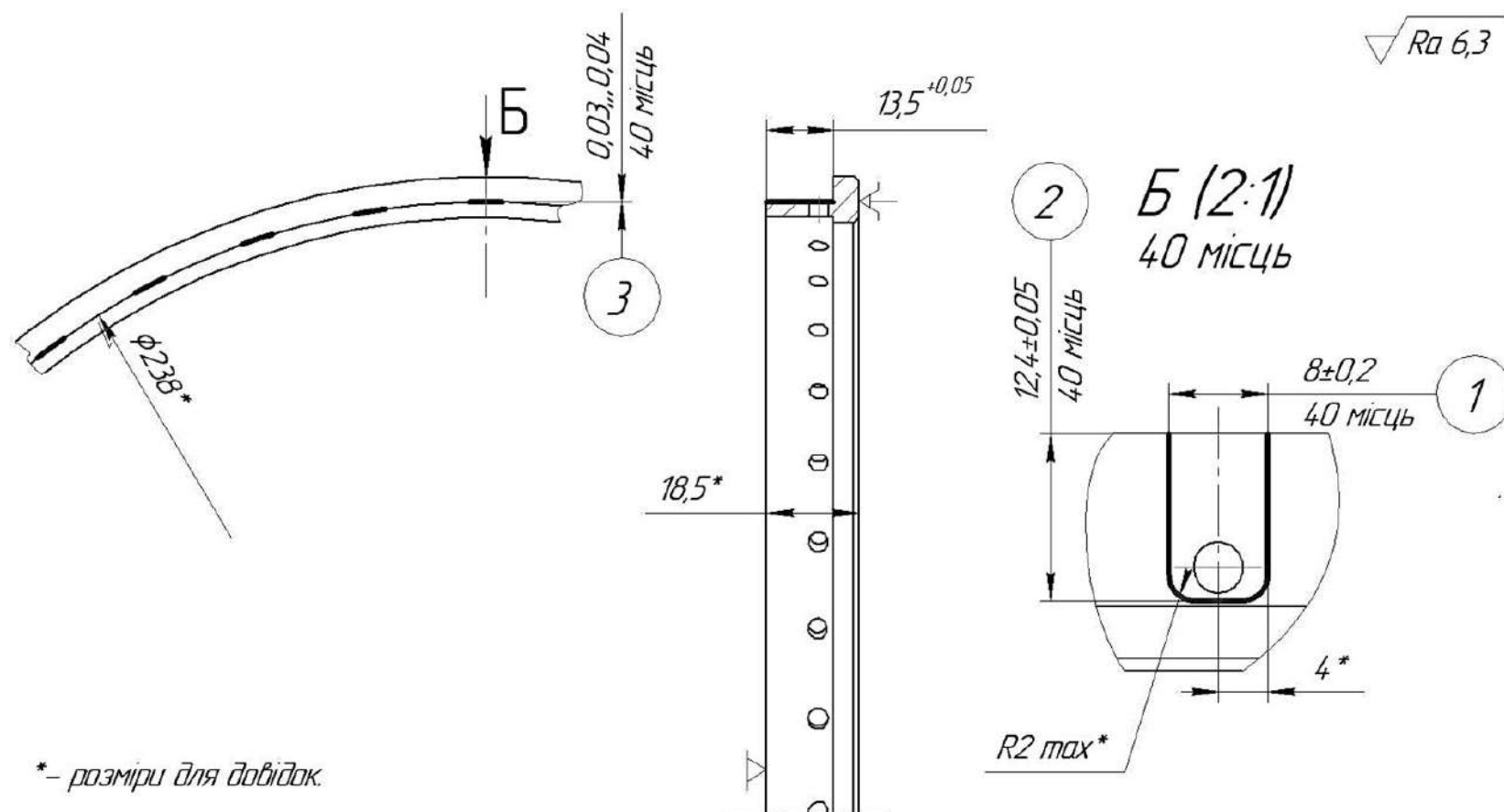


Рисунок 1.10 – Ескіз обробки деталі “гребінка” на операцію 050 фрезерний з ЧПК. Верстат, на якому, виконується операція – вертикально-фрезерний ГФ2171Ф3 з ЧПК WL4M.

Одержуємо швидкість обертів за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 19,25}{3,14 \cdot 4} = 1532,78 \text{ хв}^{-1}$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата $n_{\text{пр}} = 1500 \text{ хв}^{-1}$.

Фактичну швидкість різання одержуємо за формулою (1.22):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 1500}{1000} = 18,84 \text{ м/хв}$$

Одержуємо хвилинну подачу за формулою (1.29):

$$\begin{aligned} S_{\text{хв}} &= S_z \cdot z \cdot n_{\text{пр}} \\ S_{\text{хв}} &= 0,015 \cdot 3 \cdot 1500 = 67,5 \text{ мм/хв} \end{aligned} \quad (1.29)$$

За технічними характеристиками з паспорту верстата, $S_{\text{хв.пр}} = 75 \text{ мм/хв}$.

Довжину робочого ходу інструменту одержуємо за формулою (1.24):

$$L_{\text{р.х}} = 2 + 28,8 + 2 = 32,8 \text{ мм}$$

Машинний час одержуємо за формулою (1.23):

$$t_0 = \frac{32,8}{75} \cdot 40 = 17,49 \text{ хв}$$

Таблиця 1.7 – Зведений результат розрахунку режимів різання за операціями.

№ оп	Найменування переходу	Зміст переходів	Обладнання	t, мм	Режими різання			t _{о/оа} , хв
					n, кр/дет хв ⁻¹	S, мм/об S _{хв} , мм/хв	V, кр/дет м/хв	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
015	Токарна	Підрізати торець	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	3,3	95	0,08	66,85	0,45
		Розточити отвір		3	100	1,1	70,33	0,33
t _о								0,78
020	Токарна	Підрізати торець	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	1	75	0,08	52,75	0,52
		Точити поверхню		3	150	0,12	105,5	0,28
t _о								0,8
025	Токарна	Підрізати торець 1	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	1	150	0,08	112,09	0,52
		Точити поверхню		3	170	0,12	127,0	0,28
		Підрізати торець 2		1,1	200	0,08	155,75	0,13
		Розточити отвори		1,75	150	0,08	105,03	0,26
t _о								1,19
030	Токарна	Розточити отвір	Токарний з ЧПК 16K20Ф3	2,85	50	0,5	35,91	0,24
		Точити фаску		1				0,12
t _о								0,36
035	Шліфувальна	Шліфувати отвір	Внутрішньо-шліфувальний 3K228	0,39	4000/50	0,5	36,02/20,98	0,33
t _о								0,33
040	Шліфувальна	Шліфувати отвір	Внутрішньо-шліфувальний 3K228	0,26	4000/50	0,4	36,11/20,93	0,26
t _о								0,26
045	Свердлильна	Свердлити 40 отв.Ø4	Вертикально-свердлильний JET JDP-10L-M	2	2000	0,5	25,12	2,8
t _о								2,8
050	Фрезерна	Фрезерувати 40 пазів	Вертикально-фрезерний ГФ2171Ф3 з ЧПК WL4M	0,03	50	75	1500	18,84
t _о								17,49

1.7 Технічне нормування операцій

Розрахунок допоміжного часу при нормуванні токарної операції 030 (1.30):

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{уст/зн}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{б.п./в}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{щ}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{контр}} \quad (1.30)$$

де $t_{\text{уст/зн}}^{\text{уст}}$ – час необхідний для виконання робіт, що включають зняття, вивірку, закріплення, розкріплення та зняття деталі, хв [8, с.139];

$t_{\text{упр}}$ – час необхідний для виконання керування верстатом, хв [8, с.138];

$t_{\text{б.п./в}}$ – час необхідний для виконання швидкого підводу та відводу інструменту, хв [8, с.150];

$t_{\text{зм}}$ – час необхідний для виконання зміни інструменту, повороту револьверної голівки та ін., хв [8, с.156];

$t_{\text{щ}}$ – час необхідний для виконання відкриття та закриття щитка безпеки, хв [8, с.161];

$t_{\text{кор}}$ – час необхідний для виконання розрахунку корекції верстатів з ЧПК, хв [8, с.162];

$t_{\text{контр}}$ – час необхідний для виконання вимірювань та контролю основних показників деталі, хв [8, с.163].

$$t_{\text{доп}} = 0,48 + 1,14 + 0,01 + 0,06 + 0,11 + 0,41 + 0,6 = 2,9 \text{ хв}$$

Одержуємо оперативний час за формулою (1. 31):

$$t_{\text{оп}} = t_{\text{o}} + t_{\text{доп}} \quad (1.31)$$

$$t_{\text{оп}} = 0,36 + 2,9 = 3,26 \text{ хв}$$

Одержуємо прибавочний час за формулою (1. 32):

$$t_{\text{ПР}} = \alpha_{\Sigma} \cdot t_{\text{ОП}} \quad (1.32)$$

де α_{Σ} – стандарти часу, що до обслуговування робочого місця робітника, відпочинок та фізіологічні потреби, хв [8, т. 6.1 с.137].

$$t_{\text{ПР}} = 6,5\% \cdot 3,26 = 0,212 \text{ хв}$$

Одержуємо штучний час за формулою (1. 33):

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{ОП}} + t_{\text{ПР}} \quad (1.33)$$

$$t_{\text{шт}} = 3,26 + 0,212 = 3,472 \text{ хв}$$

Одержуємо підготовчо-заключний час за формулою (1. 34):

$$t_{\text{ПЗ}} = t_{\text{ПЗ1}} + t_{\text{ПЗ2}} + t_{\text{ПЗ3}} \quad (1.34)$$

де $t_{\text{ПЗ1}}, t_{\text{ПЗ2}}, t_{\text{ПЗ3}}$, хв [8, т. 6.4, с.216];

$$t_{\text{ПЗ}} = 11 + 2 + 10 = 23 \text{ хв}$$

Одержуємо штучно-калькуляційний час за формулою (1. 35):

$$t_{\text{шт-к}} = t_{\text{шт}} + t_{\text{ПЗ}} / n \quad (1.35)$$

$$n = (2000 \cdot 5) / 253 = 39,52 \approx 40 \text{ шт.}$$

$$t_{\text{шт-к}} = 3,472 + 23 / 40 = 4,047 \text{ хв}$$

Розрахунок допоміжного часу при нормуванні шліфувальної операції 040 (1.30):

$$t_{\text{доп}} = 0,06 + 0,18 + 0,95 + 0,05 + 0,03 + 0,015 + 0,45 = 1,735 \text{ хв}$$

Одержуємо оперативний час за формулою (1. 31):

$$t_{\text{оп}} = 0,26 + 1,735 = 1,995 \text{ хв}$$

Одержуємо прибавочний час за формулою (1. 32):

$$t_{\text{пр}} = 6\% \cdot 1,995 = 0,12 \text{ хв}$$

Одержуємо штучний час за формулою (1. 33):

$$t_{\text{шт}} = 1,995 + 0,12 = 2,115 \text{ хв}$$

Одержуємо підготовчо-заклучний час за формулою (1. 34):

$$t_{\text{пз}} = 17 + 10 + 5 = 32 \text{ хв}$$

Одержуємо штучно-калькуляційний час за формулою (1. 35):

$$t_{\text{шт-к}} = 2,115 + 32/40 = 2,915 \text{ хв}$$

Розрахунок допоміжного часу при нормуванні свердлильної операції 045 (1.30):

$$t_{\text{доп}} = 0,09 + 0,16 + 0,07 + 0,03 + 0,07 + 0,08 + 0,47 = 0,97 \text{ хв}$$

Одержуємо оперативний час за формулою (1. 31):

$$t_{\text{оп}} = 2,8 + 0,97 = 3,77 \text{ хв}$$

Одержуємо прибавочний час за формулою (1. 32):

$$t_{\text{пр}} = 6\% \cdot 3,77 = 0,226 \text{ хв}$$

Одержуємо штучний час за формулою (1. 33):

$$t_{шт} = 3,77 + 0,226 = 3,996 \text{ хв}$$

Одержуємо підготовчо-заклучний час за формулою (1. 34):

$$t_{пз} = 5 + 2 + 5 = 12 \text{ хв}$$

Одержуємо штучно-калькуляційний час за формулою (1. 35):

$$t_{шт-к} = 3,996 + 12/40 = 4,296 \text{ хв}$$

Розрахунок допоміжного часу при нормуванні фрезерної операції 050 (1.30):

$$t_{доп} = 0,14 + 0,12 + 0,1 + 0,04 + 0,2 + 0,09 + 0,12 = 0,81 \text{ хв}$$

Одержуємо оперативний час за формулою (1. 31):

$$t_{оп} = 17,49 + 0,81 = 18,3 \text{ хв}$$

Одержуємо прибавочний час за формулою (1. 32):

$$t_{пп} = 7\% \cdot 18,3 = 1,281 \text{ хв}$$

Одержуємо штучний час за формулою (1. 33):

$$t_{шт} = 18,3 + 1,281 = 19,581 \text{ хв}$$

Одержуємо підготовчо-заклучний час за формулою (1. 34):

$$t_{пз} = 16+2+8=26 \text{ хв}$$

Одержуємо штучно-калькуляційний час за формулою (1. 35):

$$t_{шт-к} = 19,581+26/40 = 20,231 \text{ хв}$$

Таблиця 1.8 – Зведений результат розрахунків нормативів часу за операціями.

№ Оп.	Найменування операції	$T_{шт.}, \text{ хв.}$	$T_{п.з.}, \text{ хв.}$	Величина партії, $n_{опт}, \text{ шт.}$	$T_{шт.к.}, \text{ хв.}$
015	Токарна	6,372	16	40	6,772
020	Токарна	6,535	17		6,96
025	Токарна	9,72	12		10,02
030	Токарна	3,472	23		4,047
035	Шліфувальна	2,696	26		3,346
040	Шліфувальна	2,115	32		2,915
045	Свердлильна	3,996	12		4,296
050	Фрезерна	19,581	26		20,231

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

Для токарної 020, свердлильної 045 та фрезерної 050 операцій розробляю в програмному забезпеченні Siemens NX CAM, керуючу програму. Створюю 3D-моделі деталі, інструмент для її обробки, траєкторію обробки. Перевіряю

за допомогою 3D-візуалізації операції всі попередні налаштування (рис.1.11-1.20).

1.8.1 Розробка токарної операції 020

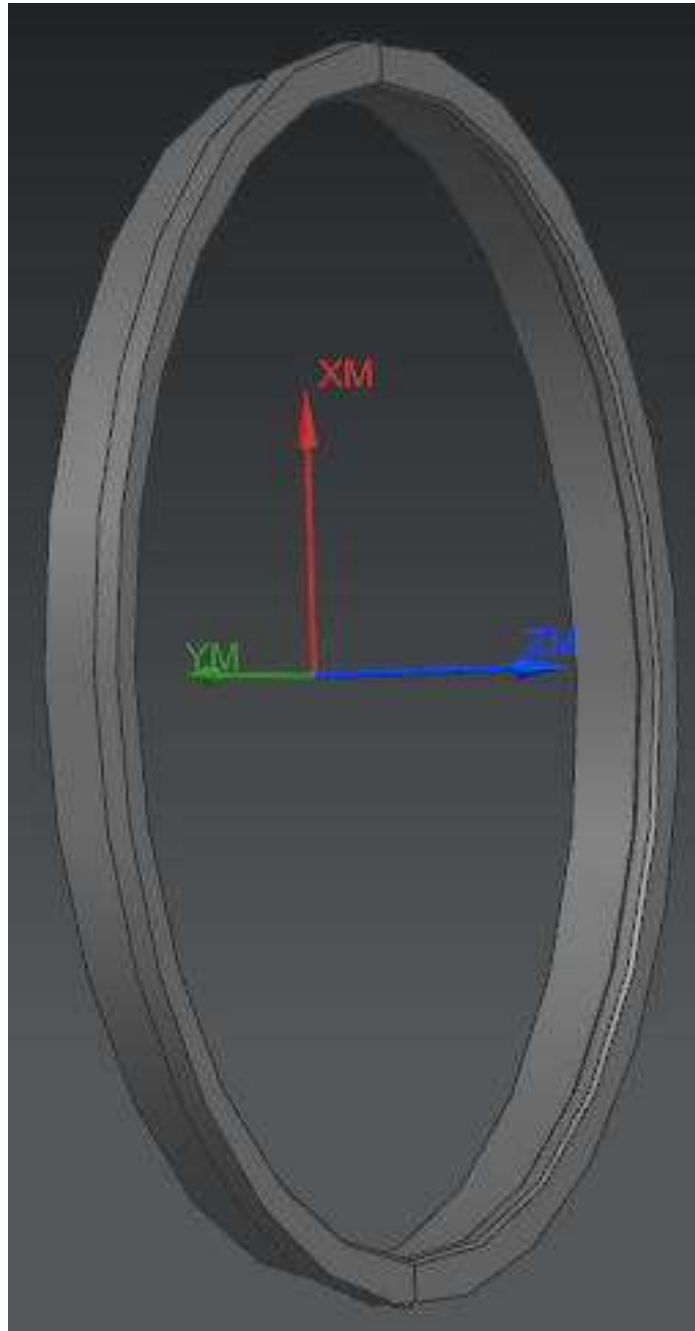
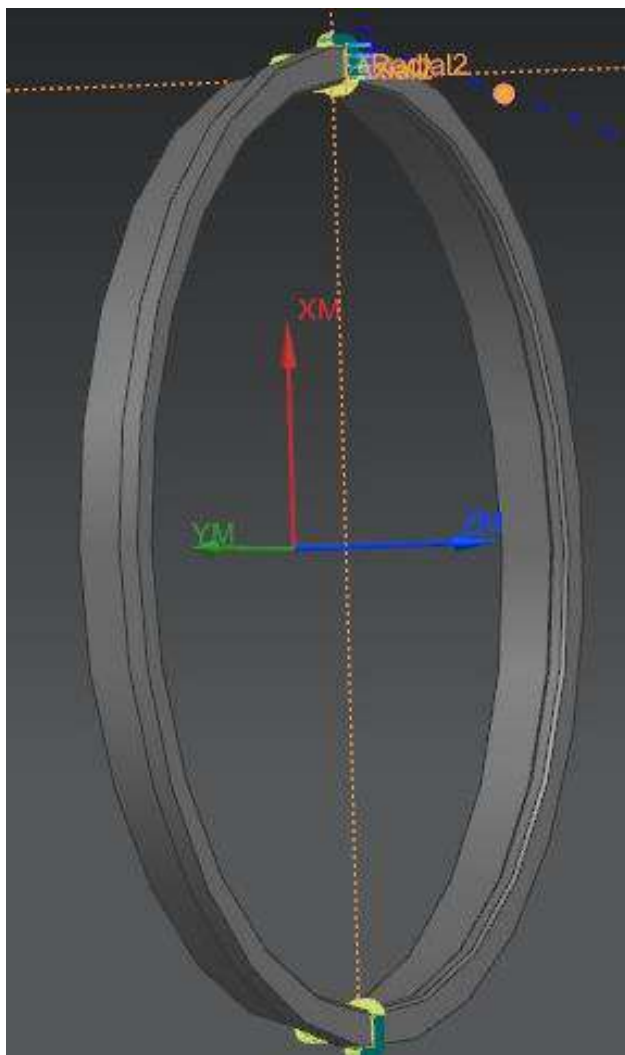
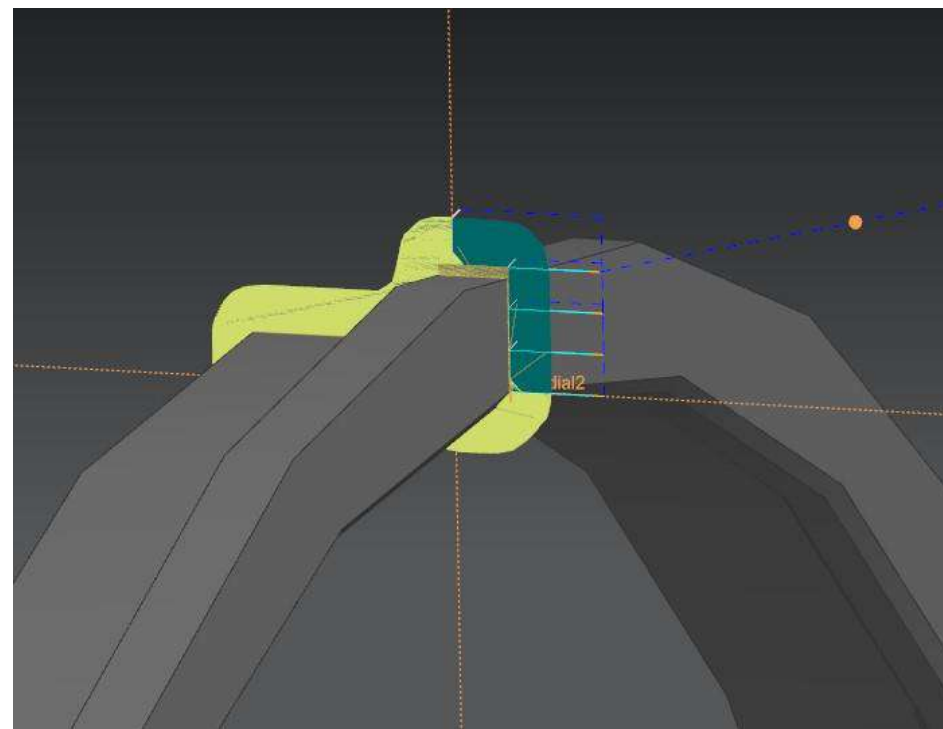


Рисунок 1.11 – 3D-операційний ескіз токарної операції 020.



а) загальний вид



б) приближенный вид

Рисунок 1.12 – 3D-оперативний ескіз токарної операції 020 з згенерованою траєкторією обробки деталі.

```

TLDATA/TURN,LEFT,OUTSIDE,MCSZ,1.6000,4.0000,5.0000,5.000
0,150.0000,270.0000
MSYS/0.0000,0.0000,0.0000,0.0000000,-1.0000000,0.0000000
,1.0000000,0.0000000,0.0000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED,10
TURRET/FACE,3,ADJUST,0,XOFF,0.0000,YOFF,0.0000
PAINT/COLOR,186
RAPID
GOTO/98.5057,-214.9411,0.0000,1.0000000,0.0000000,0.0000
000
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/124.0000,0.0000,25.1090
PAINT/COLOR,42
FEDRAT/MMPR,0.7000
GOTO/124.0000,0.0000,24.3090
PAINT/COLOR,31
GOTO/124.0000,0.0000,14.5000
GOTO/126.9932,0.0000,14.5000
PAINT/COLOR,37
GOTO/127.5588,0.0000,15.0657
PAINT/COLOR,211
RAPID
GOTO/127.5588,0.0000,25.3000
RAPID
GOTO/121.3333,0.0000,25.3000
PAINT/COLOR,42
GOTO/121.3333,0.0000,24.5000
PAINT/COLOR,31
GOTO/121.3333,0.0000,18.5000
GOTO/124.0000,0.0000,18.5000

```

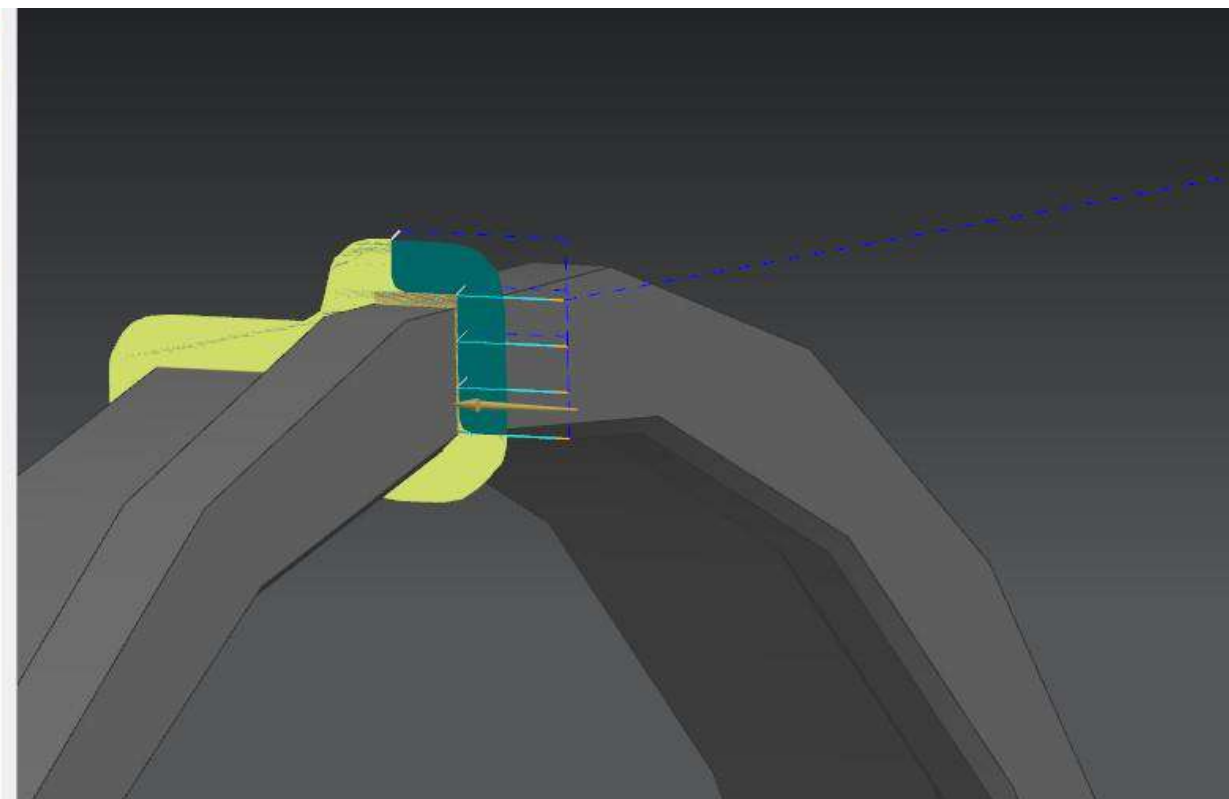
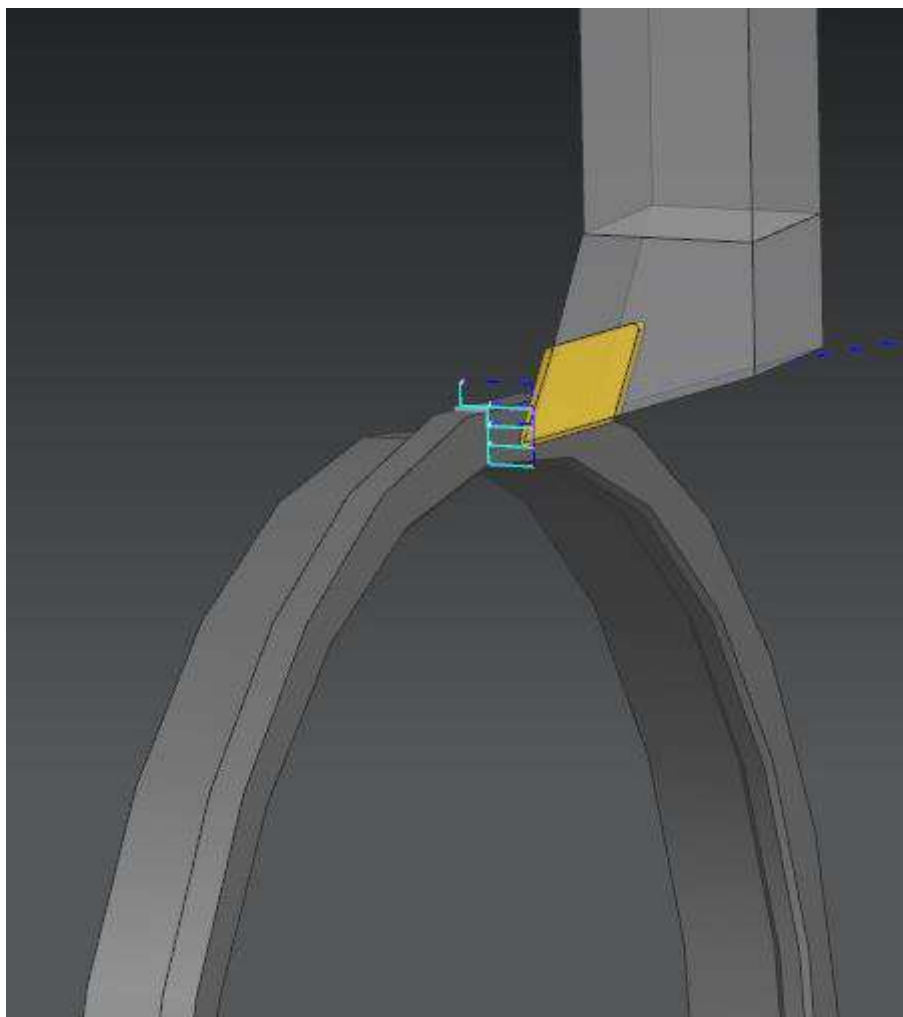
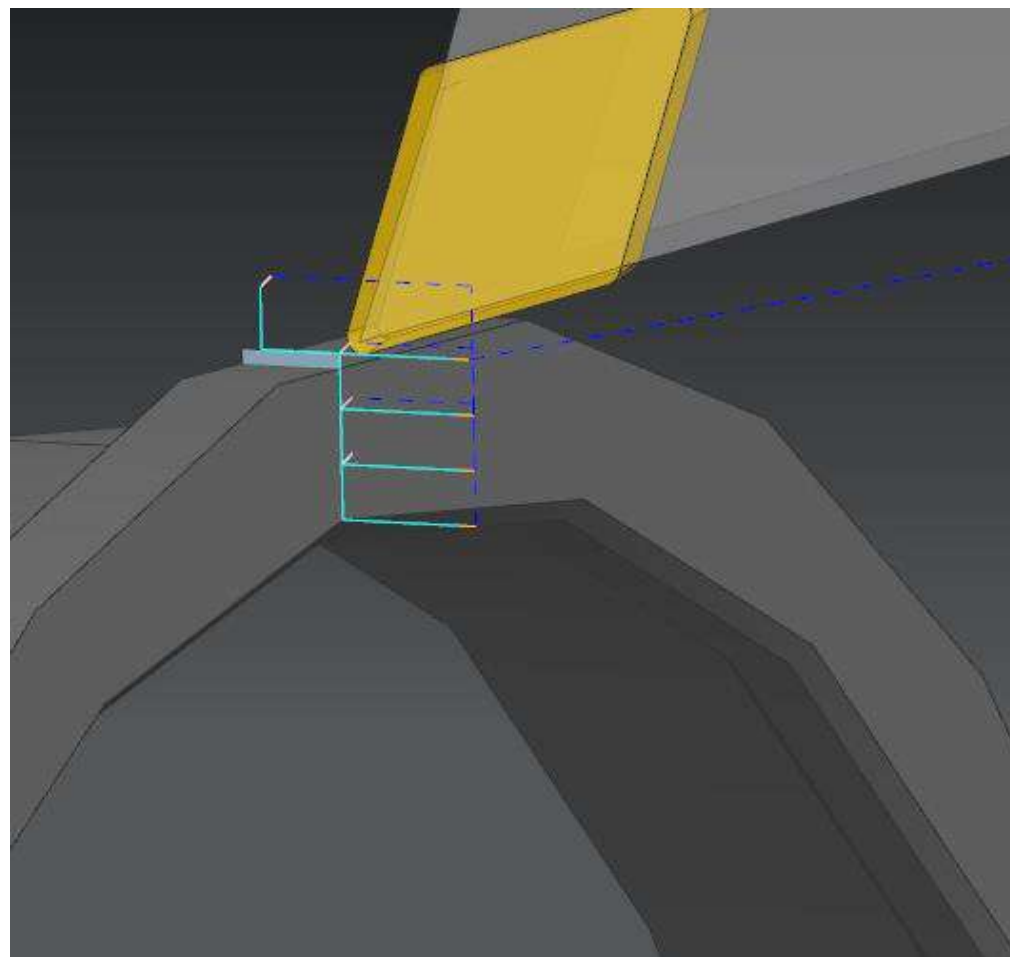


Рисунок 1.13 – 3D-оперційний ескіз токарної операції 020 з згенерованою траєкторією обробки деталі та фрагментом керуючої програми.



а) загальний вид



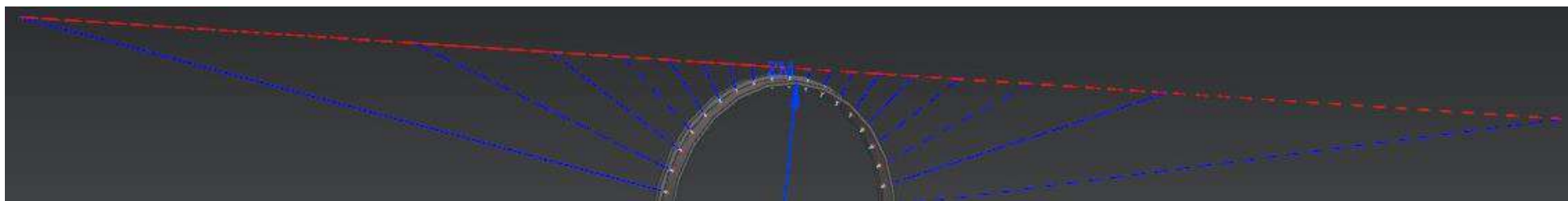
б) приближений вид

Рисунок 1.14 – 3D-оперативний ескіз токарної операції 020 з згенерованою траєкторією обробки деталі та інструментом в процесі обробки.

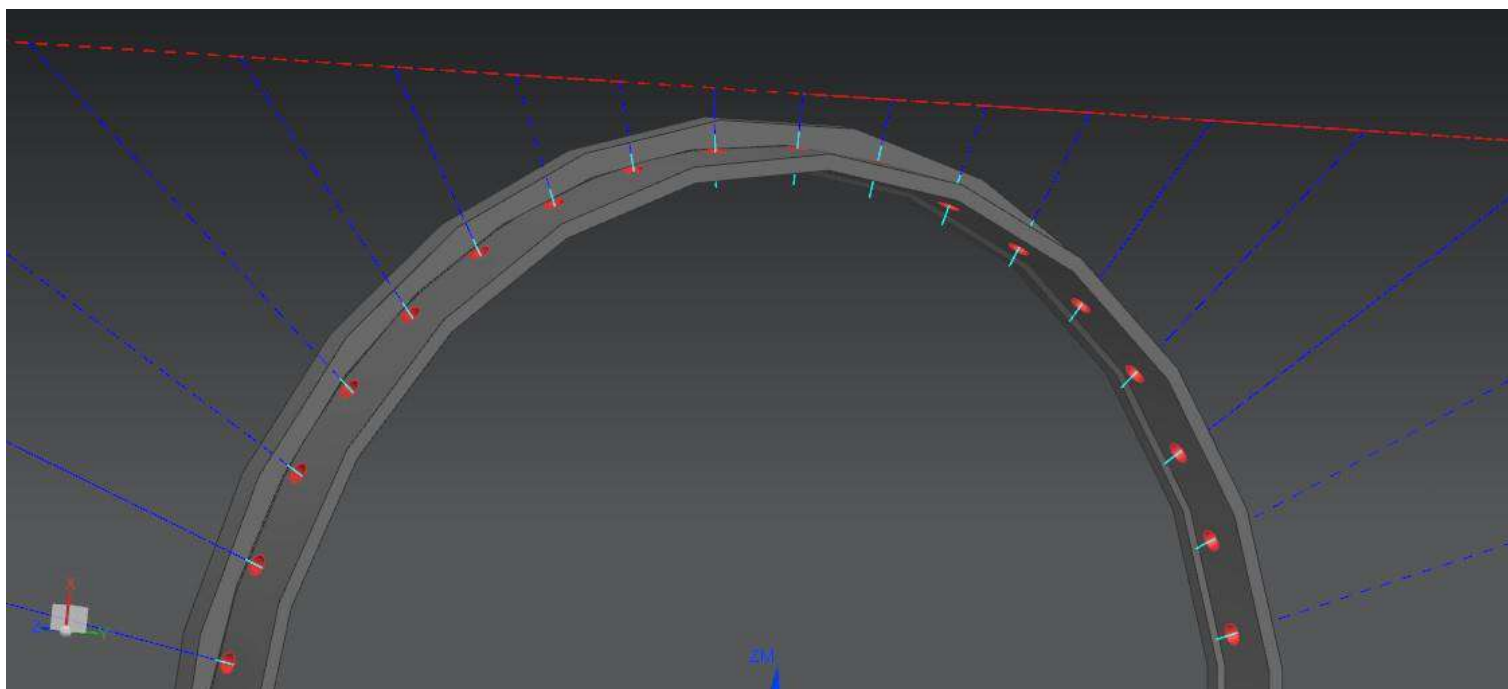
1.8.2 Розробка свердильної операції 045



Рисунок 1.15 – 3D-оперативний ескіз свердильної операції 045.

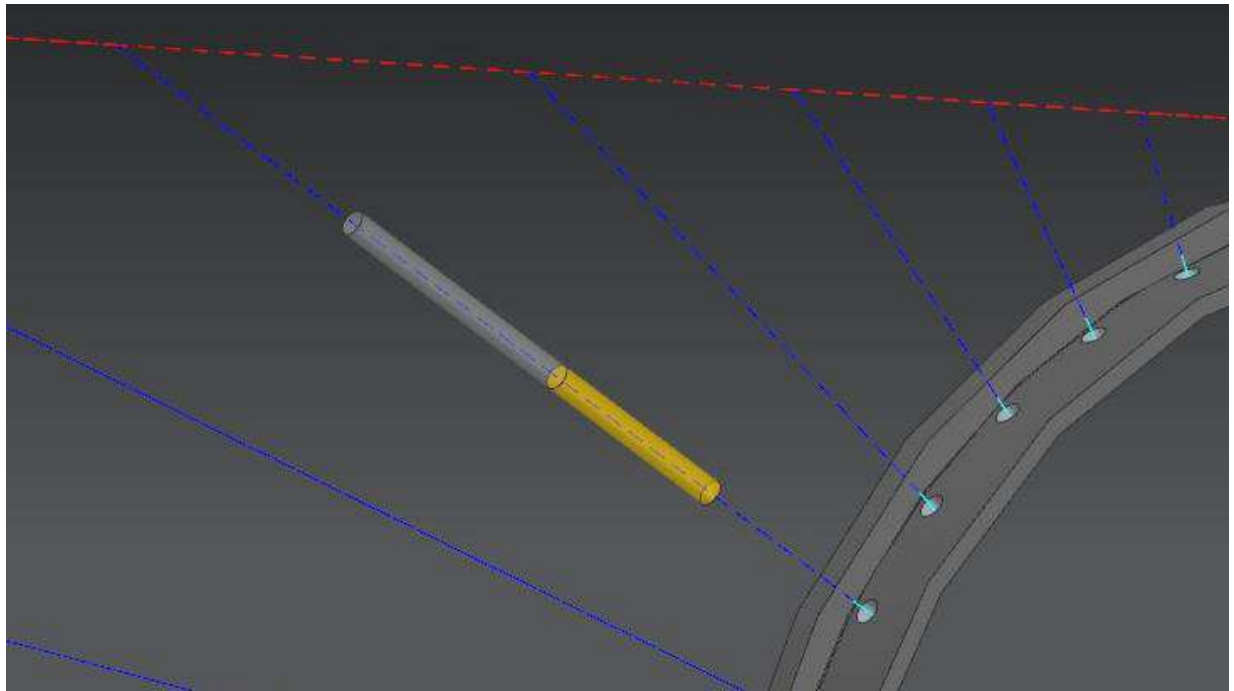


а) половина загального виду



б) приближенный вид

Рисунок 1.16 – 3D-оперативный эскиз свердильной операции 045 с сгенерированной траекторией обработки детали.

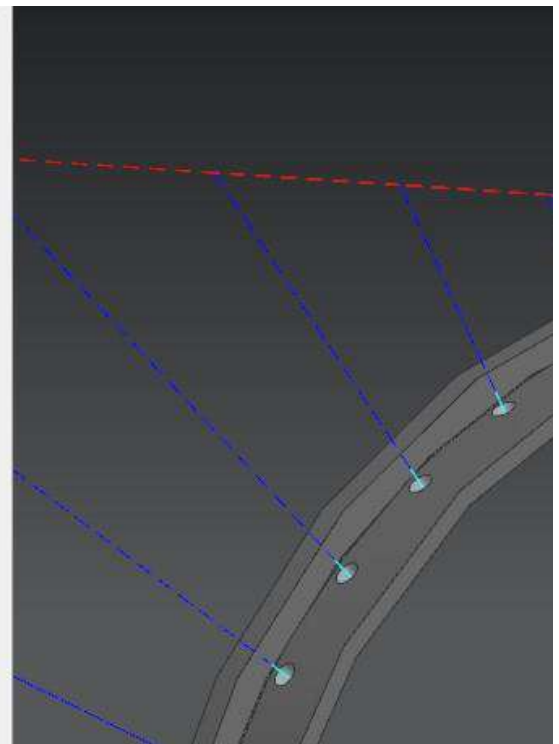


а)

```

TOOL PATH/DRILLING, TOOL, STD_DRILL
TLDATA/DRILL, MILL, 4.0000, 0.0000, 80.0000, 118.0000, 35.0000
MSYS/0.0000, 0.0000, 0.0000, 0.0000000, 0.0000000, 1.0000000,
0.0000000, 1.0000000, 0.0000000
$$ centerline data
PAINT/PATH
PAINT/SPEED, 10
PAINT/COLOR, 186
RAPID
GOTO/ -10.0000, 0.0000, 129.0000, 0.0000000, 0.0000000, 1.0000
000
CYCLE/DRILL, CLEAR, 3.0000, FEDTO, -6.7190, RTRCTO, AUTO, MMPM,
250.0000
PAINT/COLOR, 31
GOTO/ -10.0000, 0.0000, 119.0000
CYCLE/OFF
PAINT/COLOR, 186
RAPID
GOTO/ -10.0000, 20.4316, 129.0000, 0.0000000, 0.1564345, 0.987
6883
CYCLE/DRILL, CLEAR, 3.0000, FEDTO, -6.7190, RTRCTO, AUTO, MMPM,
250.0000
PAINT/COLOR, 31
GOTO/ -10.0000, 18.6157, 117.5349
CYCLE/OFF
PAINT/COLOR, 186
RAPID
GOTO/ -10.0000, 41.9146, 129.0000, 0.0000000, 0.3090170, 0.951
0565
CYCLE/DRILL, CLEAR, 3.0000, FEDTO, -6.7190, RTRCTO, AUTO, MMPM,

```



б)

Рисунок 1.17 – 3D-операційний ескіз свердлильної операції 045 з згенерованою траєкторією обробки деталі та а) - інструментом в процесі обробки та б) - фрагментом керуючої програми.

1.8.3 Розробка фрезерної операції 050



Рисунок 1.18 – 3D-оперативний ескіз фрезерної операції 050.

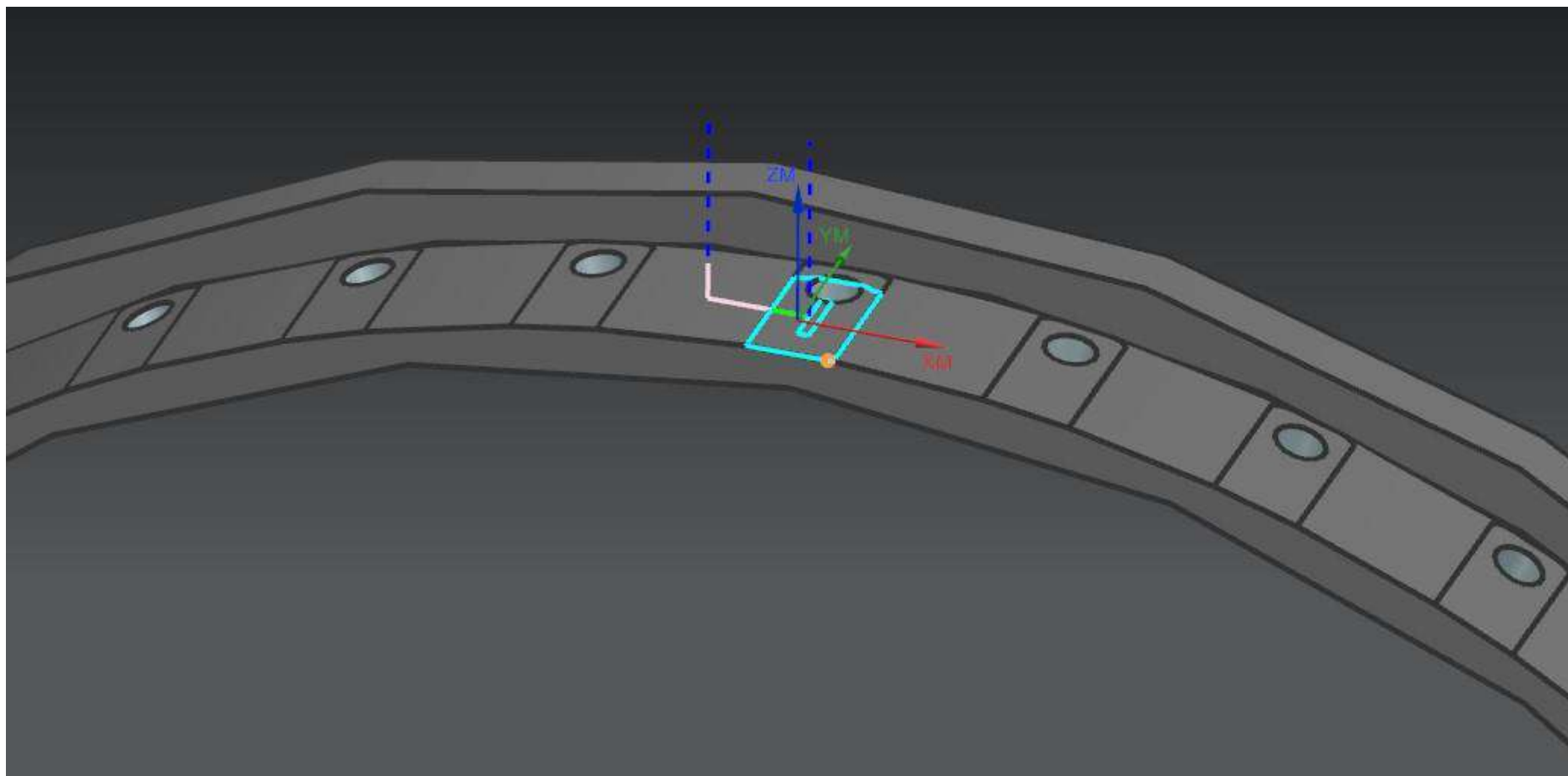


Рисунок 1.19 – 3D-операційний ескіз фрезерної операції 050 з згенерованою траєкторією обробки одного з 40^{ка} елементів деталі.

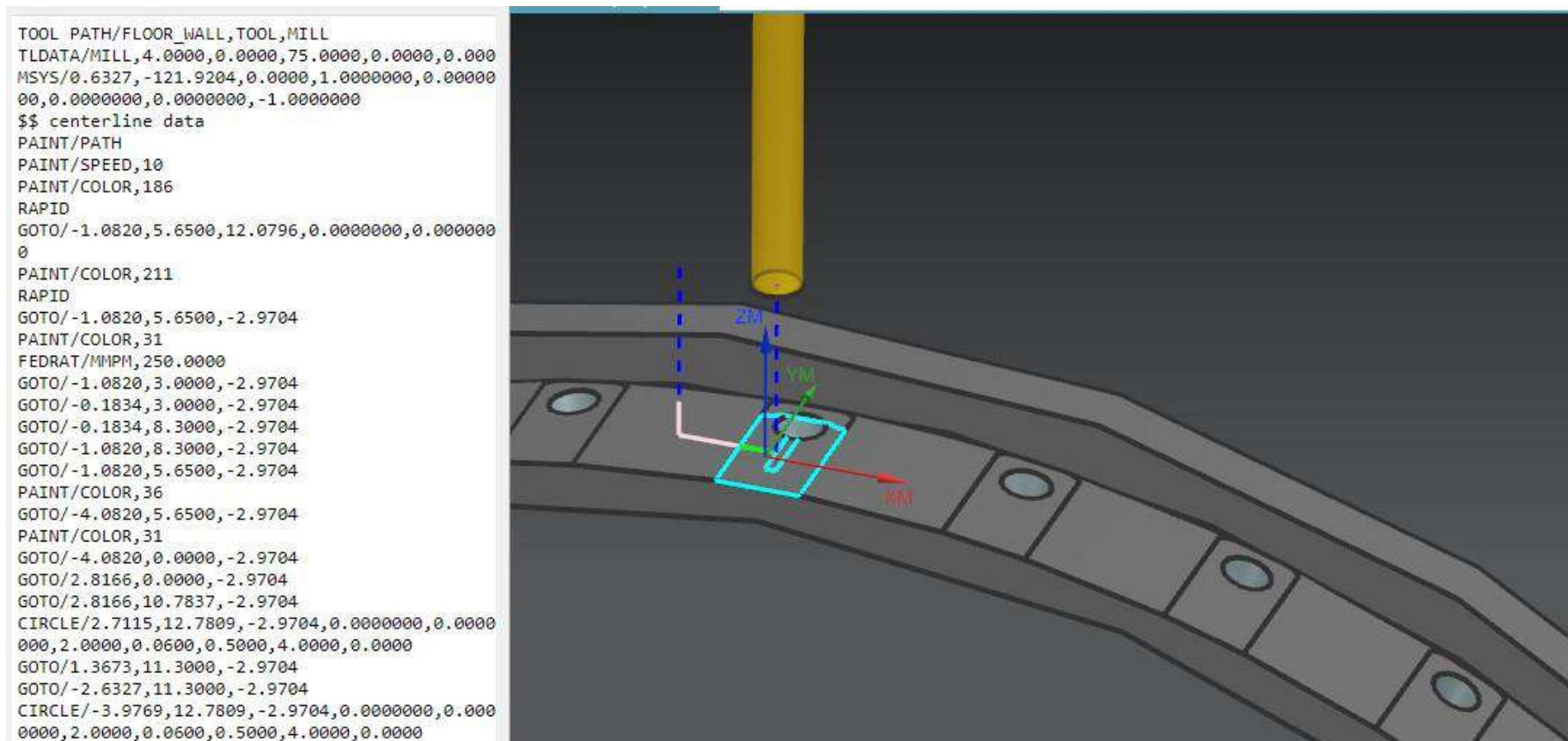


Рисунок 1.20 – 3D-операційний ескіз фрезерної операції 050 з згенерованою траскторією обробки одного з 40^{ка} елементів деталі, інструментом в процесі обробки та фрагментом керуючої програми.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристрою

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Мембранний патрон забезпечує високу точність центрування заготовок. Пружна мембрана кріпиться до фланця патрона болтами. Мембрана має від трьох до восьми кулачків зі змінними губками. У деяких конструкціях мембранних патронів кулачки кріпляться до мембрани болтами.

Заготовка утримується під час обробки силами пружності мембрани. Через невеликі сили кріплення заготовки мембранні патрони використовують на чистових операціях за невеликих перетинів стружки, що знімається.

Під час встановлення заготовок у мембранні патрони пневмопривід використовується лише для розведення кулачків, і тому робота з таким патроном безпечна. У разі раптового падіння тиску в мережі стисненого повітря під час обробки заготовка продовжує надійно утримуватися в патроні пружними силами мембрани.

Схема закріплення деталі показана на (рис.2.1) [с. 287, 9].

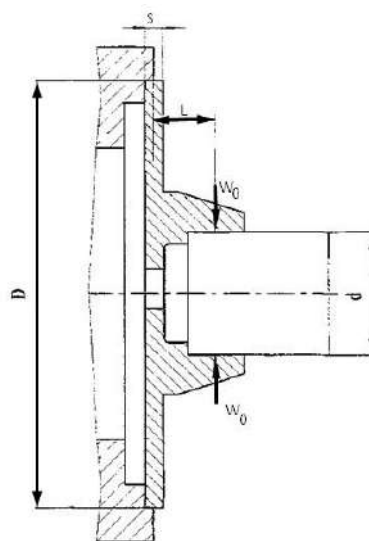


Рисунок 2.1 – Схема закріплення для розрахунку сил затиску в мембранному патроні

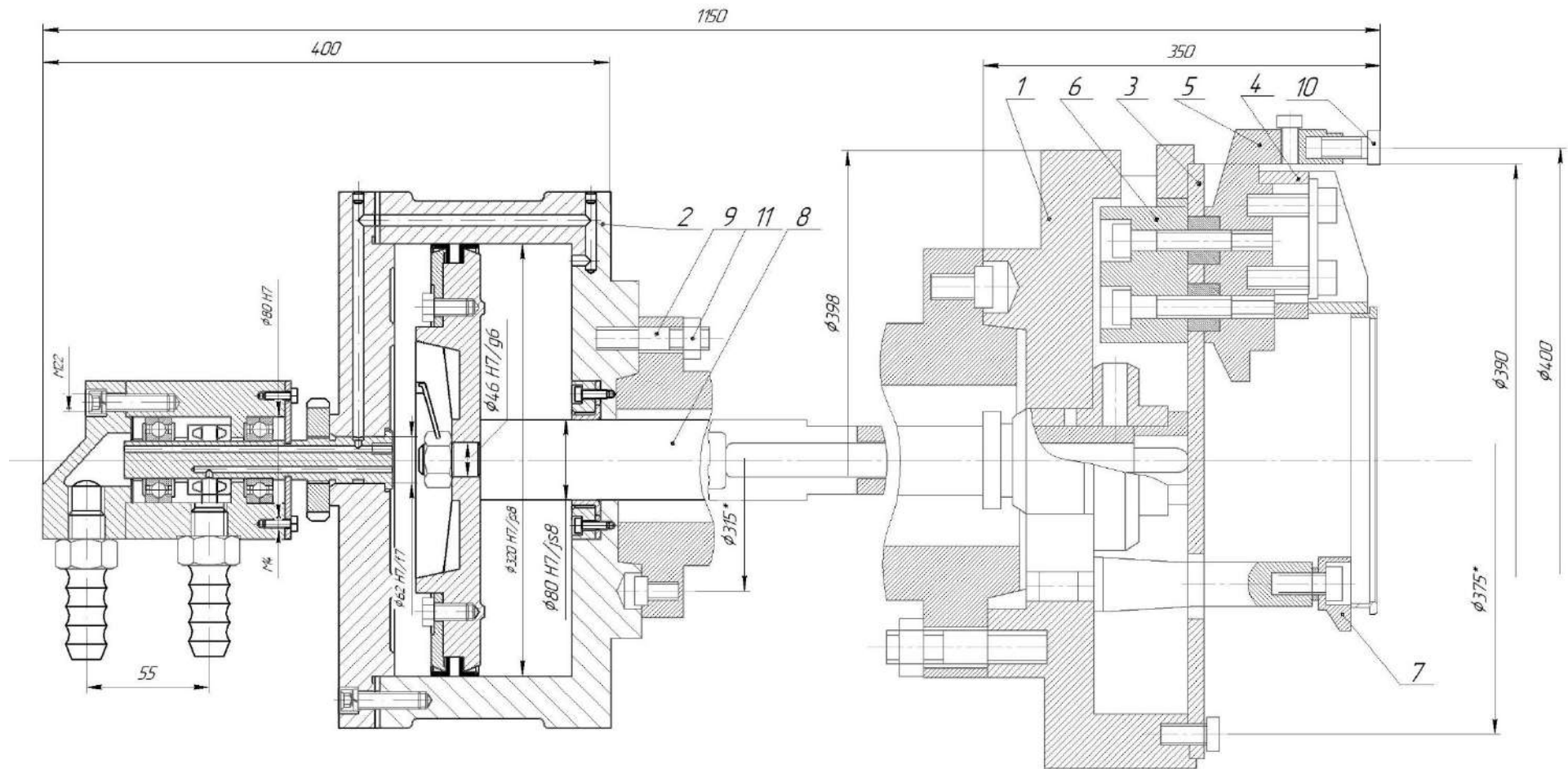


Рисунок 2.2 – Пристосування робоче для токарної обробки (мембранний патрон)

Для встановлення заготовки в мембранний патрон (рис. 2.2), повітря по каналам подається в штокову порожнину пневмоприводу та через шток 8 тисне на мембрану і прогинає її, внаслідок чого губки 4 патрона розходяться на 0,1-0,15 мм. Деталь встановлюється в 6 розтиснутих губок до упору 7, після чого пневмопривід відключається, мембрана прагне повернутися у вихідний стан і губками затискає заготовку.

При завершенні обробки повітря по каналам подається в безштокову порожнину пневмоприводу, вся конструкція за штоком 8 тягнеться вправо, мембрана прогинається, тим самим губки вивільняються, таким чином відбувається розкріплення деталі.

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Одержуємо похибку установки заготовки в пристосуванні за формулою (2.1), [9, с. 30]:

$$\epsilon_y = \sqrt{\epsilon_6^2 + \epsilon_3^2} \quad (2.1)$$

де ϵ_y – різниця граничних відхилень вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту, яка виникає в процесі базування та закріплення заготівки, мм;

ϵ_6 – частина похибки установки, яка виникає в результаті розбіжності вимірювальної та настроєчної баз, мм;

ϵ_3 – частина похибки установки, яка виникає в результаті відхилення вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту, під дією прикладених сил закріплення, мм.

Похибка при закріпленні є частиною похибки при встановленні, і вона виникає через розбіжність між вимірювальною та налаштувальною базами. Похибка закріплення виникає, коли напрям сили затиску або її компоненти співпадають із розміром обробки.

У даному випадку похибка базування може виникнути при самоцентруванні мембрани. Ріжкові мембрани забезпечують точне центрування при базуванні за зовнішніми поверхнями, оскільки затиск відбувається за рахунок пружної деформації. Точність центрування деталей з базовими поверхнями, виконаними по восьмому квалітету знаходиться в межах 0,04...0,06 мм. [9, стр. 279].

Тому, похибка базування $\varepsilon_6 = 50$ мкм .

Похибка закріплення визначається табличним методом, який враховує чистоту обробки базової поверхні, геометричні розміри заготовки, вид настановних елементів та тип затискних пристроїв [10, с. 134] – $\varepsilon_6 = 40$ мкм

Одержуємо похибку установки заготовки в пристосуванні за формулою (2.1):

$$\varepsilon_y = \sqrt{50^2 + 40^2} = 64 \text{ мкм}$$

Для забезпечення розміру від оброблюваної поверхні до поверхні клину мембрани доцільно вибрати параметр для розрахунку пристосування на точність виготовлення у вигляді допуску цього розміру.

Тобто необхідно витримати розмір обробки $\varnothing 228,7^{+0.185}$ мм.

Одержуємо середній розмір обробки, за формулою (2.2), [9, с. 171]:

$$A_{\text{сер}} = A - \frac{T_a}{2} \quad (2.2)$$

де A – розмір обробки, мм;

T_A – допуск на розмір обробки, мм.

$$A_{\text{сер}} = 228,7 - \frac{0,185}{2} = 228,608 \text{ мм}$$

Одержуємо допуск, за формулою (2.3), [9, с. 61]:

$$T_H \leq T_{\text{обр}} - (k_1 \varepsilon_6 + \varepsilon_3 + k_2 \omega) \quad (2.3)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує зменшення похибки базування через те, що установчий елемент в пристосуванні замінюється нечасто, а дійсні базові розміри заготовки рідко дорівнюють граничним, $k_1 = 0,8 \dots 0,85$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки в загальній похибці, спричиненої факторами, що не залежать від конструкції пристосування, $k_2 = 0,6 \dots 0,8$;

ω – середня економічна точність обробки.

$$T_H \leq 185 - (0,85 \cdot 50 + 40 + 0,65 \cdot 0,1) = 102,44 \text{ мкм}$$

Приймаємо виконавчий розмір: $\varnothing 238 \pm 1$.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Одержуємо дійсну силу затиску за формулами (2.4), (2.5), (2.6), (2.7) [9, т. 11.3, с.287]:

$$W_0 = \frac{kM}{2nfd} \quad (2.4)$$

де k – коефіцієнт запасу;

n – число пелюсток, шт.;

f – коефіцієнт тертя базової поверхні деталей та пелюсток

$$M = P_x \cdot l \quad (2.5)$$

де P_x – осьова сила різання;

$$P_x = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (2.6)$$

де K_p – поправочний коефіцієнт, що враховує вплив геометрії різального інструменту і твердість оброблюваного матеріалу, [6, с.264];

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{fp} \cdot K_{yp} \cdot K_{rp} \quad (2.7)$$

$$K_p = 1,167 \cdot 1,17 \cdot 1,4 \cdot 1,07 = 2,04$$

$$P_x = 10 \cdot 339 \cdot 2,85^1 \cdot 0,5^{0,5} \cdot 35,91^{-0,4} \cdot 2,04 = 3335,92 \text{ Н}$$

$$M = 3335,92 \cdot 9,5 = 31691,3 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

$$W_0 = \frac{3,4 \cdot 31691,3}{2 \cdot 6 \cdot 0,15 \cdot 0,238} = 251,6 \text{ кН}$$

Одержуємо циліндричну жорсткість мембрани за формулою (2.8), [9, т. 11.1, с.285]:

$$B = \frac{Es^3}{12(1-\mu^2)} \quad (2.8)$$

де $E = 2,1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності;

s – товщина мембрани, мм;

$\mu = 0,3$.

$$B = \frac{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8,5^3}{12(1-0,3^2)} = 11810096 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Одержуємо кут розтиску кулачків при закріпленні деталі з найменшим діаметром за формулою (2.9), [9, т. 11.3, с.287]:

$$\varphi = \frac{M_3 d}{2B(1+\mu)} \quad (2.9)$$

де M_3 - момент закріплення по відношенню діаметра мембрани до діаметру заготовки.

$$\varphi = \frac{0,825 \cdot 238}{2 \cdot 11810096 (1+0,3)} = 0,0076 \text{ рад}$$

Одержуємо зусилля на клині мембрани за формулою (2.10), [9, т. 11.3, с.287]:

$$Q = W \frac{d}{Dn} \operatorname{tg} \varphi \quad (2.10)$$

де W – необхідне зусилля затиску, Н;

d – діаметр, за яким базується заготовка, мм;

D – діаметр мембрани, мм;

φ – кути тертя в точках контакту клина з опорними роликами, град.

$$Q = 251,6 \frac{238}{390 \cdot 6} \operatorname{tg} 8^\circ = 255,96 \text{ Н}$$

Одержуємо діаметр пневмоциліндру, за формулою (2.11), [9, с.138]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (2.11)$$

де Q – сила затиску, $Q=W$, Н;

p – тиск у пневмосистемі, МПа;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 255,96}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,85}} = 269,18 \text{ мм}$$

Згідно з ГОСТ 15608-81 обираємо з ряду стандартних $D_{\text{цил}}=320$ мм та $d_{\text{шт}}=80$ мм.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Контрольне пристосування застосовується для контролю торцевого биття деталі «Гребінка» (рис. 2.3).

Деталь могла би встановлюватися безпосередньо на диск установчий та провертатися на двох роликах вручну, та через конструктивні особливості, а саме отримані профільним електрод-інструментом складні поверхні-отвори, ковзання по ролику внутрішньою поверхнею при обертанні спричиняло б додаткове биття. Тому для зручності виконання процесу та більш точного вимірювання для деталі виготовляється спеціальний перехідник у вигляді кільця. Також для більш універсального вимірювання підставку пристосування розташовано під ухилом на ніжках.

Контроль заданих параметрів виконується, контролером, який провертає деталь власноруч та знімає показники за допомогою індикаторного годинника, який підводяться в зону вимірювання.

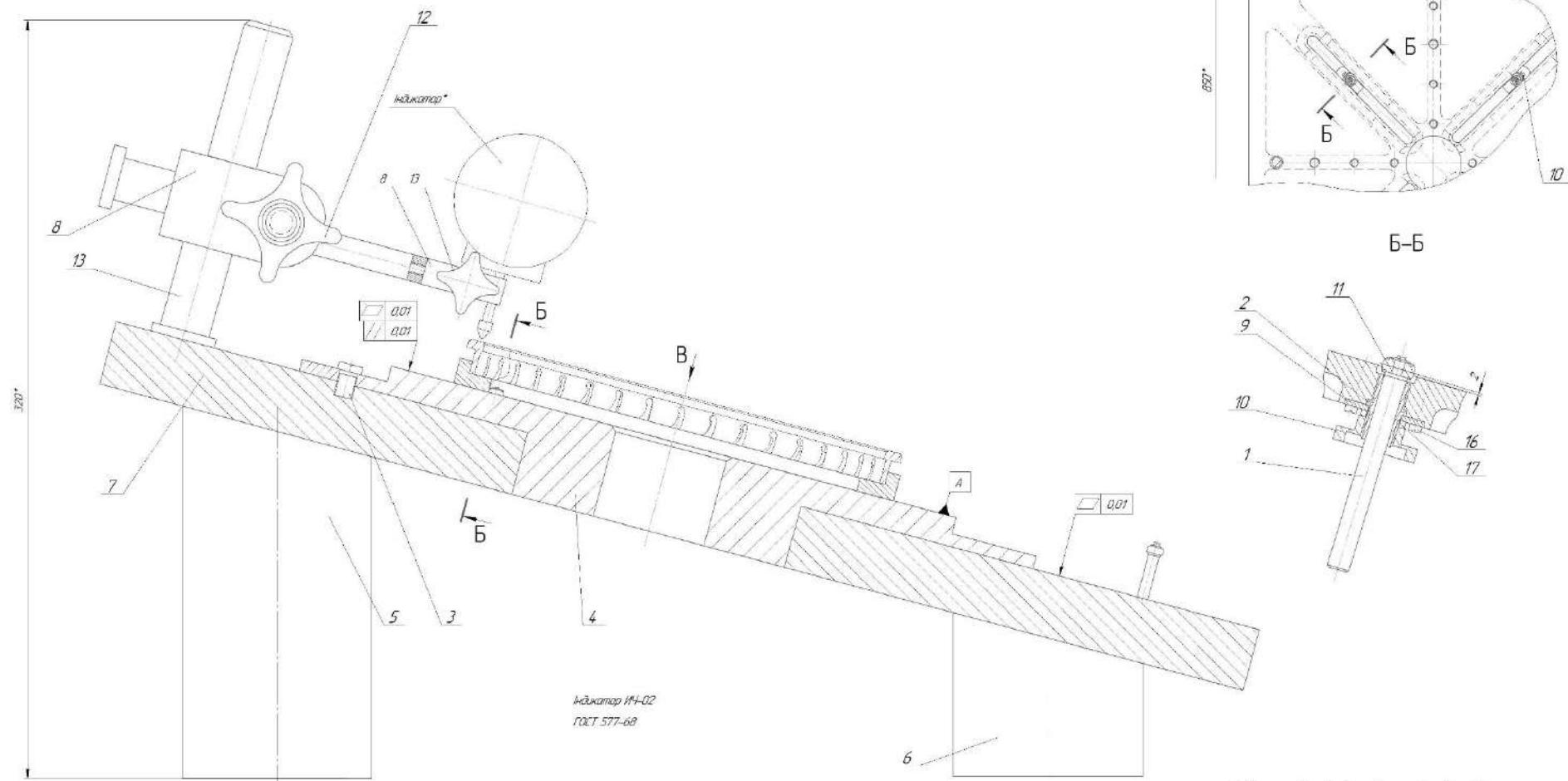


Рисунок 2.3 – Контрольне пристосування для виміру торцевого биття

3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

3.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

У галузі машинобудування, при розробці деталей машин, важливим є врахування запасу міцності та жорсткості. Це означає, що необхідно забезпечити такі розміри та конструкцію деталей, які зможуть витримати навантаження, без деформації та пошкоджень. Коефіцієнт запасу міцності (n) в авіабудівній промисловості, який зазвичай становить від 2 до 5, також враховує механічні властивості матеріалів, використовуваних для виготовлення деталей. Величина цього запасу залежить від важливості конструкції та умов її подальшої експлуатації, включаючи область авіаційної промисловості.

Щоб провести розрахунок деталі «гребінка» на міцність, було:

- спроектовано модель деталі (рис. 3.1) у SIEMENS NX;
- розбито деталь на сітку кінцевих елементів (1 мм) (рис. 3.2);
- закріплено деталь по найменшому $\varnothing 230$ (рис. 3.3);
- прикладено навантаження (σ_0) 1000, 1500, 2000 Н (рис. 3.4), для визначення оптимального значення максимального навантаження.

Після чого було отримано результати розрахунку на міцність (т. 3.1) (рис. 3.5).

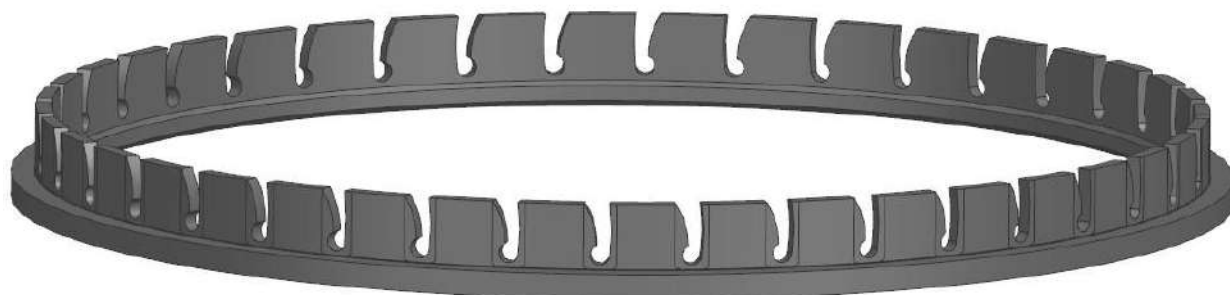


Рисунок 3.1 – Модель деталі «гребінка».

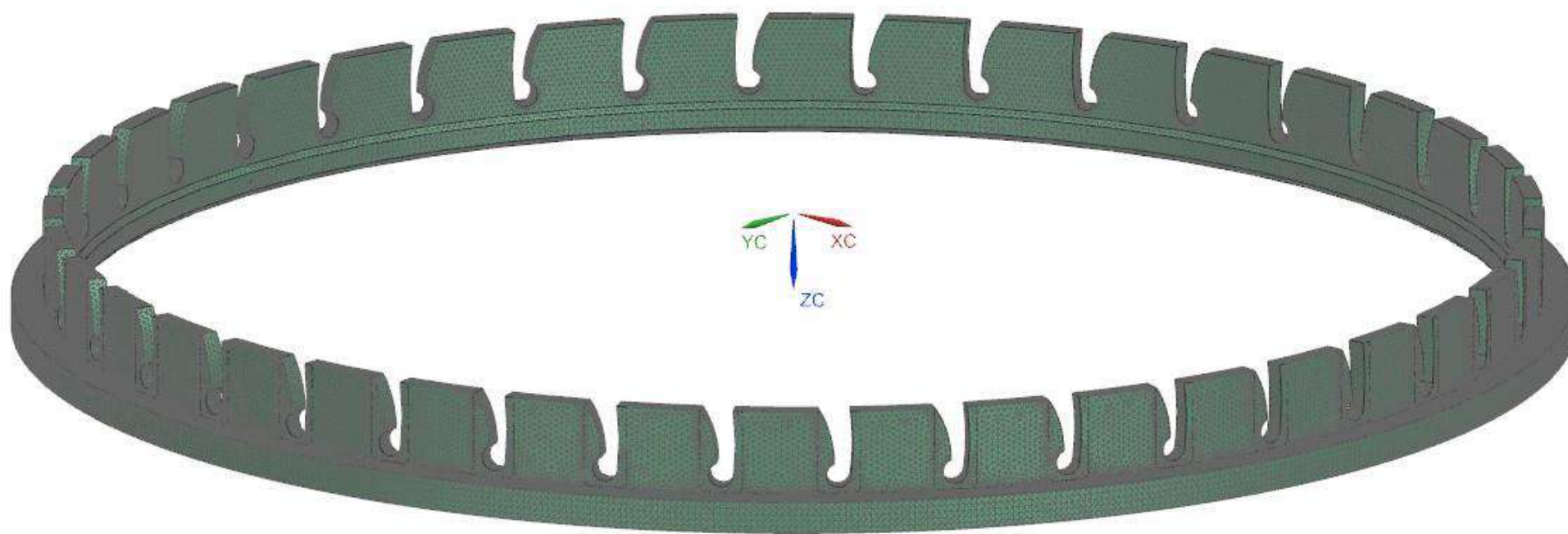


Рисунок 3.2 – Зображення деталі розбитої на сітку кінцевих елементів

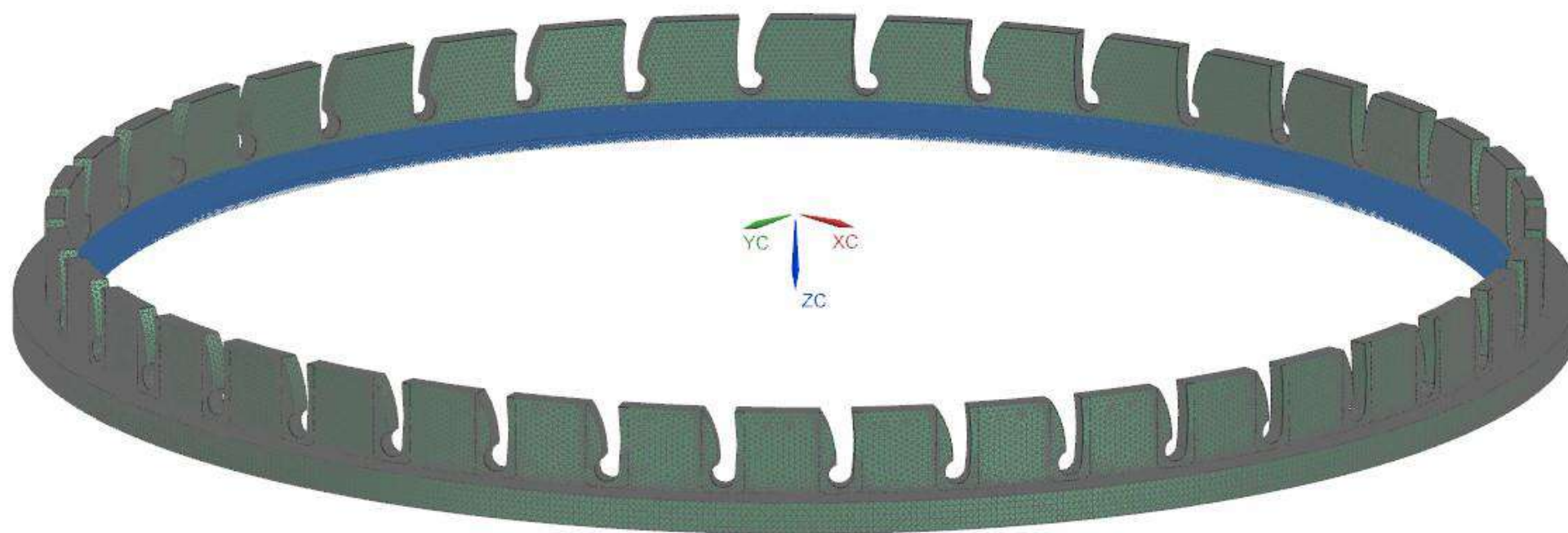


Рисунок 3.3 – Зображення деталі, що закріплена по $\varnothing 230$

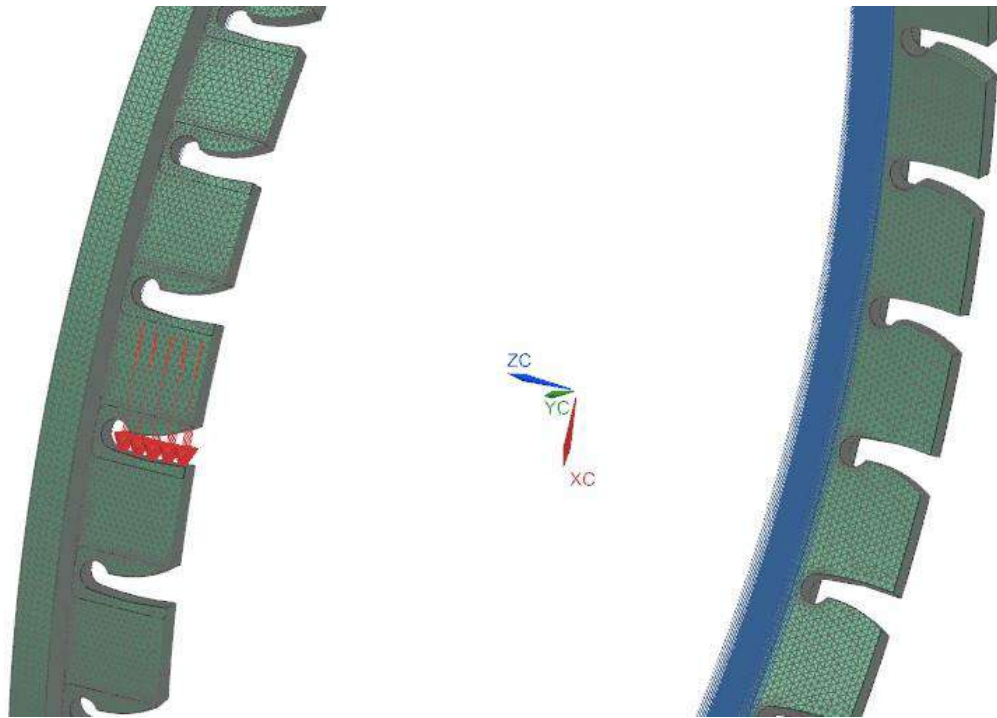


Рисунок 3.4 – Зображення деталі, до якої прикладено навантаження 1500 Н, на один з отворів для визначення оптимального значення максимального навантаження

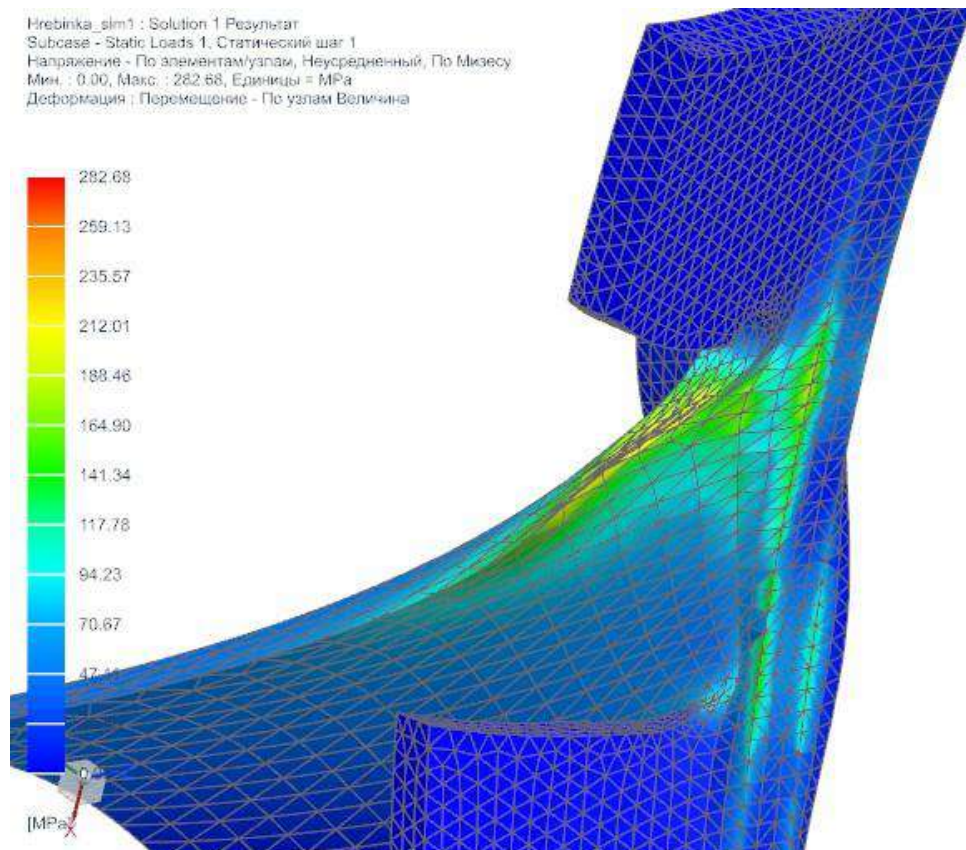


Рисунок 3.5 – Результат розрахунку деталі на міцність при $\sigma_0=1500$ Н

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку деталі на міцність

Прикл. навант. σ_0 , Н	Макс. нав. $\sigma_{\max}$, МПа	Коеф. запасу міцності, n
1000	188	6,68
1500	282,68	4,44
2000	376	3,34
3000	565,37	2,22

3.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

З таблиці 3.1 видно, що найкраще зі значень, оптимальне прикладене навантаження для забезпечення $n_\sigma=4,44$, це $\sigma_0=1500$ Н. З рисунку 3.5 видно, що небезпечний переріз знаходиться на крайці профільного отвору, для визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції, обрано збільшити товщину ділянки отвору, за рахунок спочатку внутрішнього діаметру а потім зовнішнього діаметру. В результаті проведених дій, було отримано дані наведені в таблиці 3.2 (рис. 3.6).

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку деталі на міцність при зміні товщини ділянки отвору

Товщина ділянки отвору, мм	Прикл. навант. σ_0 , Н	Макс. нав. $\sigma_{\max}$, МПа	Коеф. запасу міцності, n
Станд.констр. 3	1500	282,68	4,44
3,25		262,2	4,79
3,5		239,5	5,24

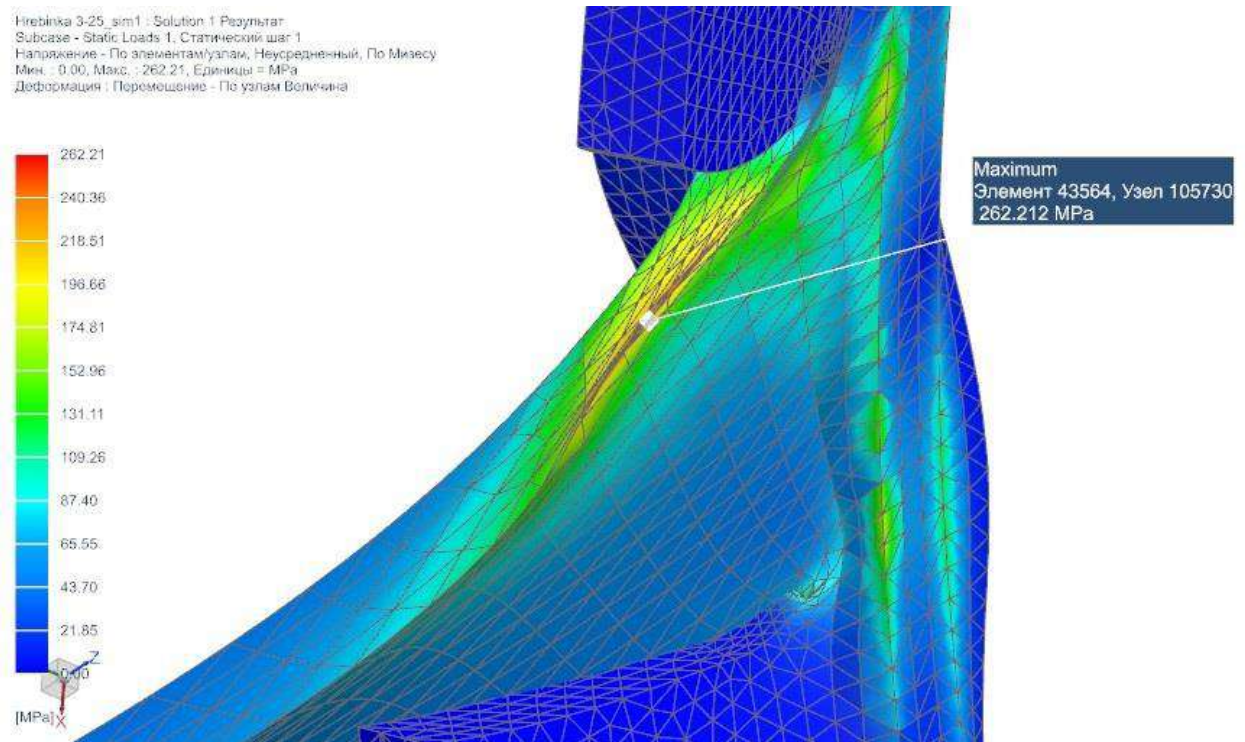


Рисунок 3.6 – Результат розрахунку деталі на міцність при зміні товщини ділянки отвору з 3 мм на 3,25 мм

3.3 Оптимізація геометрії деталі

З таблиці 3.2 видно, що при сильному збільшенні товщини ділянки отвору, $\sigma_{\max}$ виходить за межі допустимого коефіцієнту запасу міцності.

Тому, щодо оптимізації геометрії деталі, рекомендовано збільшити товщину ділянки отвору до 3,25 мм, тільки в тому разі коли це не вплине на подальшу експлуатацію та функціонування деталі.

4 АВТОМАТИЗАЦІЯ

ВИСОКОЕФЕКТИВНИЙ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИЙ ВЕРСТАТ З ВИСОКОЮ ТОЧНІСТЮ ТА ШВИДКІСТЮ РІЗАННЯ – ONA AV35

Машини для електроерозійної обробки (ЕЕО) відіграють надзвичайно важливу роль у виробництві. Для максимальної автоматизації в процесах ЕЕО запропоновано використання вискоефективного електроерозійного верстату з високою точністю та швидкістю різання – ONA AV35 (рис. 4.1). Який гарантує менше доопрацювання для кращої обробки поверхні, що забезпечує до 30% часу.

Переваги технології AV:

1. Цифрове керування, розроблене з урахуванням концепції зручності використання, має: 23-дюймовий сенсорний інтерфейс, інтуїтивно зрозумілі та візуально зручні меню, додатки, представлені піктограмами, інформацію в реальному часі, кращий контроль над процесом.

2. Оптимізація часу роботи є однією з основних функцій AV-машин. Система дозволяє переглядати список вакансій (JOBS list).

3. Новий інтерфейс відображає заготовку в 3D і дозволяє оператору обертати та переміщати її відповідно до своїх вимог простим натисканням на екран завдяки тактильній технології.

4. Новий генератор дозволяє різати на високих швидкостях і гарантує високу ефективність машин. Економія 30% часу і швидкість 450 мм²/хв.

5. Програмування ONA Script + опція Medition у процесі, щоб мати повний контроль над позиціонуванням заготовки.

Найсучасніша технологія електроерозійної обробки від ONA гарантує високу якість деталей за короткий час виробництва.

Завдяки автоматизації процесів з використанням ONA AV35 досягнена максимальна кількість годин без простоїв. За допомогою найширшого, з усіх існуючих, асортименту автоматичних змінних пристроїв (включаючи лінійні

версії та поворотні на 20 або 40 позицій), ONA гарантують максимальну продуктивність відповідно до конкретних потреб кожного виробника. Також є доволі вагомою перевагою виготовлення спеціальних пристроїв для великих або важких електродів.



Рисунок 4.1 – Зображення дротяно-вирізного верстата ONA AV35 [11].

Для покращення виробничий процесу, споживач може інтегрувати в свій верстат різні моделі пристроїв для зміни інструменту або роботів. Заміна електродів відбувається автоматично, а людська помилка виключається.

Лінійні пристрої для зміни інструменту розміщені в баку верстата (рис. 4.2), тому не займають багато місця на робочому майданчику.

Поворотні пристрої для зміни інструменту на 20 позицій також можуть бути інтегровані у верстати.



Рисунок 4.2 – Зображення інструментів баку дротяно-вирізного верстата ONA AV35 [11].

Одним з найпоказовіших випадків вдалого застосування даного обладнання є свердління ЕЕО дифузорних отворів в лопатках турбін. Для цього була розробка індивідуального додатку для великого виробника високоякісних компонентів, що використовуються в аерокосмічній та енергетичній галузях. Потреба в таких високоякісних продуктах стала ключовим фактором у прийнятті рішення про вибір ONA.

Замовник потребував рішення для свердління дифузорних отворів в лопатках турбін. Ці отвори відіграють важливу роль у вентиляції та охолодженні. Погана вентиляція та охолодження підвищують температуру повітря на вході в турбіну і в кінцевому підсумку знижують ефективність і довговічність компонента. У турбіні, що виробляє електроенергію, буде

вироблятися менше енергії, а в руховій турбіні (наприклад, авіаційній турбіні) буде споживатися більше палива. Крім того, високі температури можуть призвести до пошкодження самих лопатей компресора.

Пропозиція інженерів, щодо вирішення полягала в тому, щоб розробити програму, яка б об'єднала можливості двох технологій електроерозійної обробки: FAST HOLE та електроерозійної обробки з витяжкою. Спочатку в заготовці свердлять циліндричні отвори за допомогою верстата FH, а потім за допомогою верстата ONA IRIS 6 (розміри по осях XYZ: 1000 x 750 x 650 мм; з 2-осьовим поворотним столом і мідним електродом) в перших отворах свердлять інші отвори необхідної геометричної форми. Вісь деяких з цих отворів може бути не паралельна осі першого отвору.

Для того, щоб споживач міг повністю оцінити, як буде здійснюватися процес і вирішуватися проблема (весь процес виготовлення дифузора ЕЕО), було проведено повне моделювання за допомогою програмного забезпечення CAD/CAM. Етапи, пов'язані з проведенням цього моделювання, були наступними:

1. Техніко-економічне обґрунтування та остаточна оцінка якості. По-перше, було проведено техніко-економічне обґрунтування та остаточна оцінка якості, щоб перевірити, чи можна провести випробування за допомогою машини ONA. Це моделювання проводилося в Китаї на машині в демонстраційному залі.

2. Придатність машини ONA IRIS6. Одним з висновків цього попереднього техніко-економічного обґрунтування була придатність верстата ONA IRIS6 з огляду на характеристики проекту: розмір деталей і потреби в поворотному столі для свердління всіх отворів і можливості обертання заготовки. У випадку з електродом було вирішено використовувати мідь, щоб отримати більш якісну обробку.

3. Перегляд та зв'язок з CAD-CAM нового верстата з ЧПК. Замовник попросив показати нове програмне забезпечення для ЧПК і те, як воно пов'язане з CAD/CAM. ONA використовує обидві програмні системи для

досягнення найкращої відповідності, так, що "ідеальна" деталь, створена за допомогою програмного забезпечення CAD/CAM, обробляється ЧПК верстата, і кінцевий результат є точною копією того, що було спроектовано. У цьому конкретному випадку було дуже важливо точно визначити вже просвердлені отвори, визначити точні координати в режимі реального часу і переконатися, що верстат зможе виконати операцію в потрібному місці. Налаштування заготовки мало вирішальне значення, а також можливість позиціонувати її в точну точку, оскільки форма деталей була дуже складною.

4. Програмування за допомогою ONA Script. Нарешті, програмування було виконано за допомогою програмного інструменту ONA Script, генератора робочих процесів, що дозволяє верстату безперебійно виконувати весь процес.

В результаті всієї цієї кропіткої роботи і попередніх досліджень ONA змогли надати замовнику повністю кастомізований електроерозійний прохідний верстат, запрограмований відповідно до його конкретних потреб для обробки дифузорних отворів зі складною геометрією в лопатках турбіни (рис. 4.3) . Як повідомив нам замовник, наше рішення "під ключ" також було більш економічно ефективним, ніж інші альтернативи на ринку.



Рисунок 4.3 – Обробки дифузорних отворів зі складною геометрією в лопатках турбіни на верстаті ONA IRIS6 [11].

Верстат ONA IRIS6 оснащений інтелектуальним цифровим генератором, що є технологічним нововведенням в області електроерозійної обробки. Він на 30% потужніший за інші більш досконалі генератори. Він може досягати 400 ампер, що в чотири рази більше, ніж стандартний генератор, і призначений для оптимізації процесу електроерозійного прошивання шляхом контролю енергоспоживання кожного розряду, тим самим зменшуючи знос електродів до 500%.

Найвідоміші авіаційні компанії світу вже використовують у своїх процесах верстати ONA. Якщо не так давно за допомогою технології ЕЕО виготовлялися лише деякі вироби, то сьогодні, завдяки значному технологічному прориву, який принесли нові цифрові генератори, електроерозійна обробка стала технологічною нормою для виготовлення надважливих деталей подібних до робочих колес, лопаток, турбінних дисків, камер згоряння та ін..

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

ОТРИМАННЯ СКЛАДНИХ ПОВЕРХОНЬ ПРОФІЛЬНИМ ЕЛЕКТРОДОМ-ІНСТРУМЕНТОМ ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНИМ МЕТОДОМ

5.1 Загальні відомості про електроерозійну обробку

Електроерозійна обробка (EDM) — це ефективна техніка виробництва, яка дозволяє виготовляти деталі з твердих матеріалів зі складною геометрією, які важко виготовити звичайними процесами механічної обробки. EDM — це процес руйнування матеріалу шляхом тимчасової дії електричних іскор на електропровідні матеріали, один з яких є заготовкою, інший — електродом, зануреним у діелектричну рідину та розділеним іскровим проміжком. Здатність EDM контролювати параметри процесу для досягнення необхідної точності розмірів і якості поверхні вивела цю операцію обробки на провідне місце в промислових застосуваннях [12].

Електроерозійна обробка (EDM) - це процес, який використовується для видалення металу під дією електричного розряду короткої тривалості між електродом і заготовкою. Доведено, що така обробка є дороговартісною при обробці надміцних, електропровідних матеріалів, таких, як нові сплави космічної галузі. Ці метали було б важко обробляти традиційними методами, але електроерозійна обробка профільним електродом-інструментом (рис. 5.1) дозволила відносно просто обробляти складні форми, які неможливо виготовити за допомогою звичайних ріжучих інструментів. EDM широко використовується в пластмасовій промисловості для виготовлення порожнин практично будь-якої форми в металевих прес-формах. Хоча застосування електроерозійної обробки обмежується обробкою електропровідних матеріалів заготовок, технологія здатна різати ці матеріали незалежно від їх твердості та в'язкості. Якість поверхні є суттєво важливим фактором при оцінці компонентів верстатів та оброблених деталей. Шорсткість оброблених деталей, на, яку впливає швидкість зняття матеріалу (MRR), є важливою

проектною характеристикою, яка, як відомо, має значний вплив на наступні властивості - зносостійкість і втомну міцність. Це один з найважливіших показників при фінішній обробці. Серед характеристик електроерозійної обробки шорсткість поверхні (R_a) заготовки та швидкість зняття матеріалу (MRR) вважаються найбільш важливими факторами. Шорсткість і швидкість зняття матеріалу в процесі електроерозійної обробки безпосередньо пов'язані з кількістю енергії, що використовується для видалення заготовки. Серед інших факторів, що впливають на процес електроерозійної обробки, - сила струму, частота імпульсів, тривалість імпульсу, властивості матеріалу електрода та заготовки [12].

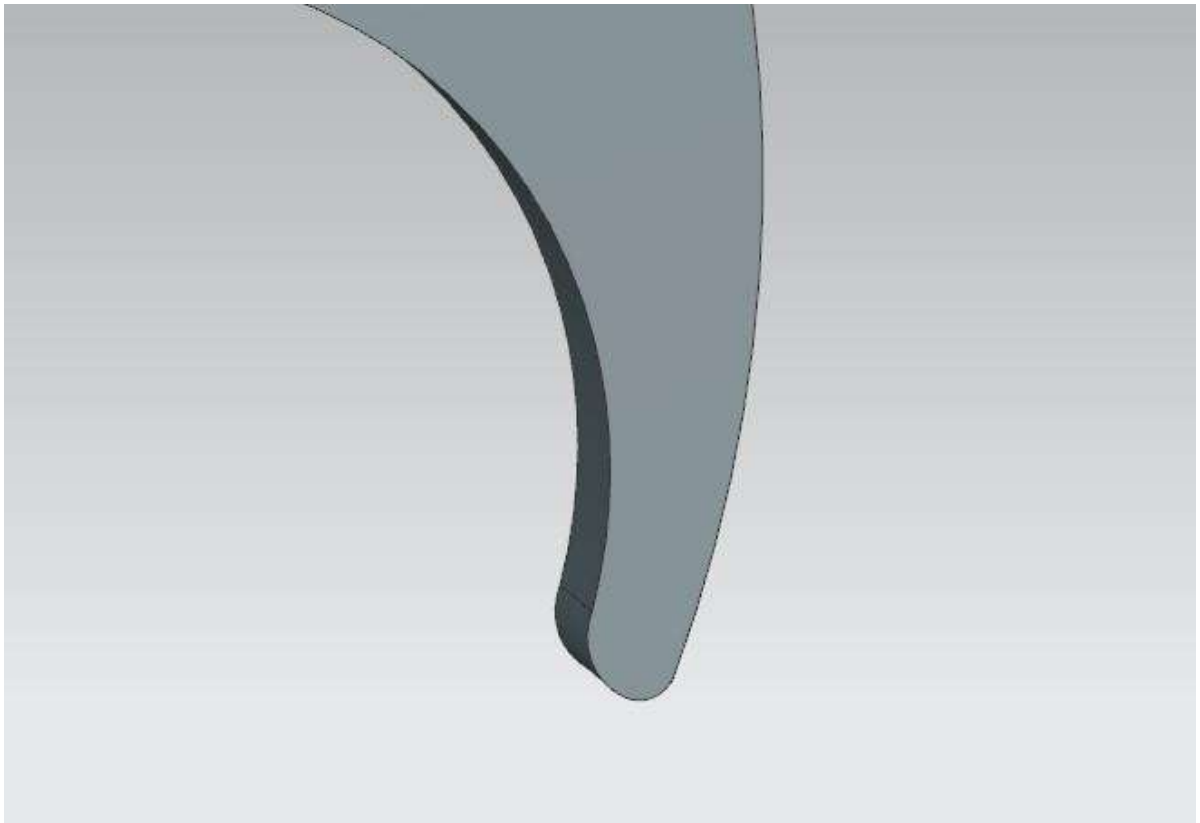


Рисунок 5.1 – 3D-модель профільного електроду-інструменту.

5.2 Аналіз попередніх наукових досліджень з використанням профільних електрод-інструментів

У роботі [12] в якості електрода використовується мідно-вольфрамовий електрод. Різні розміри і форми (непрофільна та профільна) електродів, що використовувалися для експериментів, показані на рис. 5.2 та 5.3. Квадратні отвори були оброблені електроерозійним методом на глибину 1 мм. Електроди А (не профільний) і В (профільний) мають однакову площу обробки (15×15 мм) з різними формами хвостовиків 750 мм^2 і 350 мм^2 відповідно. Електроди А' (не профільний) і В' (профільний) мають однакову площу обробки (5×5 мм) з різною формою хвостовика 250 мм^2 і 115 мм^2 відповідно. Властивості мідно-вольфрамових електродів наведені в таблиці 5.1.

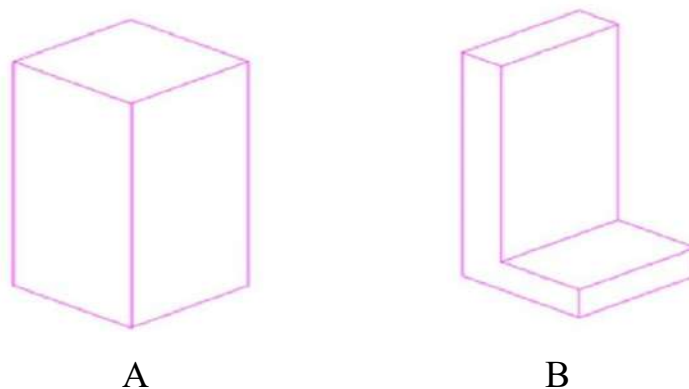


Рисунок 5.2–Електроди А і В з однаковою площиною обробки (15×15 мм) з різними площинами поперечного перерізу хвостовика для А = 750 мм^2 і для В = 350 мм^2 [12]

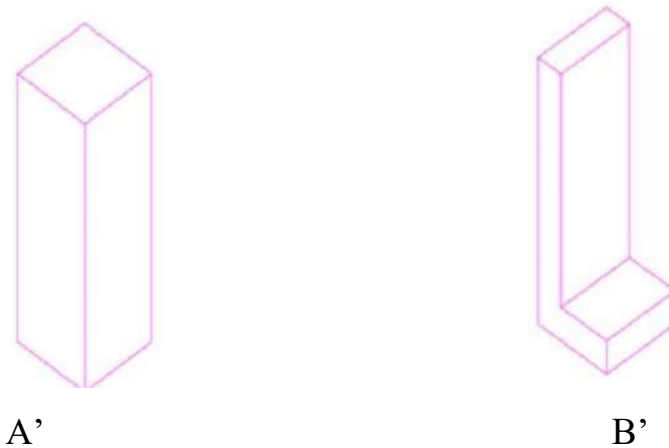


Рисунок 5.3 – Електроди А' і В' мають однакову площу обробки (5×5 мм) з різною площею поперечного перерізу хвостовика для А' = 250 мм^2 і для В' = 115 мм^2 [12].

Таблиця 5.1 – Властивості мідно-вольфрамового електрода [12]

Питомий електричний опір	Електро-провідність	Тепло-провідність	Температура плавлення	Питома теплоємність	Питома вага
$3.2 \text{ мк}\Omega\text{см}$	55% IACS	240 Вт/мК	3500°C	$251 \text{ кДж/кг}^\circ\text{C}$	15.2 г/см^3

Матеріал заготовки, обраний для цього дослідження, - титановий сплав, хімічний склад якого наведено в таблиці 5.2. Для експерименту використовували Mitsubishi EX22 модель C11E FP60E (рис. 5.4), з вуглеводневим маслом в якості діелектричної рідини. Для цього дослідження було проведено шістнадцять експериментальних циклів, з кожним електродом по чотири експерименти. Параметри обробки, що використовувалися для експериментів, - це сила струму (I), час включення імпульсу ($I_{\text{вкл}}$) і час вимикання імпульсу. Шорсткість поверхні титанової заготовки досліджували за допомогою приладу для вимірювання текстури Mitutoyo (рис. 5.5). MRR оцінювали відношенням об'єму матеріалу, знятого з заготовки, до часу обробки. У таблиці 5.3 показані параметри обробки і результати, отримані для кожного електрода.

Таблиця 5.2 – Хімічний склад титанового сплаву (%)

Al	C	H	Fe	N	O	Ti	V
6,0	0,08	0,015	0,25	0,05	0,2	Залишок	4,0



Рисунок 5.4 – Електроерозійний верстат з ЧПК Mitsubishi EX22 модель C11E FP60E [14]



Рисунок 5.5 – Портативний тестер шорсткості поверхні SJ-210 [15]

Таблиця 5.3 –Параметри обробки та результати, отримані для електрода різних електродів.

№ п.п.	Струм (I)	Час включення, мкс	Шорсткість Ra, мкм	Швидкість зняття матеріалу MRR, г/хв
Електрод А				
1	3,5	4	2,53	0,246
2	3,5	6	3,2	0,588
3	1,5	6	2,72	0,164
4	1,5	4	1,75	0,07
Електрод В				
5	3,5	4	2,27	0,312
6	3,5	6	3,41	0,626
7	1,5	6	2,57	0,145
8	1,5	4	2,01	0,073
Електрод А'				
9	1,5	6	2,9	0,622
10	3,5	4	3,19	0,904
11	3,5	6	3,33	0,243
12	1,5	4	2,05	0,095
Електрод В'				
13	3,5	4	3,2	0,387
14	3,5	6	3,49	1,378
15	1,5	4	2,34	0,158
16	1,5	6	2,5	0,22

З результатів, отриманих для електродів А і А' (таблиця 5.3) при однакових параметрах обробки, видно (рис. 5.6, 5.7), що найвище і найнижче значення Ra, отримане для електрода А, становить 3,2 мкм і 1,75 мкм відповідно. Для електрода А' найбільше значення Ra становить 3,33 мкм, а найменше - 2,05 мкм. Крім того, результати Ra, отримані для електродів В і В', показують, що електрод В має Ra 3,41 мкм і 2,01 мкм для найвищого і найнижчого значень відповідно. Електрод В' має найбільше значення Ra 3,49 мкм і найменше значення Ra 2,34 мкм. З аналізу Ra видно, що електроди А' і

В' з площею обробки 5×5 мм мають вищу шорсткість поверхні порівняно з електродами А і В (з площею поперечного перерізу 15×15 мм) з тими ж параметрами обробки. При однакових параметрах обробки найвища MRR, отримана для електрода А, становить 0,588 г/хв, тоді, як найнижча MRR - 0,07 г/хв. Для електрода А' зафіксовано найвищу та найнижчу MRR 0,904 г/хв та 0,095 г/хв відповідно. Найвищі значення MRR, отримані для електродів В і В', становлять 0,626 г/хв і 1,378 г/хв відповідно, тоді, як найнижчі значення MRR, зареєстровані для електродів В і В', становлять 0,073 г/хв і 0,158 г/хв відповідно. Вплив площі поперечного перерізу електродів на MRR подібний до впливу Ra. MRR для електродів А' і В' вищі, ніж для електродів А і В відповідно. З наведеного вище аналізу Ra і MRR видно, що Ra і MRR зростають зі збільшенням струму і часу. Збільшення струму призводить до більшого теплового навантаження на електрод і заготовку, що призводить до високої величини MRR. Цей високий MRR призведе до великого розміру кратера, а отже, до шорсткої обробки поверхні.

Вплив різних форм електродів на шорсткість поверхні (Ra) та швидкість зняття матеріалу (MRR) Електрод А (з площею поперечного перерізу хвостовика 750 мм^2) має найвищі та найнижчі значення Ra 3,2 мкм та 1,75 мкм відповідно (таблиця 5.3 та рис. 5.6), тоді, як 3,41 мкм та 2,01 мкм є найвищими та найнижчими значеннями Ra, зафіксованими для електрода В (з площею поперечного перерізу хвостовика 350 мм^2) (таблиця 5.3 та рис. 4).

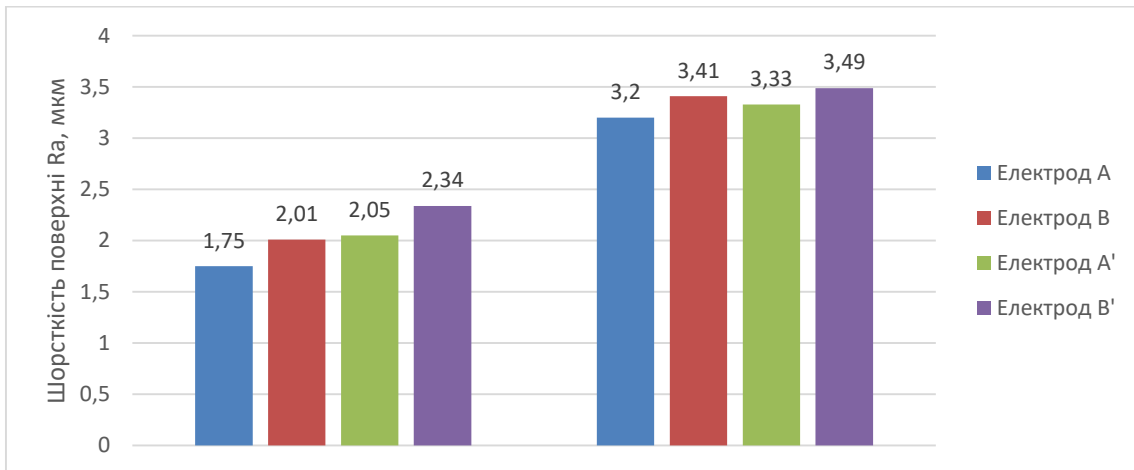


Рисунок 5.6 – Аналіз найнижчих і найвищих значень Ra для електродів А, В, А' і В'.

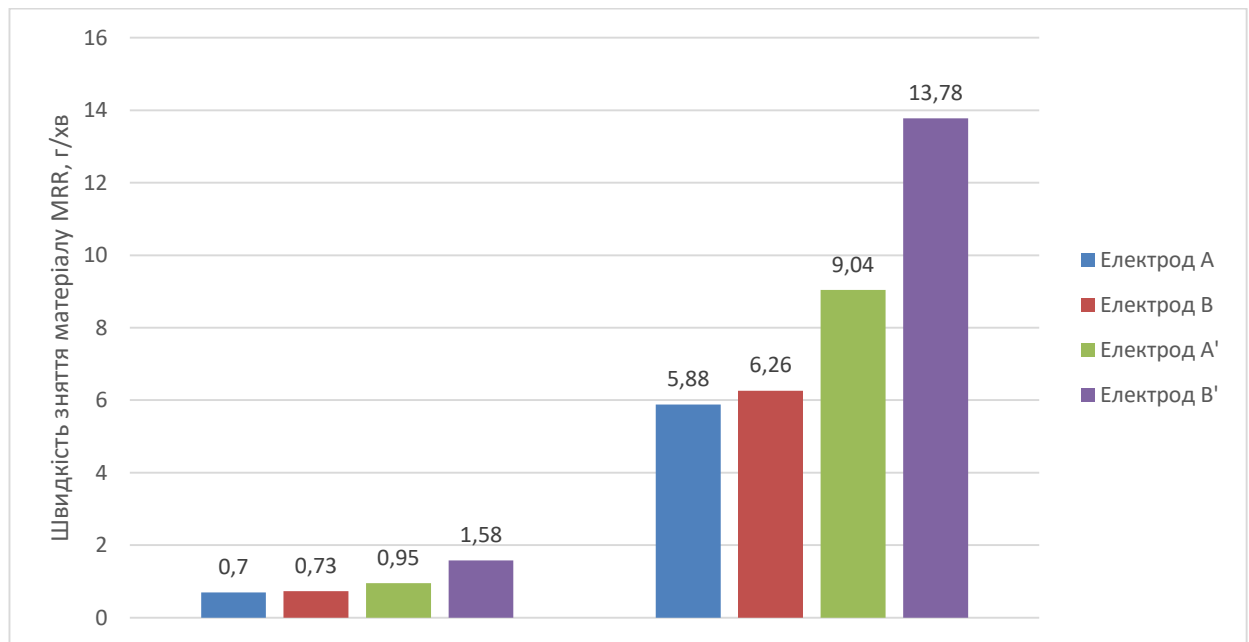


Рисунок 5.7 – Аналіз найменших і найбільших значень MRR для електродів А, В, А' і В'

Що стосується MRR, то для електрода А найбільше значення MRR становить 0,588 г/хв, а найменше - 0,07 г/хв. Найвище і найнижче значення MRR, отримане для електрода В, становить 0,626 г/хв і 0,073 г/хв. З наведеного вище аналізу видно, що електрод В з меншою площею поперечного перерізу хвостовика 350 мм² має найвищі значення Ra і MRR порівняно з електродом А (рис. 5.6, 5.7). Розглядаючи електроди А' і В' з площею поперечного перерізу

хвостовика 250 мм^2 і 115 мм^2 відповідно, можна побачити (таблиця 5.3), що електрод А' зафіксував 3,33 мкм і 2,05 мкм для найвищого і найнижчого Ra відповідно. Найвище і найнижче значення Ra для електрода В' становить 3,49 мкм і 2,34 мкм відповідно (таблиця 5.3). 0,904 г/хв і 0,095 г/хв - це найвищі і найнижчі значення MRR для електрода А', тоді, як для електрода В' зареєстровані найвищі значення 1,378 г/хв і найнижчі значення 0,158 г/хв для MRR. Можна помітити, що вплив площі поперечного перерізу хвостовика електродів на MRR подібний до впливу на Ra при порівнянні площ хвостовиків. Як Ra, так і MRR, отримані для електрода В', є вищими, ніж для електрода А' (рис. 5.6, 5.7).

Процес електроерозійної обробки здійснюється за допомогою високих локальних напруг, що призводить до високих температур, які спричиняють плавлення і випаровування, як матеріалу заготовки, так і матеріалів електродів. На шорсткість поверхні і MRR заготовки впливають розмір, тип і властивості обох електродів [13]. Збільшення значень Ra і MRR для електрода А' порівняно з електродом А може бути наслідком того, що його (електрода А') ерозійний кінець менший порівняно з електродом А. Зі збільшенням струму і часу ввімкнення електрод А' через малу площу ерозії зазнає більшого теплового навантаження порівняно з електродом А, і зі збільшенням часу ввімкнення з 1,5А до 3,5А в електрод передається більше тепла. Це призводить до того, що розряди вдаряють по поверхнях двох електродів більш інтенсивно, що призводить до видалення більшої кількості матеріалу з заготовки та електрода. Чим більше матеріалу знімається з двох електродів в результаті погіршення ерозійного ефекту, тим більше погіршується шорсткість поверхні заготовки. Крім того, матеріал, еродований з обох електродів, зазвичай не повністю вимивається з зазору, що також сприяє погіршенню якості поверхні внаслідок більшого MRR від заготовки з електродом А'. У випадку електродів, що мають однакову площу на кінці ерозії, але різну форму (електроди А і В та електроди А' і В'), можна помітити, що електроди В і В' з Г-подібним хвостовиком мають найвищі значення Ra і MRR у порівнянні з електродами А

і A' з квадратним хвостовиком. Збільшення значень Ra і MRR для електродів B і B' при збільшенні струму і часу пояснюється тим, що теплова енергія не може легко виходити через хвостовик електрода при зменшенні площі його поперечного перерізу (електрод B і B'). В результаті, більше енергії доступно для розплавлення і випаровування матеріалу заготовки і викликає більшу MRR в порівнянні з електродами A і A'. Інтенсивний MRR залишає більше кратерів на робочій поверхні, що призводить до більш високого Ra.

В роботі [12] було проведене експериментальне дослідження впливу площі обробки та хвостовика електрода на Ra та MRR при електроерозійній обробці титанового сплаву. Параметрами обробки, що використовувалися для дослідження, були сила струму, час ввімкнення та вимкнення, а характеристиками обробки - Ra та MRR. На основі результатів експерименту було зроблено наступні висновки:

1. Різні форми електродів впливають на шорсткість поверхні та швидкість знімання матеріалу під час електроерозійної обробки титанового сплаву.
2. Чим менша еродуюча частина електрода, тим гірша шорсткість поверхні і тим швидший процес електроерозійної обробки.
3. Кращої якості поверхні можна досягти, використовуючи низькі значення струму і своєчасну подачу електрода електродом з великою площею ерозії.

5.3 Приклад застосування профільного електрод-інструмента за допомогою обладнання ONA

У роботі [16] розглядаються дослідження на основі RSM (методологія поверхні відгуку) для вивчення впливу різних форм інструменту, типу трикутна, квадратна, прямокутна і кругла, з урахуванням розмірного фактору, на процес електроерозійного травлення в раковині. Експерименти були

сплановані відповідно до CCD (центральна композитна конструкція) і розроблені математичні моделі другого порядку для встановлення взаємозв'язку між параметрами процесу (струм розряду, час увімкнення імпульсу, час вимкнення імпульсу і площа інструменту) і відгуками (MRR і TWR (швидкість зношування інструменту)). Для перевірки відсутності розбіжностей та адекватності розроблених моделей використовувався дисперсійний аналіз (ANOVA) разом з критерієм Фішера (F-критерій) з 95% довірчим інтервалом. На основі результатів експериментів зроблено наступні висновки в межах обраних діапазонів технологічних параметрів.

Основні ефекти параметрів процесу, такі, як струм розряду, час входу імпульсу, час виходу імпульсу, ефект вищого порядку від часу входу імпульсу та ефект взаємодії струму розряду та часу входу імпульсу, мають значний внесок у MRR.

1. Параметри процесу, такі, як струм розряду, тривалість імпульсу, площа інструменту, ефекти вищого порядку струму розряду та тривалості імпульсу, а також ефекти взаємодії струму та тривалості імпульсу, струму та площі інструменту, тривалості імпульсу та площі інструменту мають значний вплив на величину TWR.

2. MRR зростає лінійно, тоді, як TWR зростає нелінійно зі збільшенням струму розряду.

3. Спочатку MRR збільшується зі збільшенням тривалості імпульсу, а потім починає зменшуватися зі збільшенням тривалості імпульсу. З іншого боку, TWR раптово зменшується зі збільшенням тривалості імпульсу на початку, а потім починає повільно зменшуватися і залишається постійним при більшій тривалості імпульсу.

4. MRR майже лінійно зростає зі збільшенням тривалості вимкнення імпульсу, а TWR лінійно зменшується зі збільшенням площі інструменту.

З дослідів [16] видно, що найкращою формою інструменту з урахуванням розмірного фактору для вищого MRR і нижчого TWR є круга, за якою йдуть трикутний, прямокутний і квадратний поперечні перерізи.

За допомогою власних верстатів, профільних електродів (рис.5.8) та експертних знань компанія ONA [11], досягла лідерства на ринку та значних успіхів з розробки турбінних робочих коліс роторного обладнання (рис. 5.9) за допомогою технологій EDM.

Ґрунтуючись на кресленнях, потребах, команда ONA оцінила придатність використання технології електроерозійної обробки штампом для обробки геометрично складних деталей, таких, як робочі колеса.



Рисунок 5.8 – Зображення індивідуальної програми від ONA для обробки робочих коліс [11]

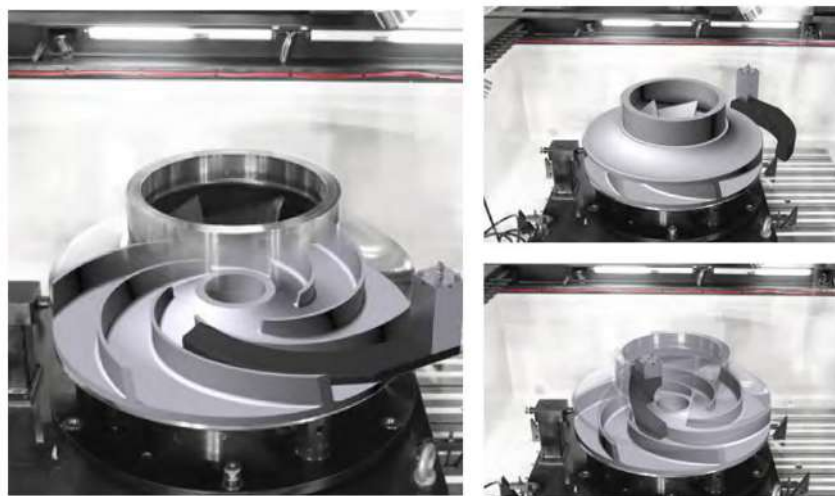


Рисунок 5.9 – Моделювання процесу електроерозійної обробки робочих коліс на верстаті ONA [11]

5.4 Розрахунок трудомісткості електроерозійної операції

Одержуємо основний час, за формулою, [17] (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.

Одержуємо 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 [17];

S – площа проекції поверхні, що обробляється на площину, перпендикулярну напрямку подачі, що дорівнює площі профільного електрод-інструменту (рис. 5.10).

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

$$V_{\text{и}} = \frac{266,7}{37,12} = 7,185 \text{ мм/хв}$$

$$t_0 = \frac{3}{7,185} \cdot 40 = 16,72 \text{ хв}$$

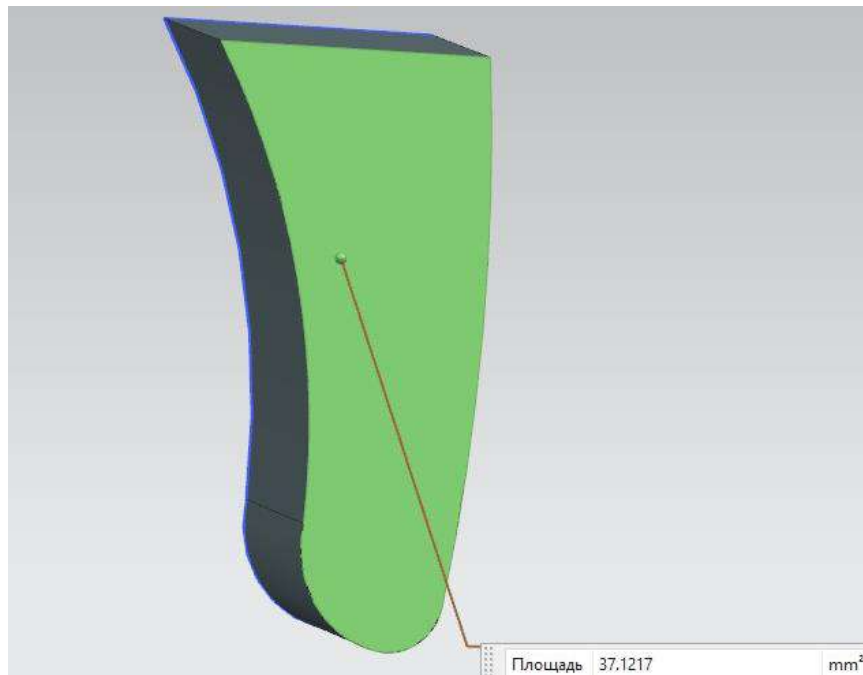


Рисунок 5.10 – Площа проекції поверхні, що обробляється на площину, перпендикулярну напрямку подачі

Допоміжний час для обробки одного отвору складається з наступних складових [17]:

1. Встановити/зняти деталь в пристосування 0,5 хв;
2. закрити/відкрити ванну верстату 0,08 хв;
3. заповнити ванну робочою рідиною 0,3 хв;
4. ввімкнути/вимкнути верстат 0,04 хв;
5. підвести електрод 0,1 хв, до 40тка отворів – 4 хв;
6. ввімкнути/вимкнути обробку 0,04 хв;
7. злити робочу рідину 0,3 хв.

$$t_{\text{доп}} = 5,26 \text{ хв.}$$

Одержуємо оперативний час за формулою (1. 31):

$$t_{\text{оп}} = 16,72 + 5,26 = 21,98 \text{ хв}$$

Одержуємо прибавочний час за формулою (1. 32):

$$t_{\text{ПР}} = 15\% \cdot 21,98 = 3,297 \text{ хв}$$

Одержуємо штучний час за формулою (1. 33):

$$t_{\text{шт}} = 21,98 + 3,297 = 25,277 \text{ хв}$$

Одержуємо штучно-калькуляційний час за формулою (1. 35):

$$t_{\text{шт-к}} = 25,277 + 28/40 = 25,977 \text{ хв}$$

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Розрахунок оцінки очікуваної економічної ефективності розробки електроерозійної операції, з метою отримання складних поверхонь профільним електродом-інструментом на деталі типу «Гребінка», порівняно з трьома механічними операціями (вирубкою отворів, правкою отворів та ручним поліруванням металевими щітками) може бути обґрунтований рядом переваг, які включають технічні та економічні переваги, наприклад:

- швидкість та продуктивність. Електроерозійна обробка може бути значно швидшою порівняно з механічними операціями, особливо при роботі з отриманням складних поверхонь. Зменшення часу обробки може привести до підвищення загальної продуктивності виробництва;

- точність та якість. Електроерозійна обробка дозволяє досягати високої точності та якості обробки, особливо при роботі з деталлю типу «Гребінка» та отриманням її складних поверхонь. Зменшення впливу механічних сил може сприяти уникненню деформацій та інших дефектів;

- енергоефективність. У випадку електроерозійної обробки може виявитися менше втрат енергії порівняно з механічними операціями, оскільки уникненні механічні сили та тертя;

- мінімізація витрат на інструменти. Електроерозійна обробка може зменшити необхідність у частій заміні інструментів порівняно з механічними операціями, що може знизити витрати на обслуговування;

- гнучкість та автоматизація. Електроерозійні машини легко програмовані для автоматизованої роботи, що сприяє підвищенню гнучкості виробництва та зниженню залежності від втручання оператора.

В базовому ТП для отримання складних поверхонь отворів було три механічні операції, а саме вирубка отворів (прес двох кривошипний механічний КА3732), правка отворів (прес гідравлічний П6328Б) та ручне

поліруванням, яке виконувалося металевими щітками. В новому ж ТП замість трьох механічних операцій отримання складних поверхонь на деталі «Гребінка» відбувається завдяки електроерозійній операції на дротяно-вирізному верстаті ONA AV35.

Загалом, наступний розрахунок оцінки очікуваної економічної ефективності [18] враховує ці фактори для визначення оптимального вибору між електроерозійною та механічними обробками.

Одержуємо заробітну плату відрядників за тарифом, за формулою (6.1):

$$З_0 = \sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт_i} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц} \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі (таблиця 6.1);

$t_{шт_i}$ – норма штучного часу виконання і-ої операції, год (таблиця 6.1)

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [18, т.А.1, с.33];

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERCLOCKING-верстатному обслуговуванні [18, т.2.1, с.13];

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує дод. заробітну плату [18, с.13];

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [18, с.13].

Одержуємо основну та додаткову заробітну плату всіх інших робітників, за формулою (6.2):

$$З_н = \frac{C_{тар.н} \cdot \Phi_p \cdot Ч_н \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{тар.н}$ – годинна тарифна ставка, грн. [18, т.А.1, с.33];

Φ_p – річний фонд часу, год [18, с.13];

$Ч_н$ – чисельність робітників відповідної категорії, чоловік.

Одержуємо амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби 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 обл-ня (оснащення) на i -ій операції, грн. (таблиця 6.1);

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обл-ня (оснащення) на i -ій операції (т. 6.1);

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

$F_{\text{д}}$ – дійсний (ефективний) фонд часу роботи обл-ня, год.

Одержуємо витрати на інструмент за формулою (6.4):

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ініj}} \cdot t_{\text{шт-кіj}} \cdot \eta_{\text{м}}}{T_{\text{іj}} \cdot (n_{\text{іj}} + 1)}, \quad (6.4)$$

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

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

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

$T_{\text{іj}}$ – період стійкості j -го виду інст-ту на i -ій операції, хв [18, т.3.8, с.22];

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на i -ій операції [18, т.3.8, с.22];

$n_{\text{іj}}$ – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту [18, т.3.8, с.22].

Одержуємо витрати на технологічну електроенергію за формулою (6.5):

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_w \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_B} \cdot \text{Ц}_e, \quad (6.5)$$

де N_B – встановлена потужність головного електродвигуна верстата, кВт (таблиця 6.1);

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [18, с.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [18, с.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [18, с.16];

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [18, с. 16];

Ц_e – вартість 1 кВт·год електроенергії (тариф для підприємств – 3,45 грн. за 1 кВт·год).

Одержуємо витрати на ремонт та обслуговування обл-ня за формулою (6.6):

$$S_p = \frac{\text{Ц}_{\text{то}} \cdot K_p \cdot C_p}{N}, \quad (6.6)$$

де $\text{Ц}_{\text{то}}$ – залишкова вартість обл-ня, грн.

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [18, с.16].

Одержуємо витрати на ремонт та обслуговування обл-ня за формулою (6.7):

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

де φ – коефіцієнт, що враховує поломку інструменту [18, с.16];

$C_{\text{гн}}$ – середня годинна заробітна плата наладчиків, грн./год [18, т.А.1, с.32];

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту, хв [18, с.17];

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв (таблиця 6.1);

K_T – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучно-калькуляційному часі [18, с.17];

T_m – середня стійкість інструменту, хв [18, т.3.15, с.32];

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт., [18, с.17].

Одержуємо інші загальновиробничі витрати за формулою (6.8):

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

де k_{zag} – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [18, с.17].

Одержуємо розрахункову кількість потреби в обл-ні за формулою (6.9):

$$C_p = \frac{t_{шт-кi} \cdot N}{F_d \cdot k_v \cdot k_z \cdot 60} \quad (6.9)$$

де $t_{шт-кi}$ – штучно-калькуляційний час і-тої, операції ТП, хв;

N – програма випуску деталей, шт.;

F_d – дійсний фонд часу роботи обл-ня, год (при 1-змінній роботі–2007 год);

k_v – коефіцієнт виконання норм часу, [18, с.10];

k_z – коефіцієнт завантаження обладнання, [18, с.10].

Одержуємо фактичний коефіцієнт завантаження верстата за формулою (6.10):

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

де P – прийнята кількість робочих місць [18, с.10];

Таблиця 6.1 – Вихідні дані базового на нового ТП

Назва параметру	Варіанти технологічного процесу							
	Базовий						Новий	
Річна програма випуску деталей N	2000							
Назва операції	Вирубка	Правка	Контр. I	Слюсар.	Контр. II	Полірув.	Сверд	ЕЕО
Обл-ня	Прес КА3732	Верстак	Стіл	Верстак	Стіл	Полірувальник	JET JDP-10L-M	ONA AV35
Штучно-калькуляційний час $T_{шт-к}$, хв.	5,298	6,428	4,584	13,210	4,1304	2,532	3,77	25,977
Розряд верстатника	3	4	4	5	5	6	6	5
Розряд наладчика	-						5	5
Основний час t_{oi} , хв	9,52	34,205	4,12	15,83	3,37	82	2,8	16,72
Тарифна ставка верстатників, грн/год	51,7	57,5	57,5	65,1	65,1	76,6	65,1	76,6
Число змін m	2							
Оптова ціна верстата F, грн	570000	18000	21000	18000	21000	84930	10450	3480000
Число обл-ня, шт.	1							
Термін обслуговування обл-ня n, років	10	-					10	15
Норма амортизаційних відрахувань H_a %	14,2	7,7				10,9	14,2	14,9
Потужність електродвигунів, N	17	-				1,5	0,45	15

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

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

Таблиця 6.2 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій базового та нового ТП

Базовий ТП								
№ опер.	Найм. опер.	$T_{\text{шт-к, хв.}}$	C_p	$P, \text{чол}$	$\eta_{\text{зф}}$	O	$K_{\text{зоi}}$	$K_{\text{зо (доз)i}}$
050	Вирубка	19,1	0,178	1	0,178	4,49	4,49	8,21
055	Правка	68,000	0,634	1	0,634	1,26	1,26	6,87
060	Контроль I	8,04	0,075	1	0,075	10,67	10,67	18,52
065	Слюсарна	30,460	0,284	1	0,284	2,82	2,82	6,85
070	Контроль II	6,402	0,060	1	0,060	13,33	13,33	13,33
075	Полірування	164,240	1,530	1	1,530	0,52	0,52	6,85
						$\Sigma =$	33,09	60,63
Новий ТП								
045	Свердлильна	3,77	0,030	1	0,03	26,67	26,67	
055	ЕЕО	25,977	0,206	1	0,21	3,81	3,81	
						$\Sigma =$	15,24	

Загальний коефіцієнт закріплення операцій в базовому ТП $K_{\text{зоi}}=33,09/6=5,52$. Робочі місця з обладнанням, яке використовується на ділянці було дозавантажено подібними деталями (кільця, диски та ін.) та $K_{\text{зо (доз)i}}$ після їх дозавантаження $K_{\text{зо (доз)i}}=60,63/6=10,11$.

Одержуємо заробітну плату відрядників за тарифом, за формулою (6.1)

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника базового та нового ТП

Базовий ТП							
№ оп.	Назва операції	$T_{шт-к}$, хв.	$C_{тар,грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$K_б$	$З_o, грн$
050	Вирубка	19,1	51,7	1,2	1,4	1	27,649
055	Правка	68,000	57,5	1,2	1,4	1	109,480
060	Контроль I	8,04	57,5	1,2	1,4	1	12,944
065	Слюсарна	30,460	65,1	1,2	1,4	1	55,522
070	Контроль II	6,402	65,1	1,2	1,4	1	11,670
075	Полірування	164,240	76,6	1,2	1,4	1	352,262
							$\Sigma = 569,53$
Новий ТП							
045	Свердлильна	3,77	65,1	1,2	1,4	1	6,872
055	ЕЕО	25,977	76,6	1,2	1,4	0,65	36,215
							$\Sigma = 43,09$

Одержуємо основну та додаткову заробітну плату всіх інших робітників для верстату з ЧПК в новому ТП, за формулою (6.2).

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків за новим ТП

№ оп.	Назва операції	$C_{тар.н, грн}$	Φ_p , год	$Ч_n$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_n$, грн
055	ЕЕО	57,7	4015	1	1,2	1,4	3,82

Одержуємо амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби за формулою (6.3):

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент нового ТП

№ оп.	Назва операції	Т _{шт-к} , хв.	Вартість			Стійкість Т, хв	η _{мі}	S _{ін} , грн
			Тримач*, грн.	Інструмент*, грн.	Кількість інст-ту, шт.			
055	ЕЕО	11,382	20000	3300	1	35	0,64	32,235

Одержуємо витрати на ремонт та обслуговування обл-ня за формулою (6.7).

Таблиця 6.8 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом нового ТП

№ оп.	Назва операції	Т _{шт-к} , хв.	Т _о , хв.	Інструмент	С _{тар.н} , грн	Стійкість Т, хв	К _т	S _н , грн
025	ЕЕО	25,977	16,72	Електрод	57,7	35	0,64	1,529

Одержуємо витрати на технологічну електроенергію за формулою (6.5).

Таблиця 6.9 – Витрати на силову електроенергію базового та нового ТП

№ оп.	Назва операції	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 ,
050	Вирубка	19,1	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	13,59
055	Слюсарна	30,46	3,45	0,2	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	0,25
065	Полірування	164,24	3,45	1,5	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	110,45
										Σ = 124,29	
Новий ТП											
045	Свердлильна	3,77	3,45	15	0,8	0,6	0,6	1,08	0,85	1,1	0,002
055	ЕЕО	25,977	3,45	0,45	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	3,584
										Σ = 3,59	

Одержуємо інші загальновиробничі витрати за формулою (6.8).

Таблиця 6.10 – Витрати інші загальновиробничі базового та нового ТП

Базовий ТП				
№ оп.	Назва операції	З _о , грн	k _{заг}	I _н , грн
050	Вирубка	27,649	0,2	5,530
055	Правка	109,480	0,2	21,896
060	Контроль I	12,944	0,2	2,589
065	Слюсарна	55,522	0,2	11,104
070	Контроль II	11,670	0,2	2,334
075	Полірування	352,262	0,2	70,452
				Σ = 113,91
Новий ТП				
045	Свердлильна	6,872	0,2	1,374
055	ЕЕО	36,215	0,2	7,243
				Σ = 8,62

Одержуємо витрати на ремонт та обслуговування обл-ня за формулою (6.6).

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обл-ня базового та нового ТП

Базовий ТП					
1	2	3	4	5	6
№ оп.	Назва операції	Ц _{то} , грн	k _р , грн	C _р	S _р , грн
050	Вирубка	296400	0,02	0,178	0,528
055	Правка	9360	0,02	0,634	0,059
060	Контроль I	10920	0,02	0,075	0,008
065	Слюсарна	9360	0,02	0,284	0,027

Продовження таблиці 6.11

1	2	3	4	5	6
070	Контроль II	10920	0,02	0,06	0,007
075	Полірування	44163,6	0,02	1,53	0,676
					$\Sigma = 1,305$
Новий ТП					
045	Свердлильна	5434	0,02	0,03	0,002
055	ЕЕО	1809600	0,02	0,206	3,728
					$\Sigma = 3,73$

Таблиця 6.12 – Порівнювальні параметри технологічної собівартості, грн.

Порівнювальні параметри	Варіанти ТП	
	Базовий	Новий
Заробітна плата, верстатника Z_o	569,53	43,09
Заробітна плата наладчика, Z_n	—	3,82
Відрахування на амортизацію обл-ня, $A_{від}$	5,97	36,01
Витрати на ремонт та обслуговування обл-ня, S_p	1,305	3,73
Витрати на різ. інструмент, $S_{ін}$	53,313	92,235
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом, S_n	—	1,529
Витрати на електроенергію, S_e	124,29	18,67
Витрати інші, I_n	113,91	8,62
Технологічна собівартість, C_T	868,32	202,246

Одержуємо умовний економічний ефект за формулою (6.12).

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

де $C_{1/2}$ – собівартість деталі базового та нового ТП, відповідно грн.;

$$E_{yp} = (868,32 - 202,246) \cdot 2000 = 1371020 \text{ грн.}$$

Впровадження проєктних операцій призвело до зменшення витрат на суму 1371020 гривень, щорічно. Це свідчить про ефективне використання ресурсів, оптимізацію процесів та уникнення непродуктивних витрат. Впроваджені технологічні заходи виявилися успішними, що дозволило підвищити ефективність виробничого процесу. Це включаючи автоматизацію, оптимізацію робочих процесів та використання передових технологій.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Шум супроводжує будь який виробничий процес. У механічному цеху його наявність є результатом роботи технологічного обладнання, переміщення заготовок та деталей від однієї операції до іншої, переміщення вантажів за допомогою кран-балки або крану. Крім того, процес спілкування людей також супроводжується звуками різного тембру, частоти, інтенсивності та тривалості. Шум може також проникати в приміщення із зовні. Негативний вплив шуму залежить від терміну його впливу, тобто, є він постійним чи імпульсивним, від частоти (високочастотний звук має більшу проникаючу здатність і сильніше впливає на людей, він здається більш гучним). Як свідчать дослідження, під впливом тривалого, систематичного шуму високого рівня, працездатність може зменшуватись на 40-50%, погіршується якість виконаної роботи, а кількість помилок в розрахункових роботах може збільшуватись в дві. Було проведено розрахунки і зазначено, що зменшення шуму всього на один дБ може стимулювати зріст працездатності на 0,3-0,5% і впливати на рівень прибутку. Але найголовнішим є його негативним вплив на здоров'я людини. Впливаючи на емоційний стан людини, звуки викликають роздратованість, погіршують психічні реакції, а це може стати причиною травмування під час виконання професійних обов'язків. Як правило, усі добре усвідомлюють вплив шуму на слуховий апарат і не звертають увагу, що шум може стати причиною захворювань шлунку та кішківника, підвищувати артеріальний тиск.

Для прогнозування, яким буде рівень шуму на ділянці, де експлуатується декілька верстатів та виконується обробка деталей на різних режимах, необхідно комплексна інформація, а саме: необхідно знати рівень шуму відповідно паспортних характеристик обладнання (таблиця 4.1), шум приводу двигуна, шляхи розповсюдження звуку та розміщення робочих місць співробітників. Крім постійного шуму, ще можливо виникнення імпульсного

шуму, що виникає в процесі переміщення деталей або обладнання, правки чи обрубки металевих листів, операції клепання, включення пневмо- і гідросистеми.

Таблиця 7.1 – Рівні шуму на ділянці в механічному цеху

Вид обладнання	Сумарний рівень звукового тиску, дБА	Різниця між допустимим і фактичним значенням	Термін дії
Токарно-фрезерний	84	4	постійно
Токарний верстат з ЧПК	82	5	постійно
Вертикально-свердильний	82	2	постійно
плоскошліфувальний	81	1	постійно
Внутрішньо-шліфувальний	84	4	постійно
Універсальний полірувальний	76	-4	постійно
Токарний гвинторізний	85	5	періодично
Фрезерно-свердильний з ЧПК	83	3	постійно
Робота кран-балки	83	2	періодично
Загальна вентиляційна система	76	-4	постійно
Місцева вентиляція	77	-3	періодично
Обдув стислим повітрям (супроводжується високочастотним шумом)	93	13	періодично
електродвигуни	Спектр 30-110		періодично

Визначимо рівень шум, що виникає при роботі однакового по характеристикам обладнання [19]:

$$L = L_i + 10 \lg n, \quad (7.1)$$

де: L_i -рівень шуму i -го джерела;

n - кількість однакових джерел шуму.

Орієнтуючись на значення, що наведено в таблиця 7.1, розрахуємо шум, що може виникнути під час обробки деталей:

$$L_1 = 83 + 10 \lg 2 = 86,01 \text{ дБ}$$

$$L_2 = 84 + 10 \lg 2 = 87,01 \text{ дБ}$$

$$L_3 = 85 + 10 \lg 1 = 85 \text{ дБ}$$

$$L_4 = 76 + 10 \lg 2 = 78,01 \text{ дБ}$$

Враховуючи, що в умовах механічного цеха одночасно працюють верстати з різним рівнем шуму, то для визначення шуму, що може виникнути під час роботи верстатів їх рівні додаються послідовно починаючи з максимального, таблиця 7.2 [20]:

$$L = L_{\max} + P, \quad (7.2)$$

де: $L_{\max}$ - максимальне значення шуму відповідного обладнання, дБ;

P - добавка, що залежить від різниці рівнів шуму двох джерел, дБ.

Якщо різниця в рівнях шуму між двома джерелами становить більше ніж десять дБ, то джерело шуму з меншим значення не враховується. Шум, що супроводжує роботу загальної та місцевої вентиляційної системи не враховується тому, що має менше ніж нормативне значення (ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку»), що для виробничих приміщень становить 80дБ.

Таблиця 7.2 – Додавання рівнів звукової потужності

Різниця рівня шуму двох джерел	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	15
добавка, Р дБ	3	2.5	2.0	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.2

Для визначення сумарного розрахункового рівня шуму, визначимо спочатку значення поправки, враховуючи, що різниця становить:

$$P = L_1 - L_4 = 87,01 - 78,01 = 9 \text{ дБ}$$

Враховуючи рекомендації науково-практичних досліджень[19] рівню шуму в 9дБ відповідає добавка в 0.5 дБ. Враховуючи максимальне значення рівня шуму ($L_2 = 87,01\text{дБ}$), то потенційно можливий розрахунковий рівень шуму, що супроводжує механічну обробку деталей може становити 87,51дБ.

Для оцінки можливості безпечно працювати в таких умовах порівнюємо результати з рекомендаціями ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», відповідно, яких для промислових приміщень нормативно допустим є рівень в 80дБа. Тобто показники шумового навантаження ($L=87,54\text{дБ}$) перевищують допустимі рівнів приблизно на 8дБ. Заходи для контролю рівня шуму в робочій зоні механообробного цеху приймаємо згідно вимог ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». [20].

Метод зменшення сили шуму на шляху його поширення - звукоізоляцію та звукопоглинання (стіни, загородки, перекриття з металу, товстого скла, цегли, залізобетону, які покривають пористими матеріалами, шлакотою, пінополіуретаном, тканинами тощо) є найбільш ефективним.[21]. Над верстатами доцільно розташувати акустичні плити із шпаристо-волокнистого

матеріалу (скляне, базальтове волокно, мінеральна вата) в захисній оболонці із тканини з металевим напиленням. Акустична ефективність використання таких плит становить приблизно 5-8 дБ в середньо частотному звуковому діапазоні [21].

Для зменшення шуму електродвигунів металорізальних верстатів розміщуємо їх у звукоізолюючих кожухах. Боротьба із шумом, що виникає при взаємодії різального інструмента з оброблюваною заготовкою, має значні труднощі, оскільки зменшення інтенсивності режимів різання знижує продуктивність устаткування. [21].

ВИСНОВОК

У ході виконання магістерського проєкту було ретельно розроблено технологічний процес виготовлення деталі "Гребінка". Не лише вибрано відповідне обладнання та інструменти, а й проведено докладний аналіз режимів різання та норм часу. Було спроектовано робоче пристосування з мембранним патроном для токарної обробки та контрольне пристосування для контролю торцевого биття.

Важливим етапом проєкту стало розрахунок міцності деталі "Гребінка", що дозволило визначити параметри, спрямовані на підвищення її довговічності та ефективності. Крім того, була висунута пропозиція, щодо оптимізації геометрії даної деталі з метою подальшого вдосконалення її властивостей.

Запропоновано запровадити високоефективний електроерозійний верстат з високою точністю та швидкістю різання – ONAAV35 для автоматизації електроерозійної операції.

Розроблене з спецзавдання на тему "отримання складних поверхонь профільним електродом-інструментом електроерозійним методом". На основі цього завдання була проведена докладна оцінка трудомісткості електроерозійної операції та прогнозована економічна ефективність від її впровадження. Ці показники, підкреслюють важливість та перспективність використання електроерозійної обробки у виробництві.

Враховуючи всі аспекти проєкту, були розроблені та визначені конкретні заходи, щодо забезпечення безпечної роботи персоналу. Це додає стратегічну вагомість проєкту, вказуючи на його глибокий і комплексний підхід до вирішення завдань та впровадження новаторських технологій у виробництві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 7806:2015 ПРОКАТ ІЗ ЛЕГОВАНОЇ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ. Технічні умови.

2. 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.

3. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання/ Укл.: Гончар Н.В., Тумарченко Л.О. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 61 с.

4. 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.

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

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

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

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

9. Богуслаєв В. О. Верстатні пристосування/В. О. Богуслаєв, В. А. Леховіцер, А. С. Смірнов. – Запоріжжя: ОАТ «Мотор Січ», 2000. – 461 с.
10. Горошкин А.К. Приспособления для металлорежущих станков: Справочник.– 7-е изд., перераб. и доп.– М.: Машиностроение, 1979.–303 с.
11. ONA. WIRE-CUT EDM MACHINES ONA AV35 NEXT. Електронний ресурс: <https://onaedm.com/products/wire-edm/compact-av35/> (дата звернення 24.10.2023).
12. Zain, Z. M., Khan, A. A., & Abdulkareem, S. (2011). Influence of Electrode Profiles on Electrical Discharge Machining of Titanium. *Advanced Materials Research*, 264-265, 1205–1210. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.264-265.1205.
13. H. T. Lee and T. Y. Tai, Relationship between EDM parameters and surface crack formation *J. Mats. Proc. Techn.* Vol. 142, Issue 3, (2003) 676-683.
14. Poland - Factory Automation. Compact PLC family. Електронний ресурс: https://pl.mitsubishielectric.com/fa/pl_en/advanced-search?q=EX22&ct=document (дата звернення 26.10.2023).
15. Mitutoyo. SJ-210 – Portable Surface Roughness Tester. Електронний ресурс: <https://www.mitutoyo.com/products/form-measurement-machine/surface-roughness/sj-210-portable-surface-roughness/> (дата звернення 28.10.2023).
16. Sohani, M. S., Gaitonde, V. N., Siddeswarappa, B., & Deshpande, A. S. (2009). Investigations into the effect of tool shapes with size factor consideration in sink electrical discharge machining (EDM) process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 45(11-12), 1131–1145.
17. Проєкт технічного переозброєння цеху. Методичні рекомендації до курсового проєкту з дисципліни «Проєктування машинобудівного виробництва»/С.Г. Селіванов - УГАТУ, 2006. - 44с.
18. 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.

19. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с. : іл., таблиця ISBN 966-7760-09-X.
20. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку, [Електронний ресурс] : ДСН 3.3.6.037-99. – Чинний від 1999-12-01. – К. : МОЗ України, 1999.– URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>. – (Державні санітарні норми).
21. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
Перв. примен.										
						Документация				
					НУЗП 292234.021 СК	Складальне креслення				
						Сборочные единицы				
Стр. №										
				1		Пневмоцилиндр ГОСТ 15608-81	1			
						Детали				
Подп. и дата				2		Гайка	1			
				3		Корпус	1			
				4		Кулачок	6			
				5		Мембрана	1			
				6		Підпора	6			
				7		Стакан	6			
				8		Упор	3			
				9		Шпилька	1			
				10		Шток	1			
Взам. инв. №						Стандартные изделия				
				11		Гвинт з шестигранною головкою	6			
						М14х45 ГОСТ Р ИСО 4017				
Подп. и дата										
Инв. № подл.										
					НУЗП 292234.021					
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Мембранный патрон з пневмоприводом			Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Шищенко А.В.								1	2
Пров.	Кананов В.В.									
Н.контр.	Дядя С.І.							НУЗП каф. ТМБ		
Утв.	Дядя С.І.							гр. М-112м		
					Копировал			Формат А4		

ДОДАТОК Б Специфікація контрольного пристосування

		Перв. примен.			Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
		Формат	Зона	Паз						
Справ. №	Подп. и дата	Инв. № докл.	Взам. инв. №	Подп. и дата						
					A1		НУЗП 401386.021 СК	Складальне креслення		
								Детали		
						1		Вісь ролика	2	
						2		Втулка спеціальна	2	
						3		Гвинт упорний	1	
						4		Диск установчий	1	
						5		Ніжка велика	2	
						6		Ніжка мала	2	
						7		Основа	1	
						8		Перехідник	2	
						9		Перехідник – кільце	1	
						10		Пластина	2	
	11		Повзун	2						
	12		Ролик	2						
	13		Ручка	1						
	14		Стійка	1						
	15		Тримач	1						
	16		Штанга	1						
					Стандартные изделия					
				17		Гвинт 7006-0122 ГОСТ 12463-67	1			
				18		Гвинт М8-6dx40 ГОСТ 10336-80	2			
				19		Гвинт М4×14ГОСТ 14 91 80	4			
НУЗП 401386.021										
Инв. № подл.	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Универсальное контрольное приспособление для конт- ролю торцевого биття					
	Разраб.	Шищенко А.В.								
	Пров.	Кананов В.В.								
	Н.контр.	Дядя С.І.								
	Утв.	Дядя С.І.			Лист 1 Листов 2 НУЗП, каф. ТМБ М-112м					

Копировал Формат А4

[illegible]

Копировал

Формат А4