

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Розробка енергоефективного технологічного процесу виготовлення
форсунок авіаційних двигунів»

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

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

ДИМЕНСЬКИЙ О.Г.

(прізвище та ініціали)

Керівник ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Є.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент МАТЮХІН А.Ю.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, 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)**

ДІМЕНСЬКОГО Олексія Геннадійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Розробка енергоефективного технологічного процесу виготовлення форсунок авіаційних двигунів

керівник проекту (роботи) к.т.н, доц. ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Євген Валерійович,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «14» 11 2023 року №436

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 2.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=20000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Автоматизація; 4 Спеціальне завдання; 5 Розрахунок деталі на міцність; 6 Оцінка очікуваної ефективності заходів; 7 Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ та два листа автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання два листа

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к.т.н., доц. ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Є.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 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація	09.10.2023	
4	Розрахунок деталі на міцність	23.10.2023	
5	Спеціальне завдання	30.10.2023	
6	Економічний розрахунок	06.11.2023	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки, креслень, картт	27.11.2023	
9	Нормоконтроль і рецензія	04.12.2023	
10	Рецензія	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	15.12.2023	

Студент(ка)

_____ Олексій ДІМЕНСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ Євген ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 114 с., 48 рисунків, 7 таблиць, 3 додатки, 16 посилань.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЗАГОТОВКА, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА, МАРШРУТ ОБРОБКИ, МІЦНІСТЬ, ОСНАСТКА, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ФОРСУНКА, ПРИПУСК, ДОПУСК, ОПЕРАЦІЙНИЙ ЕСКІЗ, КВАЛІТЕТ, БАЗА, ІНСТРУМЕНТ, ТОЧНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ, РОЗМІР, ОБЛАДНАННЯ, ВЕРСТАТ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

Об'єкт дослідження – форсунка авіаційного двигуна.

Мета роботи – розробка енергоефективного технологічного процесу виготовлення форсунки авіаційного двигуна.

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

Магістерська робота містить наступні частини – технологічну, конструкторську, автоматизацію, спеціальне завдання, розрахунок на міцність, оцінку очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів, та розділ охорони праці.

У технологічній частині описано послідовність технологічного процесу, розрахунки припусків, режимів різання та норм часу. У конструкторській частині надані розрахунок та опис робочого та контрольного пристосування

В магістерській роботі проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, проаналізовано методи досягнення точності при виготовленні форсунки, запропоновані рекомендації та обладнання для виготовлення форсунки і заходи щодо автоматизації та механізації процесу, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	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	13
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	14
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	18
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	18
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	19
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	25
1.6 Розрахунок режимів різання	32
1.7 Розрахунок технічної норми часу	42
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має САМ-модуль	47
1.8.1 Розробка токарної операції	47
1.8.2 Розробка свердлильної операції	49
1.8.3 Розробка фрезерної операції	51
2 Конструкторська частина	53
2.1 Проектування робочого пристосування	53
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	53
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	54
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	58
2.2 Проектування контрольного пристосування	62
3 Автоматизація	67
3.1 Застосування промислових роботів при розробці енергоефективних технологічних процесів	67
4 Спеціальне завдання	78
4.1 Особливості електроерозійної обробки	78
5 Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі	92
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів	94
7 Охорона праці	104

Висновок	108
Перелік посилань	109
Додаток А. Специфікація на робоче пристосування	111
Додаток Б. Специфікація на контрольне пристосування	113

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГКМ	Горизонтально-кувальна машина
ДСТУ	Державний стандарт України
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
ППТЯ	Послідовність показників точності та якості
РТК	Розрахунково-технологічна карта
ЗВ	Засоби вимірювання
СНтП	Система норм та правил
ЗОР	Змашувальна охолоджувальна рідина
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
CAE	Computer-aided engineering

ВСТУП

Аналіз основних тенденцій науково-технічного прогресу в машинобудуванні свідчить, що найвищих результатів можна досягти розробкою та реалізацією нових науково-технічних ідей у галузі технологій матеріалів, техніки, а також створення сучасних гнучких структур організації автоматизованих машинобудівних виробництв.

Це продиктовано зростаючою конкуренцією продукції на ринку, необхідністю швидкого її оновлення, розширенням споживчих властивостей створюваної техніки задоволення зростаючого попиту, необхідністю забезпечення відповідності її параметрів вимогам міжнародних стандартів

У нинішніх умовах швидкого та постійного оновлення предметів споживання та машин, коли терміни підготовки виробництва та поставки на ринок нової продукції сильно скоротилися, а її конструктивна та виробнича складність, трудомісткість та вимоги до якості значно зростають, успішно функціонувати може підприємство нетрадиційного типу. Це виробництво має відповідати всім вимогам гнучкості та високої рентабельності. Ці вимоги, що становлять концепцію гнучкої автоматизації комп'ютерного виробництва, в основному полягає в наступному:

- нова продукція повинна створюватися, і запускатися у виробництво гранично короткий термін;
- нова продукція за якістю та споживчими властивостями повинна перевищувати раніше випускаєму і конкуруючу продукцію, користуватися активним попитом та повністю задовольняти замовника;
- виробництво нової продукції має бути не тільки гранично прибутковим та має працювати у режимі всебічного скорочення витрат та складських запасів, а також економії енергійних, матеріальних та інших ресурсів.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь обробку якої необхідно розробити – форсунка [1]. Форсунка авіаційного двигуна є важливою деталлю в авіаційних двигунах, його завдання полягає в тому, щоб постачати паливо відповідним чином до комбінації потужності двигуна і прискорення. Це дозволяє двигуну працювати на своїй оптимальній рівні потужності, надаючи максимальну продуктивність при найменших витратах палива.

Форсунка авіаційного двигуна має різні конструкції, типи і розміри. Залежно від типу двигуна, форсунка може бути простим поставником палива. Основні частини які входять до вузла форсунки авіаційного двигуна включають картридж, щільник, регулятор палива, клапан палива, реле палива, шланг, арматура та регулятор палива. Картридж є важливою частиною форсунки, він включає паливний регулятор, реле палива і підшипники. Картридж є необхідним для регулювання потоку палива до двигуна.

Щільник авіаційного двигуна відповідає за стискання палива, щоб підвищити швидкість та потужність двигуна. Регулятор палива використовується для керування потоком палива до двигуна. Клапан палива призначений для відключення палива до двигуна при небажаних обставинах. Реле палива використовується для керування потоком палива до двигуна за допомогою електричних сигналів. Шланги використовуються для передачі палива до двигуна. Арматура використовується для пов'язування шлангів та фітінгів. Регулятор палива використовується для керування потоком палива до двигуна.

Форсунка авіаційного двигуна є необхідною для забезпечення ефективної роботи авіаційних двигунів. Вона постачає паливо відповідним чином для надання максимальної продуктивності при найменших витратах палива. Форсунки авіаційних двигунів мають різні конструкції, типи і розмір.

Креслення деталі форсунка показано на рисунку 1.1.

Виливки з титанових сплавів надаються у ливарному виді без термічної обробки (можуть бути у відпаленому стані).

BT20Л – це титановий сплав, що застосовується у різних додатках. Він має високий ступінь міцності та пластичності, а також чудові корозійні властивості. Він має такі характеристики:

- В'язкість: BT20Л відноситься до середньої густини сплавів. Його в'язкість лежить у діапазоні від 10 до 110 МПа.
- Міцність: Міцність BT20Л у сухому стані варіюється від 0,2 до 0,7 GPa.
- Твердість: Твердість BT20Л може досягати 400 HV.
- Ударна в'язкість: Ударна в'язкість BT20Л лежить у діапазоні від 0,10 до 0,60 GPa.
- Корозійна стійкість: Корозійна стійкість BT20Л дуже висока, оскільки сплав щільно укріплений за допомогою алюмінію та паладію.
- Температура плавлення: Температура плавлення BT20Л лежить в діапазоні від 1650 до 1750°C.

Сплав BT20Л є високоміцним матеріалом, який використовується у виробництві різних деталей. Він надає довговічність, високу твердість та додану міцність при малих вагах. Сплав BT20Л є популярним матеріалом для виробництва деталей, що потребують доданої міцності та впливу різноманітних навколишніх факторів.

Сплав BT20Л має високий показник твердості і високу міцність при малих вагах. Також його можна підвищити за допомогою процесу оригінального гальванічного покриття, який може значно збільшити витривалість деталей. Цей матеріал також має добру оброблюваність, яка дозволяє його швидко обробляти за допомогою різання та зварювання.

Сплав BT20Л може використовуватися для різних металургійних приладів, таких як трансмісійні підшипники, механізми перемикачів, двигуни, генератори, редуктори, приводи, пневматичні прилади, двигуни для автомобілів, а також для виробництва деталей для авіаційної та космічної техніки. Він також може використовуватися для виробництва приладів, які потребують високої температури, наприклад, турбіни та двигуни для літаків.

В загальному, сплав BT20Л представляє собою надійний матеріал, який може використовуватися для виробництва різних приладів та деталей, які потребують високої твердості, міцності та довговічності. Він може бути легко оброблений та протистояти впливу різних навколишніх факторів, таких як високі температури, агресивні хімічні речовини та процеси корозії.

1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт

Вихідні дані

річна програма випуску..... $N=20000$ шт.

маса деталі..... $0,396$ кг

Розробка технологічного процесу обробки залежить від типу виробництва і форми його організації.

Тип виробництва визначається на основі різних критеріїв, таких як властивості виробленого товару, обсяг виробництва, тип матеріалів, тип використовуваної технології і т.д. Основні типи виробництва включають масове виробництво, малотоннажне виробництво, виробництво на замовлення та індивідуальне виробництво. Враховуючі вищезазначені критерії приймаємо крупносерійним тип виробництва.

Великосерійне виробництво – це виробництво, в якому використовуються масові методи виробництва, і в якому вироби виробляються у певних обсягах. Основні характеристики великосерійного виробництва включають наступне:

Застосування стандартизованих матеріалів та компонентів. У великосерійному виробництві використовуються стандартизовані матеріали та компоненти, які мають відповідати певним вимогам.

Висока автоматизація процесу. Великосерійні виробництва найчастіше автоматизовані, що дозволяє досягти вищої швидкості виробництва.

Використання продуктивності. У великосерійному виробництві використовується продуктивність, щоб максимізувати продуктивність та підвищувати якість виробів.

Використання стандартизованих процесів. Великосерійне виробництво використовує стандартизовані процеси, щоб підвищити продуктивність та ефективність.

Використання масових методів виробництва. Для великих обсягів товарів використовуються масові методи виробництва, такі як лінійне виробництво і методи масового виробництва.

Кількість деталей в партії можна визначити за формулою (1.1) [2]:

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

де a – періодичність запуску протягом року;

Φ – кількість робочих днів на рік (250 днів).

$$n = \frac{2 \cdot 20000}{250} = 160 \text{шт.}$$

Операції на робочих містах виконуються рівномірно та повністю завантажені одними й тими ж операціями та виробництво поточне.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Існує кілька методів лиття, які можуть бути використані для виготовлення форсунки із сплаву ВТ20Л. Ось декілька з них:

Лиття під тиском: цей метод полягає в тому, що розплавлений сплав змушується пройти через пористу форму за допомогою тиску. Це забезпечує більш високу точність розмірів і форми форсунки. Лиття під тиском використовують зазвичай для виробництва великих серій деталей.

Вакуумне лиття: цей метод лиття використовує розплавлений сплав, який заливається в форму в умовах вакууму. Це забезпечує зменшення кількості газів і пін у деталі, що знижує ймовірність появи дефектів. Вакуумне лиття часто використовують для виробництва невеликих серій деталей, де точність є важливим фактором.

Виконаємо порівняльний розрахунок між двома варіантами:

- Лиття під тиском (рис. 1.3).
- Вакуумне лиття (рис. 1.4);

Данні для розрахунку та визначення оптимального методу отримання заготовки деталі форсунка: маса - $Q = 0,0396$ кг; - норма виробітку: $N = 20000$ од.

Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.2) [2]:

$$\eta = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (1.2)$$

де $Q_{\text{дет}}$, $Q_{\text{заг}}$ – маса деталі та заготовки відповідно.

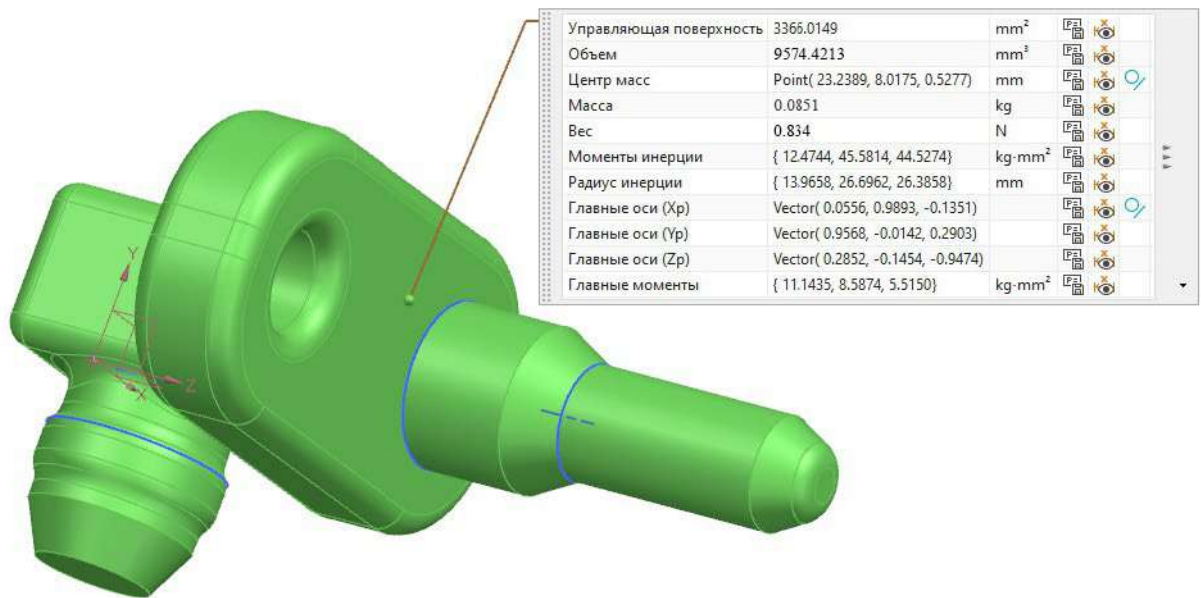


Рисунок 1.3 – Віртуальна модель заготовки отриманої вакуумним литтям

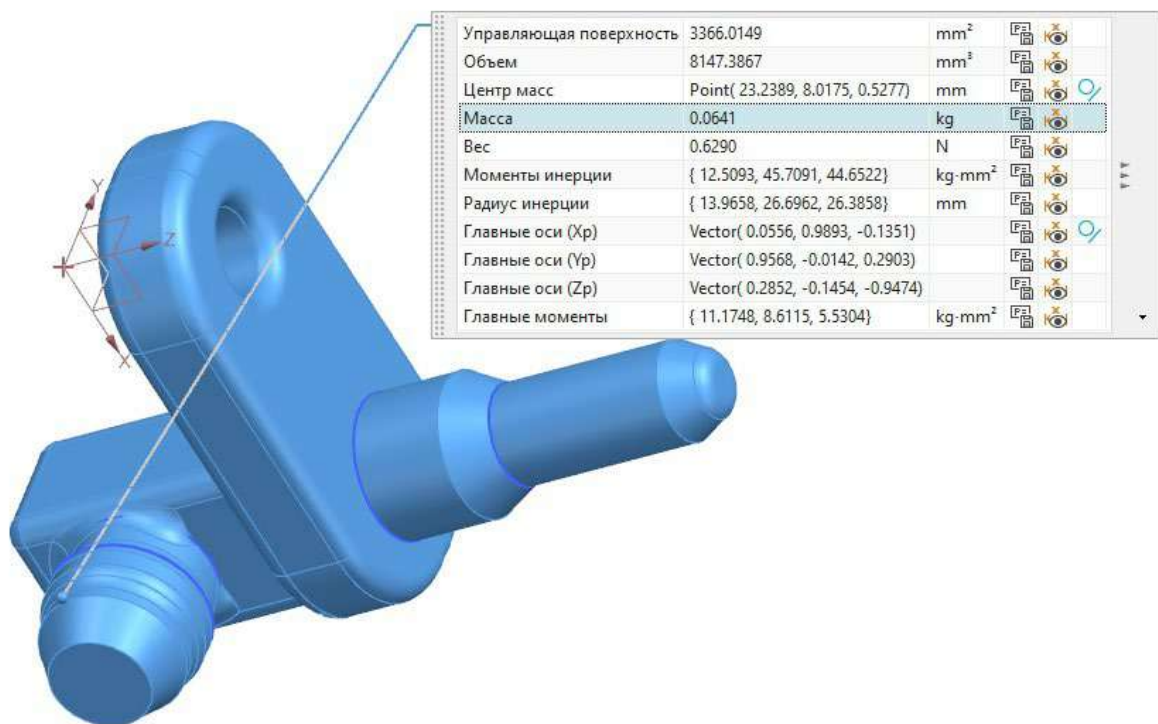


Рисунок 1.4 – Віртуальна модель заготовки отриманої литтям під тиском

$$\eta_{\text{вак лиття}} = \frac{0,0396}{0,0851} = 0,46.$$

$$\eta_{\text{лиття під тиском}} = \frac{0,0396}{0,0641} = 0,62.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою (1.3) [2]:

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.3)$$

де C_B – вартість 1 т заготовок, які отримані методом для якого проводиться розрахунок, грн;

$Q_{\text{заг}}$ – маса заготовки, кг;

K_T – коефіцієнт, що враховує точність заготовки [4, табл. 1.24, с. 18];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал [4, табл. 1.25, с. 18];

K_C – коефіцієнт, що враховує складність заготовки [4, табл. 1.26, с. 19];

K_B – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [4, табл. 1.27, с. 19];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску [4, табл. 1.28, с. 19];

S – вартість 1 т стружки, грн [4, табл. 1.5, с. 13].

$$\begin{aligned} C_{\text{вак лиття}} &= \frac{17850}{1000} \cdot 0,0851 \cdot 1 \cdot 1,21 \cdot 0,9 \cdot 1 - \frac{(0,0851 - 0,0396)}{1000} \cdot 172 \\ &= 1,64 \text{ грн.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{\text{лиття під тиском}} &= \frac{12300}{1000} \cdot 0,0641 \cdot 1 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1 - \frac{(0,0641 - 0,0396)}{1000} \cdot 172 \\ &= 0,86 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Ефективність впровадження більш раціонального методу отримання заготовки розраховуємо за формулою (1.4):

$$\begin{aligned} E_B &= (C_{\text{вак лиття}} - C_{\text{лиття під тиском}}) \cdot N, \text{ грн} \\ E_B &= (1,64 - 0,86) \cdot 20000 = 15600 \text{ грн.} \end{aligned} \quad (1.4)$$

Ефективність за витратою матеріалу від впровадження більш раціонального методу отримання заготовки за формулою (1.5):

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{Q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \\ M_1 &= \frac{0,0396 \cdot (0,62 - 0,46)}{0,62 \cdot 0,46} \cdot 20000 = 444,3 \text{ кг.} \end{aligned} \quad (1.5)$$

Результати розрахунків наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняльні показники за варіантами заготовок

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіант заготовки	
			Вакуумне лиття	Лиття під тиском
Маса	Q	кг	0,0396	0,0396
Баз. ціна 1 т заготовок	C _Б	грн.	17850	12300
Поправочні коефіцієнти	K _Т	-	1	1
	K _М	-	1	1
	K _В	-	1,21	1,1
	K _З	-	1	1
	K _П	-	1	1
Вартість 1 т стружки	S	грн.	172	172
Собівартість 1 т заготовок	C	грн.	1,64	0,86
KBM	η	-	0,46	0,62

Оскільки собівартість отримання заготовки та економія за матеріалом від застосування литтям під тиском менше за вакуумне лиття то обираємо його за метод отримання заготовки для деталі форсунка.

Креслення заготовки, отриманої за більш економічним варіантом наведено на рис 1.5.

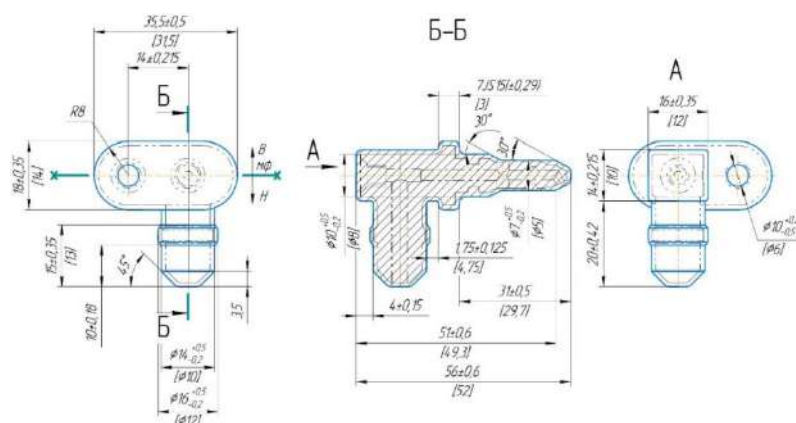


Рисунок 1.5 – Креслення заготовки отриманої литтям під тиском

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Якісні показники:

- оброблюваність матеріалу різанням – добра;
- застосування підйомних засобів при обробці не потребує бо вага деталі, менше 16 кг;
- можливе використання принципів постійності та суміщення баз на більшості операцій;
- всі поверхні доступні для інструменту.
- допуски та граничні відхилення розмірів — стандартні;
- не потребується застосування спеціальних ріжучих, допоміжних, вимірювальних інструментів.

Кількісні показники:

- коефіцієнт уніфікації конструктивних елементів $K_{y.e.}$, розраховується за формулою (1.6):

$$K_{y.e.} = \frac{Q_{y.e.}}{Q_e} \geq 0,6 \quad (1.6)$$

де $Q_{y.e.}$ — кількість уніфікованих елементів $Q_{y.e.} = 14$;

Q_e — загальна кількість конструктивних елементів $Q_e = 18$.

$$K_{y.e.} = \frac{14}{18} \geq 0,6$$

- коефіцієнт точності обробки K_m , розраховується за формулою (1.7):

$$K_m = 1 - \frac{1}{A_{cp}} \geq 0,8 \quad (1.7)$$

де A_{cp} — середнє арифметичне значення квалітетів точності, розраховується за формулою (1.8):

$$A_{cp} = \frac{\sum K_i}{n} \quad (1.8)$$

де n - кількість квалітетів точності;

K_i - квалітет точності i -того розміру.

$$A_{\text{сер}} = \frac{2 \cdot 8 + 1 \cdot 7 + 3 \cdot 12 + 1 \cdot 13 + 11 \cdot 14}{18} = 12,6$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{12,6} = 0,92 > 0,8$$

— коефіцієнт шорсткості $K_{\text{ш}}$, який розраховується за формулою:

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

де $B_{\text{сер}}$ — середнє значення шорсткості оброблених поверхонь, розраховується за формулою (1.10) [2,3]:

$$B_{\text{сер}} = \frac{\sum M_i}{n} \quad (1.10)$$

де M_i — шорсткість i -тої поверхні;

n — кількість усіх шорсткостей поверхонь.

$$B_{\text{сер}} = \frac{10 \cdot 3,2 + 8 \cdot 1,25}{18} = 2,33$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{2,32} = 0,30 \leq 0,32$$

Отже, по більшості показників деталей технологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки деталі (МОП) - це певна послідовність технологічних переходів для обробки поверхонь заготовки, необхідних для досягнення заданих показників точності і якості цих поверхонь в цій частині. МОП - технологічна основа технології механічної обробки, МОП необхідний для компонування операцій, розробки схем групового регулювання і налаштувань.

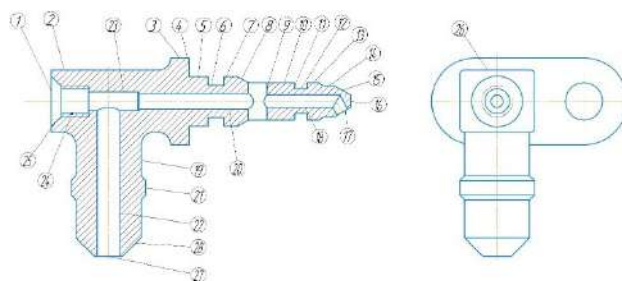


Рисунок 1.6 – Технологічне маркування поверхонь

Параметри точності основних поверхонь показано в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Показники точності, якості

№	Розміри	Квалітет	Шорсткість
1,16	52	Js14	3,2
2,26	12	h12	3,2
3	14	Js12	3,2
4	29,7	h12	3,2
5,7	Ø8	h6	1,6
6	Ø5,2	h8	1,6
8	60°	-	3,2
9	Ø3	H14	3,2
10,13	Ø6	Js6	1,6
11	2	Js10	1,6
12	Ø4	h6	1,6
14	Ø5	Js14	3,2
15	30°	-	3,2
17	Ø2	H14	3,2
18	Ø2	H14	3,2
19	Ø10	H14	3,2
20	Ø2,5	H14	3,2
21	Ø12	h10	3,2
22	Ø3,7	H14	3,2
23	Ø3	H14	3,2
24	M5	5H6H	3,2
25	45°	-	3,2
27	30	Js8	1,6
28	45°	-	3,2

Для поверхні Ø6 Js6

Заготовка $R_a = 20$ мкм, [4], допуск мм. $Td_3 = 0,7$

Деталь $R_a = 1,6$ мкм, допуск мм. $Td = 0,008$

Визначаємо уточнення з точки зору точності і шорсткості визначаємо за формулами (1.11), (1.12):

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_0} \quad (1.11)$$

$$\varepsilon_d = \frac{0,7}{0,008} = 87,5$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{Ra_3}{Ra_0} \quad (1.12)$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{16}{1,6} = 10$$

Переважним показником якості цієї поверхні буде точність геометричного розміру, так як він вимагає найбільшої доопрацювання. За переважаючим показником розраховуємо k кількість переходів:

$$\begin{aligned} k &= 2 \cdot \lg \varepsilon_{Td} \\ k &= 2 \cdot \lg 87,5 = 3,88 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Приймати $k = 4$

Різниця між класами шорсткості та їх розподілом $IT = IT16 - IT10 = 3 + 3 + 2 + 2$

Встановіть послідовність показника точності: IT16-IT13-IT10-IT8-IT6

Призначають методи обробки по переходах.

Заготовка – токарна чорнова – токарна напів-чистова – токарна чистова – шліфування чорнове.

Згідно [[4] призначаємо допуски і шорсткості для переходів, див. таблицю 1.4.

Визначаємо доопрацювання з точки зору точності і шорсткості для точності шорсткості за формулами (1.11), (1.12):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{0,7}{0,5} = 1,4$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{16}{12,5} = 1,28$$

Для інших переходів уточнення розраховується аналогічним чином.
Результати розрахунків заносяться в табл. 1.5.

Для поверхні L29,7h12

Заготовка Ra = 16 мкм, [4], допуск мм. $Td_3 = 1$ мм

Деталь Ra = 3,2 мкм, допуск мм. $Td = 0,3$ мм

Визначаємо уточнення з точки зору точності і шорсткості за формулами 1.11, 1.12:

$$\varepsilon_d = \frac{1,0}{0,3} = 3,33$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{16}{3,2} = 5$$

Переважаючим показником якості цієї поверхні буде шорсткість, так як він вимагає найбільшої доопрацювання. За переважаючим показником розраховуємо конверсії k за формулою (1.13):

$$k = 2 \cdot \lg 5 = 1,39$$

Приймати $k = 2$

Різниця між класами шорсткості та їх розподілом $IT = IT5 - IT3 = 2 = 1 + 1$

Встановіть послідовність показника точності: Ra16- Ra6,3- Ra3,2

Призначають методи обробки по переходах.

Заготовка – токарна чорнова – токарна чистова.

Згідно [4] призначаємо допуски і шорсткості для переходів, див. таблицю 1.4.

Визначаємо доопрацювання з точки зору точності і шорсткості для точності шорсткості:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,0}{0,65} = 1,54$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{16}{6,3} = 2,54$$

Для інших переходів уточнення розраховується аналогічним чином.
Результати розрахунків заносяться в табл. 1.4.

1.4.3 План виготовлення деталі.

Технологічний процес виготовлення деталі форсунки складається з операцій різного характеру. У цьому технологічному процесі переважають фрезерні та операції отримання отворів. Розробка плану виготовлення деталі форсунки відбувалось у наступній послідовності. Визначення технічних вимог до форсунки, таких як робочий тиск, температура, матеріал та інші характеристики. Розробка креслень форсунки. Вказання розмірів, товщин, отворів та інших параметрів. Вибір методу виготовлення: токарно-фрезерні операції. Обрання методів обробки поверхні для досягнення необхідної гладкості та точності. Розробка технологічного процесу. Якість та контроль. Здійснення вимірювань та перевірок відповідно до креслень. Проведення випробувань на міцність, герметичність та інші характеристики. Документація. Створення технічної документації з вказівкою параметрів, методів виробництва та контролю.

Маршрут виробництва форсунки наведено в графічній частині дипломного проекту.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуски на одну поверхню визначають розрахунково-аналітичним методом. Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків зазвичай використовується при виконанні відповідальних операцій в одиничному і дрібносерійного виробництва при обробці поверхонь точніше квалітету точності 9 у великосерійному і масовому виробництві.

Розрахунково-аналітичний метод:

Зовнішня діаметральна поверхня $\varnothing 8_{(-0,009)}$

Для заготовки нормативні значення $Rz=150$ мкм и $h=150$ мкм приймаємо в залежності від маси заготовки.

Просторові відхилення заготовки визначаємо, як суму допустимих значень похибки розміру від зміщення $\rho_{см}$ та короблення $\rho_{кор}$. Для штамповки нормальної точності (серійне виробництво): $\rho_{см}=500$ мкм, $\rho_{кор} = \Delta_k \times l = 3 \times 149,5 = 448,5$ мкм = 0,449 мм.

Сумарне значення просторових відхилень визначаємо за формулою (1.14) [2,3]:

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

$$\rho_1 = \sqrt{500^2 + 449^2} = 672,01 \text{ мкм} = 0,672 \text{ мм}$$

Отримані значення заносимо в таблицю 1.5.

Для точіння чорнового нормативні значення Rz, h: Rz₂=75 мкм, h₂=75 мкм, ρ₂=k_y×ρ₁=0.06×672=40,32 мкм=0,04 мм, k=0,06 – параметр уточнення.

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.15) [2,3]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \times \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.15)$$

$$\varepsilon_2 = 0,25 \sqrt{1,9^2 + 1} = 0,537 \text{ мм} = 537 \text{ мкм}$$

де Td_{заг}=1,9 мм – допуск бази заготовки.

Для точіння напівчистового нормативні значення Rz, h, приймаємо: Rz₃=50 мкм, h₃=50 мкм, ρ₃= 2,02 мкм, ε₃=32,22 мкм.

Для точіння чистового нормативні значення Rz, h, приймаємо: Rz₄=25 мкм, h₄=25 мкм, ρ₄= 0 мкм, ε₃=1,61 мкм.

Для шліфування нормативні значення Rz, h, приймаємо: Rz₄=10 мкм, h₄=10 мкм, ρ₄= 0 мкм, ε₃=0 мкм.

Для точіння чорнового:

$$2Z_{1\text{min}} = 2 \left[150 + 150 + \sqrt{(675^2 + 537^2)} \right] = 2325 \text{ мкм} = 2,325 \text{ мм}$$

Для точіння напівчистового:

$$2Z_{2\text{min}} = 2 \left[50 + 50 + \sqrt{(40,32^2 + 32,22^2)} \right] = 703,2 \text{ мкм} = 0,703 \text{ мм}$$

Для точіння чистового:

$$2Z_{2\text{min}} = 2 \left[25 + 25 + \sqrt{(0^2 + 1,62^2)} \right] = 103,2 \text{ мкм} = 0,103 \text{ мм}$$

Для шліфування:

$$2Z_{2\min} = 2 \left[10 + 10 + \sqrt{(0^2 + 0^2)} \right] = 20 \text{ мкм} = 0,02 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.16) [2,3]:

$$\begin{aligned} d_5^{\min} &= d_6^{\text{НОМ}} + \text{eid}_6 \\ d_5^{\min} &= 8 + (-0,009) = 7,991 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.16)$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.17) [2,3]:

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

$$\begin{aligned} d_4^{\min} &= 7,991 + 0,02 = 8,011 \text{ мм}; \\ d_3^{\min} &= 8,011 + 0,103 = 8,114 \text{ мм}; \\ d_2^{\min} &= 8,114 + 0,703 = 8,817 \text{ мм}; \\ d_1^{\min} &= 8,817 + 2,325 = 11,142 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.18) [2,3]:

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

$$\begin{aligned} d_5^{\max} &= 8 + 0,009 = 8,009 \text{ мм}; \\ d_4^{\max} &= 8,011 + 0,051 = 8,062 \text{ мм}; \\ d_3^{\max} &= 8,114 + 0,107 = 8,221 \text{ мм}; \\ d_2^{\max} &= 8,817 + 0,32 = 9,137 \text{ мм}; \\ d_1^{\max} &= 11,142 + 0,7 = 11,842 \text{ мм}; \end{aligned}$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.19) [2,3]:

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

$$\begin{aligned} 2z_2^{\max} &= 11,842 - 9,137 = 2,705 \text{ мм}; \\ 2z_3^{\max} &= 9,437 - 8,221 = 1,216 \text{ мм}; \end{aligned}$$

$$2z_4^{\max} = 8,221 - 8,062 = 0,159 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 8,062 - 8,009 = 0,053 \text{ мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи наступну рівність (1.20) [2,3]:

$$\begin{aligned} 2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} &= Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \\ 3851 - 3141 &= 700 + 9 \end{aligned} \quad (1.20)$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.21) [2,3]:

$$\begin{aligned} d_{1\text{ном}} &= d_{1\text{мін}} + ei_1 \\ d_{1\text{ном}} &= 11,1 + 0,2 = 11,3 \text{ мм} \end{aligned} \quad (1.21)$$

Виконавчий розмір заготовки буде рівнятися: $\varnothing 11,3_{-0,2}^{+0,5}$ виконавчі розміри за іншими переходами виконуємо в системі «валу», за номінальне значення розміру приймаємо максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.5.

Розрахунок припусків і технологічних розмірів обробки поверхні L29,7h12 у деталі форсунка.

Вихідні дані: матеріал деталі сплав ВТ20Л, шорсткість поверхні $Ra=3,2$. Заготівля – відливка. Обробка поверхні проводиться на токарних верстатах при установці заготовки в центри та спеціальне пристосування. Технологічний маршрут обробки поверхні: 1) заготовка – відливка; 2) чорнова токарна обробка; 3) чистова токарна обробка.

Припуски на механічну обробку призначаються табличним методом, але при цьому визначаємо загальний мінімальний припуск, а потім розподіляємо цей припуск між переходами обробки.

За ГОСТ 7505-74 [3, табл. 49, с.248], з урахуванням ваги заготовки, точності виготовлення, ступеня складності, діапазону розмірів поверхні, класу шорсткості знаходимо $z_o^{\min}=2,5 \text{ мм}$.

Загальний припуск розподіляється між переходами механічної обробки за допомогою коефіцієнта запасу γ_i :

$$\begin{aligned} 2z_i^{\min} &= \gamma_i \cdot 2z_o^{\min} \\ 2z_2^{\min} &= 0,6 \cdot 2,5 = 1,5 \text{ мм}; \end{aligned} \quad (1.22)$$

$$2z_3^{\min} = 0,15 \cdot 2,5 = 0,375 \text{ мм};$$

Отримані значення надбавок заносять в розрахункову таблицю 1,5.

Розрахунок технологічних виконавчих розмірів проводиться методом розмірних ланцюгів.

Визначаємо граничні значення технологічних розмірів.

Розрахуйте максимальний розмір поверхні останньої перехідної частини (1.23):

$$d_{\text{det}}^{\max} = d_3^{\text{ном}} + esd_9 \quad (1.23)$$

$$d_{\text{det}}^{\max} = 29,7 + 0 = 29,7 \text{ мм}$$

Обчислені максимальні розміри знаходять за формулою (1.24):

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2 \cdot Z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.24)$$

$$d_2^{\max} = 29,7 + 0,375 + 0,65 = 30,725 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = 30,725 + 1,5 + 1 = 33,225 \text{ мм}.$$

Результати заносяться в розрахункову таблицю 1.5.

Розрахуйте мінімальні розміри поверхні для переходів за формулою (1.25):

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.25)$$

$$d_1^{\min} = 33,225 - 1 = 32,225 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 30,725 - 0,65 = 30,075 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 29,7 - 0,3 = 29,4 \text{ мм};$$

Визначте граничні значення припусків на обробні переходи:

Максимальні значення надбавок розраховуються за формулою (1.26):

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.26)$$

$$2z_2^{\max} = 33,225 - 30,075 = 3,15 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 30,725 - 29,4 = 1,325 \text{ мм};$$

Мінімальні значення надбавок визначаються за формулою (1.27):

$$2z_i^{\min} = d_{i-1}^{\min} - d_i^{\max} \quad (1.27)$$
$$2z_2^{\min} = 32,225 - 30,725 = 1,5 \text{ мм};$$
$$2z_3^{\min} = 30,075 - 29,7 = 0,375 \text{ мм};$$

Результати наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок припусків

№ Пов.	Перехід	Елементи припуску, мкм				Розрахунковий		Допуск, мм	Макс. розмір, мм	Мінім. розмір, мм	Припуск на обробку, мкм		Виконавчий розмір, мм
		Rz	h	ρ	ε	Мін. припуск, мкм	Розмір, мм				2Z _{max}	2Z _{min}	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Ø8h6	Заготовка	150	150	449	-	-	11.142	0.7	11.842	11.142	-	-	Ø11.3 ^{+0,5} _{-0,2}
	Точ. Черн.	75	75	40.32	537	2325	8.817	0.32	9.137	8.817	2705	2325	Ø9.14 _{-0,32}
	Точ. напівчист	50	50	2.02	32.22	703	8.114	0.107	8.221	8.114	1216	703	Ø8.22 _{-0,1}
	Точ. чист	25	25	0	1.61	103	8.011	0,08	8.062	8.011	159	103	Ø8.06 _{-0,08}
	Шліф.	10	10	0	0	20	7.991	0,022	8	7.991	53	20	Ø8 _{-0,009}
L29,7h12	Заготовка					-	32.225	1	33.225	32.225	-	-	32.22±0,5
	Точ. Черн.					1500	30.075	0,65	30.725	30.075	3150	1500	30.7 _{-0,65}
	Точ. чист					375	29.4	0,3	29.7	29.4	1325	375	29.7 _{-0,3}

1.6 Розрахунок режимів різання

При розробці операцій для обробки деталей на верстатах з ЧПУ існують певні особливості:

- **Налаштування верстата:** Перш за все, необхідно правильно налаштувати верстат, щоб він зміг виконувати необхідні операції. Налаштування верстата включає в себе вибір інструментів, установку робочого столу і встановлення параметрів обробки.
- **Створення програми:** Після налаштування верстата потрібно створити програму для обробки. Це можна зробити за допомогою спеціального програмного забезпечення для ЧПУ. У програмі вказуються параметри, такі як швидкість обробки, глибина різання і швидкість годинника.
- **Перевірка програми:** Після створення програми потрібно перевірити її на точність і відповідність вимогам. Для цього можна використовувати спеціальні програми для симуляції процесу обробки.
- **Виконання операції:** Після перевірки програми можна розпочати обробку. Під час роботи верстата важливо контролювати процес і відслідковувати будь-які можливі проблеми.
- **Післяопераційні процеси:** Після завершення обробки потрібно провести додаткові процеси, такі як очищення обробленої деталі, виконання остаточних операцій і видалення залишків матеріалу.

Операційний ескіз токарної операції показано на рис. 1.7.

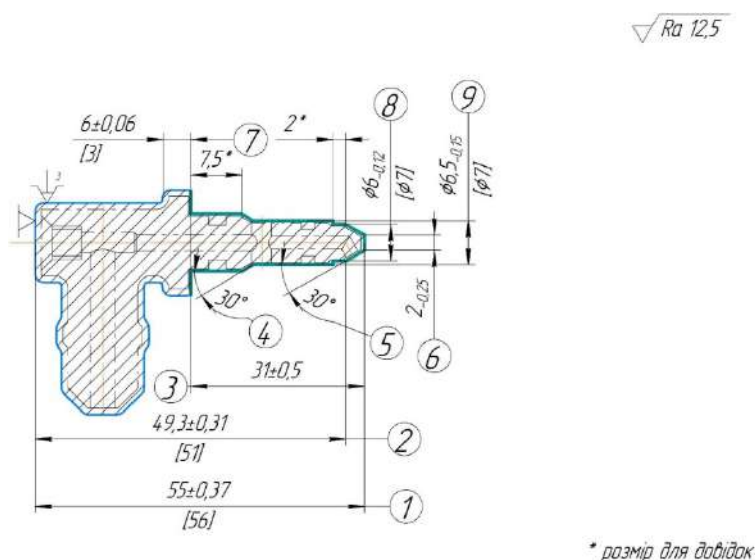


Рисунок 1.7 – Ескіз операції Токарна з ЧПУ 030

Операція виконується на токарно-фрезерному верстаті Gildemeister CTX-200. Заготовка затискається в спеціальному пристрої.

Точити поверхні 1,2,3

Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву T5K10 [5]

Глибина різання $t_1=1,0$ мм

Подача визначається за формулами (1.28), (1.29) [8,9]:

$$S_o = S_{o_T} \times K_{S_o} \quad (1.28)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{II}} \times K_{S_{II}} \times K_{S_{\phi}} \times K_{S_3} \times K_{S_{Ж}} \times K_{S_M} \quad (1.29)$$

де $S_{o_T} = 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ (3, т.26, стр. 237);

$K_{S_{II}}$ – коефіцієнт, що враховує стан обраблюваної поверхні, $K_{S_{II}}=1,0$;

$K_{S_{II}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{S_{II}}=1,0$;

$K_{S_{\phi}}$ – коефіцієнт, що враховує форму обраблюваної поверхні, $K_{S_{\phi}}=0,7$;

K_{S_3} – коефіцієнт, що враховує вплив закалки, $K_{S_3}=0,8$;

$K_{S_{Ж}}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{S_{Ж}}=0,83$;

K_{S_M} – коефіцієнт, що враховує матеріал обраблюваної поверхні, $K_{S_M}=1,0$.

$$K_{S_o} = 1,0 \times 1,0 \times 0,7 \times 0,8 \times 0,83 \times 1,0 = 0,46$$

$$S_o = 0,2 \times 0,46 = 0,092 \approx 0,1 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$$

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.30), (1.31) [8,9]:

$$V = V_T \times K_V \quad (1.30)$$

$$K_V = K_{V_M} \times K_{V_{II}} \times K_{V_{\phi}} \times K_{V_T} \times K_{V_{Ж}} \times K_{V_{II}} \times K_{V_O} \quad (1.31)$$

де, V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T=64$ м/хв, [8,9];

K_V – узагальнений швидкісний коефіцієнт;

K_{V_M} – коефіцієнт обробляемого матеріалу, $K_{V_M}=0,8$;

$K_{V_{II}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив матеріалу інструменту, $K_{V_{II}}=1,0$;

$K_{V_{\phi}}$ – коефіцієнт, що враховує вплив головного куту в плані, $K_{V_{\phi}}=1,0$;

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_T}=0,85$;

$K_{V_{Ж}}$ – коефіцієнт, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{V_{Ж}}=0,82$;

$K_{V_{II}}$ – коефіцієнт, що враховує стан обробляваної поверхні, $K_{V_{II}}=1,0$;

K_{V_O} – коефіцієнт, що враховує вплив ЗОР, $K_{V_O}=1,0$.

$$k_v=0,8 \times 1,0 \times 1,0 \times 0,85 \times 0,82 \times 1,0 \times 1,0=0,56$$

$$V = 64 \times 0,56 = 35,84 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделю за формулою (1.32) [8,9]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.32)$$

де, V - швидкість різання, м/хв

D - діаметр обробки, мм

$$n = \frac{1000 \times 35,84}{3,14 \times 8} = 1426,7 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n=1400 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 1400 \times 8}{1000} = 35,17 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.33) [8,9]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.33)$$

де, C_p – коефіцієнт, що враховує умови обробки, $C_p=204$ [8,9];

x, y, n – показники степені, що враховують умови обробки $n=0$; $x=1,0$;

$y=0,75$; [8,9];

k_p – поправочний коефіцієнт, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою 1.34:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.34)$$

де, k_{mv} - поправочний коефіцієнт, що враховує вплив якості оброблююмого матеріалу визначаємо за формулою (1.35):

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.35)$$

$$k_{MP} = \left(\frac{1080}{750} \right)^{0,75} = 1,31$$

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$ - поправочні коефіцієнти, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту $k_{\phi p}=1,08$, $k_{\gamma p}=1,15$, $k_{\lambda p}=1,0$, $k_{rp}=0,93$, [8,9];

$$k_p = 1,31 \times 1,08 \times 1,15 \times 1,0 \times 0,93 = 1,51$$

$$P_z = 10 \times 204 \times 2,0^{1,0} \times 0,1^{0,75} \times 35,17^0 \times 1,51 = 547,78 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.36) [8,9]:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.36)$$

де, P_z - сила різання, Н

V - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{547,78 \times 83,52}{1020 \times 60} = 0,77 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

$$N_2 = 0,72 \text{ кВт} \leq N_{\text{СТ}} = N_{\text{ДВ}} \cdot \eta = 15 \cdot 0,85 = 12,75 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.37) [8,9]:

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.37)$$

де, l - довжина оброблюємої поверхні, $l = 36$ мм;

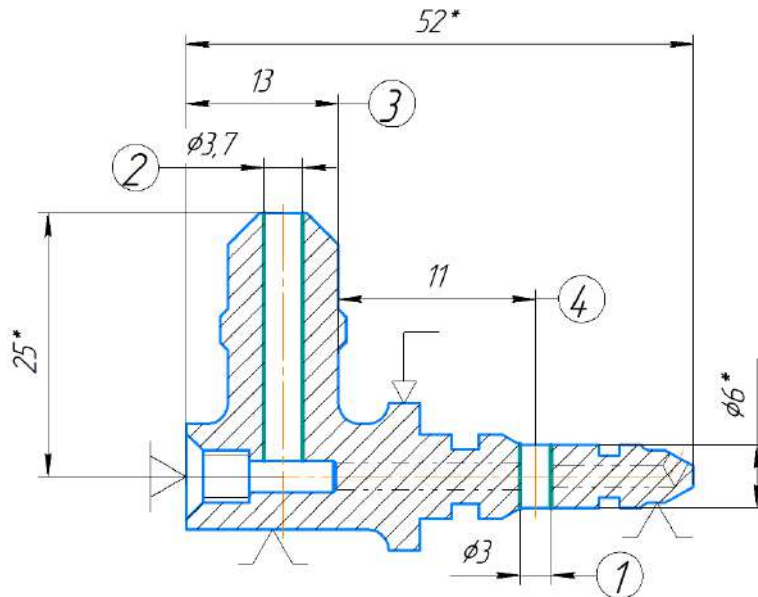
y - величина врізання, мм $y = 3$ мм;

Δ - величина перебігу інструменту, $\Delta = 3$ мм.

$$T_0 = \frac{31 + 3 + 3}{350 \times 0,1} = 0,89 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на свердлильну операцію №60

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.8.



* розмір для довідок

Рисунок 1.8 – Операційний ескіз

Верстат: Токарно-фрезерний верстат з ЧПК Gildemeister CTX-200

Поверхня $\phi 3$ $L=4$ мм $Ra=6,3$ мкм;

Інструмент: Свердло спіральне $\phi 3$ мм, $L=4$ мм, P6M5, 2300-0429 ГОСТ 10902-77 [5]

Свердлить відповідно ескізу отвір (рис. 1.8):

Довжина робочого ходу визначається за формулою (1.38) [8,9]:

$$Lp = 2 \cdot (l + y) \quad (1.38)$$

де l -довжина свердління $l=4$ мм;

$y=0,6d_{\text{св}}$ –врізання, мм;

де $d_{\text{св}}$ -діаметр свердла, мм;

$$Lp = 2 \cdot (3,6 + 4,9) = 17 \text{ мм}$$

Глибина різання: $t = \frac{d_{\text{св}}}{2} = \frac{3}{2} = 1,5$ мм.

Визначаємо подачу за формулою (1.39) [8,9]:

$$S_0 = 0,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 = 0,09 \text{ мм/об}$$

По паспорту верстата приймаємо $S_0 = 0,1$ мм/об

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.40) [8,9]:

$$v_0 = v_m \times k_{mv} \times k_{nv} \times k_{uv} \times k_{\phi v} \times k_{\phi 1v} \times k_r \quad (1.40)$$

де, k_{mv} – коефіцієнт, що враховує матеріал заготовки визначається за формулою (1.41):

$$k_{mv} = k_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (1.41)$$

k_r – коефіцієнт, що характеризує групу сталі. $k_r=0.8$ (4, т. 2, стор.262);

σ_b – тимчасовий опір розриву, МПа. $\sigma_b=1061$ МПа;

n_v – показник степені, $n_v=1.0$ [8,9];

$$k_{mv} = 0.8 \times \left(\frac{750}{1061} \right)^1 = 0.55$$

k_{nv} – коефіцієнт, що характеризує стан поверхні $k_{nv}=0.8$;

k_{uv} – коефіцієнт, що характеризує матеріал інструменту $k_{uv}=1.0$ [8,9];

$k_{\phi v}$, $k_{\phi 1v}$, k_{rv} , – коефіцієнти, що характеризують геометричні параметри інструменту $k_{\phi v}=1.0$, $k_{\phi 1v}=0.94$, $k_{rv}=1.03$ [8,9].

$$v_0 = 4,7 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \times 1,03 = 1,6 \text{ м/хв}$$

Частота обертання деталі визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 1,6}{3,14 \times 3} = 78,4 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання $n=80$ об/хв.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \times 3 \times 80}{1000} = 1,63 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Крутячий момент, визначається за формулою (1.42) [8,9]:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.42)$$

$$C_M = 0,041; \quad q = 2; \quad y = 0,7 \quad K_P = 1,04 \quad [3, \text{таблиця.32, стор.281}];$$

$$M_{KP} = 10 \times 0,041 \times 6,5^2 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 3,42 H \cdot m$$

Осьова сила, Н визначається за формулою (1.43) [8,9]:

$$P_o = 10 \times C_p \times D^q \times S^y \times K_p \quad (1.43)$$

$$C_p = 143; \quad q = 1; \quad y = 0,7; \quad K_p = 1,04 \quad [3, \text{таблиця.32, стор.281}]$$

$$P_o = 10 \times 87 \times 3^1 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 1173,4 H$$

Потужність різання, кВт

$$N_3 = \frac{3,42 \times 80}{9750} = 0,03 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.44) [8,9]:

$$t_{02} = \frac{l + l_1}{n \times S} \times i \quad (1.44)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору), $l = 4 \text{ мм}$;

l_1 – довжина врізання і перебігу інструменту $l_1 = 3,5 \text{ мм}$, [5, к.43, стор.282];

i – кількість проходів, $i = 1$;

n – частота обертання шпинделя з інструментом, об/хв;

S – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left(\frac{17}{80 \times 0,1} \right) \times 3 = 5,92 \text{ хв}$$

Розрахунок режимів різання на фрезерну операцію №45

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.9.

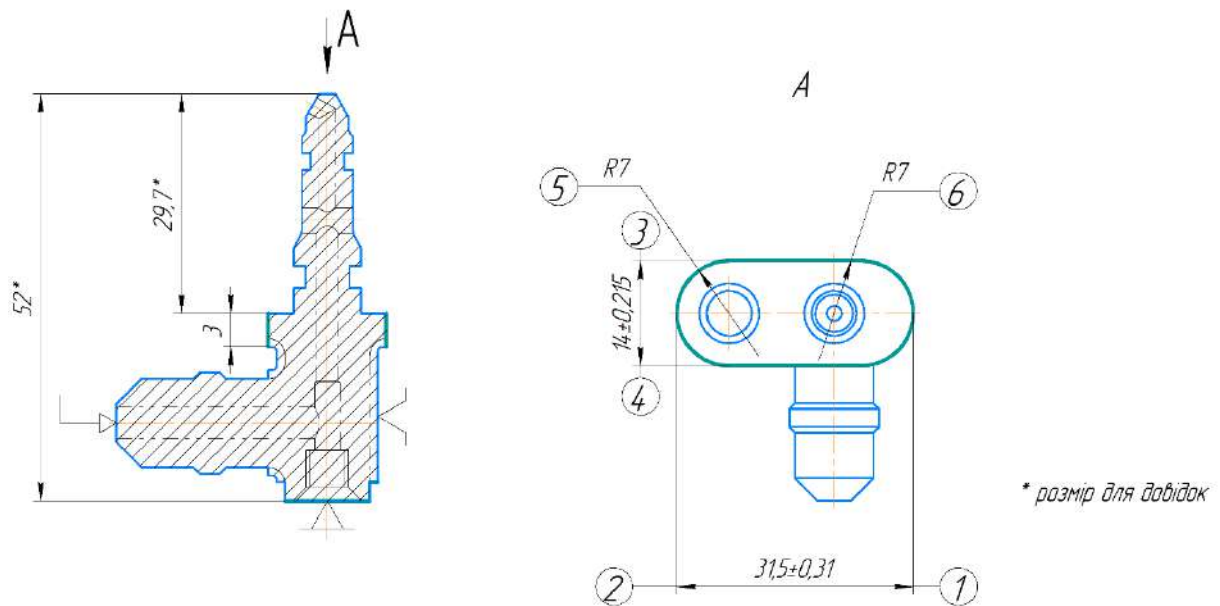


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз на фрезерну операцію

Ріжучий інструмент:

Фреза кінцева Ø10 P12Ф4K5 ГОСТ 17026-71 [5]

Визначаємо подачу за формулою (1.45) [8,9]:

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{SZ} \quad (1.45)$$

де $S_Z = 0,055$ мм/зуб – табличне значення подачі;

K_{so} – коефіцієнт, що враховує ряд конструктивних особливостей технологічної системи визначається за формулою (5.2) [8,9];

$$K_{SZ} = K_{SZH} \cdot K_{SZ\Phi} \cdot K_{SZR} \quad (1.46)$$

де K_{SZH} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{SZH} = 1$;

$K_{SZ\Phi}$ – коефіцієнт, що враховує вид оброблюваної поверхні, $K_{SZ\Phi} = 1$;

K_{SZR} – коефіцієнт, що враховує клас чистоти, $K_{SZR} = 0,5$;

$$S_Z = 0,055 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,0275 \frac{\text{мм}}{\text{зуб}}$$

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.47) [8,9]:

$$V = V_T \cdot K_V \quad (1.47)$$

де V_m – табличне значення швидкості різання $V_m = 8,3$ м/хв;

K_v – коефіцієнт, що враховує ряд конкретних умов обробки визначається за формулою (1.48):

$$K_v = K_{V_M} \cdot K_{V_H} \cdot K_{V_O} \cdot K_{V_{\Pi}} \cdot K_{V_{\Phi}} \cdot K_{V_B} \quad (1.48)$$

де K_{V_M} – коефіцієнт, що враховує оброблюваність матеріалу, $K_{V_M} = 0,81$;

K_{V_H} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні, $K_{V_H} = 1$;

K_{V_O} – коефіцієнт, що враховує умови обробки, $K_{V_O} = 1$;

$K_{V_{\Phi}}$ – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_{\Phi}} = 1$;

K_{V_H} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{V_H} = 1$;

K_{V_B} – коефіцієнт, що враховує ширину фрезерування, $K_{V_B} = 1$.

$$V = 8,3 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 6,72 \text{ м/хв}$$

Обороти визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 6,72}{3,14 \times 10} = 214,01 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Коригуємо обертання шпинделя по паспорту верстата $n = 220$ об/хв.

Знаходимо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \times 10 \times 220}{1000} = 6,91 \frac{\text{м}}{\text{хв}}$$

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.49):

$$S_{\text{хв}} = S_Z \times z \times n_D, \frac{\text{мм}}{\text{хв}} \quad (1.49)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,0275 \times 4 \times 220 = 24,2 \frac{\text{мм}}{\text{хв}}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.50):

$$N_{\text{рез}} = N_H \cdot K_M \cdot K_K \cdot K_W \cdot K_{\beta} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (1.50)$$

де $N_H = 0,8$ кВт потужність необхідна на різання [6, стор.522, карті 5];

$K_M = 1$ – поправочний коефіцієнт, залежний від оброблюваного матеріалу;

$K_W = 1,64$ – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості осьових переміщень;

$K_K=1,1$ – поправочний коефіцієнт, залежний від кількості заходів фрези;

$K_\beta=1$ – поправочний коефіцієнт, залежний від кута нахилу зубів коліс;

$$N_{\text{рез}} = 1,44 \text{ кВт} < N_{\text{ст}} = 7 \text{ кВт}.$$

Ефективна потужність, потрібна на різання, нижче потужності електродвигуна, що задовольняє умовам різання.

Визначаємо машинний час за формулою (1.51):

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.51)$$

де, l – довжина оброблюваної поверхні, $l=210$ мм;

y – величина врізання, мм $y=3$ мм;

Z – число зубів фрези, $z=4$.

$$T_o = \frac{210 + 3}{220 \times 0,0275 \times 4} = 8,8 \text{ хв}$$

На інші операції режими різання вказані у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Режими різання

N Опер.	Найменування операції	t, мм	S _o , мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	T _o , хв
1	2	3	4	5	6	7
005	Заготівельна	-	-	-	-	-
010	Термічна обробка	-	-	-	-	-
015	Токарна ЧПК	1,0	0,15	24,2	770	0,25
020	Токарна ЧПК	1,0	0,15	24,2	770	2,15
025	Токарна ЧПК	1,0	0,15	35,17	1120	0,18
030	Токарна ЧПК	1,0	0,1	35,17	1400	0,89
035	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	1400	3,45
040	Фрезерна ЧПК	2	20,5мм/хв	6,91	220	12,1
045	Фрезерна ЧПК	5	24,2мм/хв	6,91	220	8,8
050	Фрезерна ЧПК	1,5	15,1мм/хв	6,91	220	4,78
055	Свердлильна ЧПК	2,5	0,1	1,22	40	4,78
060	Свердлильна ЧПК	1,5	0,1	1,63	80	5,92
065	Свердлильна ЧПК	1	0,2	1,22	40	2,78
070	Електрофізична обробка	-	-	-	-	-
075	Мийна	-	-	-	-	-
080	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	50/1500	0,25

Продовження таблиці 1.6

N Опер.	Найменування операції	t, мм	S _o , мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	T _o , хв
1	2	3	4	5	6	7
085	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	50/1500	0,21
090	Слюсарна	-	-	-	-	-
095	Мийна	-	-	-	-	-
100	Контрольна	-	-	-	-	-

1.7 Розрахунок технічної норми часу

Основний час на виконання токарної операції 030 $t_o=0,89$ хв.

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.52) [9]:

$$t_{всп.} = t_{в.у} + t_{м.в.} \quad (1.52)$$

де, $t_{в.у.} = 0,2$ хв – час на установку і зняття деталі в патроні з ручним затиском [9];

$t_{м.в.} = 0,29$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [9]

$$t_{всп} = 0,2 + 0,29 = 0,49 \text{хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначається за формулою (1.53):

$$t_{п.у.} = t_o + t_{м.в.} \quad (1.53)$$

$$t_{п.у.} = 0,89 + 0,49 = 1,38 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою (1.54):

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.54)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 1,38 = 0,14 \text{хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначається за формулою (1.55):

$$t_{п} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.55)$$

$$t_{п} = 0,1 \cdot 1,38 = 0,14 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 1,38 + 0,14 + 0,14 = 1,66 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [9] за формулою (1.56):

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з1}} + T_{\text{п-з2}} \quad (1.56)$$

де, $T_{\text{п-з1}} = 5$ хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [9]

$T_{\text{п-з2}} = 7$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [9]

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 7 = 12 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{12}{8} + 1,66 = 3,16 \text{ хв.}$$

Основний час на виконання свердлильної операції 060 $t_0 = 5,92$ хв.

Допоміжний час:

$t_{\text{в.у.}} = 0,25$ хв – час на установку і зняття деталі [9];

$t_{\text{м.в.}} = 0,26$ хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [9]

$$t_{\text{всп}} = 0,26 + 0,25 = 0,51 \text{ хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління $t_{\text{п.у}}$ дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою:

$$t_{\text{п.у.}} = 5,92 + 0,51 = 6,43 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою [9]:

$$t_{\text{обс}} = 8\% \times t_{\text{п.у.}} \quad (1.57)$$

$$t_{\text{обс}} = 0,08 \times 6,43 = 0,51 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.58):

$$t_{\Pi} = 8\% \times t_{\Pi.у.} \quad (1.58)$$

$$t_{\Pi} = 0,08 \times 6,43 = 0,51 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 6,43 + 0,51 + 0,51 = 7,45 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [9] за формулою:

$$T_{\Pi-3} = 5 + 3 = 8 \text{хв.}$$

де, $T_{\Pi-31} = 5$ хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [9];

$T_{\Pi-32} = 3$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [9].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{8}{8} + 7,45 = 8,45 \text{хв.}$$

Основний час на виконання фрезерної операції 045 $t_0 = 8,8$ хв.

Допоміжний час:

$t_{0''} = 0,05$ хв - переміщення інструменту в «0» інструменту [9];

$t_{\text{с.б.}} = 0,05$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку [9];

$t_{\text{с.б.}} = 0,05$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку [9];

$t_{\text{в.у.}} = 1,2$ хв - час на установку і зняття деталі в патроні з пневматичним затиском [9];

$t_{\text{м.в.}} = 0,15$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [9]

$$t_{\text{всп}} = 0,05 + 0,05 + 1,2 + 0,15 = 1,45 \text{хв.}$$

Час роботи верстата за програмою управління $t_{\Pi.у.}$ рівно неповному оперативному часу роботи верстата визначаємо за формулою:

$$t_{\Pi.у.} = 8,8 + 1,45 = 10,25 \text{хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою:

$$t_{\text{обс}} = 0,08 \times 10,25 = 0,82 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою:

$$t_{\pi} = 0,08 \times 10,25 = 0,82 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 10,25 + 0,82 + 0,82 = 11,89 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою:

$$T_{\pi-3} = 3 + 8 = 11 \text{ хв.}$$

де, $T_{\pi-31} = 3$ хв - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [9];

$T_{\pi-32} = 8$ хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, [9].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{11}{8} + 11,89 = 13,26 \text{ хв.}$$

Нормування на інші операції технологічного процесу обробки деталі форсунка показано у таблиці 1.7.

Таблица 1.7 – Техническая норма времени по операциям

№ операції	Назва операції	Складові $T_{\text{шт-к}}$						
		t_o	t_b	$t_{оп}$	$t_{обсл}$	t_{π}	$t_{\pi-3}$	$t_{\text{шт-к}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
005	Заготівельна	-	-	-	-	-	-	-
010	Гермічна обробка	-	-	-	-	-	-	-
015	Токарна ЧПК	0,25	0,21	0,46	0,1	0,1	12	0,96
020	Токарна ЧПК	2,15	1,85	4	0,4	0,4	15	5,2
025	Токарна ЧПК	0,18	0,48	0,66	0,1	0,1	20	1,36
030	Токарна ЧПК	0,89	0,49	1,38	0,14	0,14	12	3,16
035	Токарна ЧПК	3,45	1,87	5,32	0,53	0,53	19	6,86
040	Фрезерна ЧПК	12,1	2,45	14,55	1,45	1,45	10	17,7
045	Фрезерна ЧПК	8,8	1,45	10,25	0,82	0,82	11	13,26

Продовження таблиці 1.7

№ операції	Назва операції	Складові $T_{шт-к}$						
		t_o	t_b	$t_{оп}$	$t_{обсл}$	$t_{п}$	$t_{п-з}$	$t_{шт-к}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
050	Фрезерна ЧПК	4,78	1,22	6	0,6	0,6	20	7,7
055	Свердлильна ЧПК	4,78	0,89	5,67	0,56	0,56	13	7,11
060	Свердлильна ЧПК	5,92	0,51	6,43	0,51	0,51	8	8,45
065	Свердлильна ЧПК	2,78	1,44	4,22	0,42	0,42	8	5,26
070	Електрофізична обробка	-	-	-	-	-	-	
075	Мийна	-	-	-	-	-	-	
080	Шліфувальна	0,25	0,74	0,99	0,1	0,1	20	1,69
085	Шліфувальна	0,21	0,56	0,77	0,1	0,1	7	1,14
090	Слюсарна	-	-	-	-	-	-	-
095	Мийна	-	-	-	-	-	-	-
100	Контрольна	-	-	-	-	-	-	-

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має САМ-модуль

1.8.1 Розробка токарної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.10 – 1.13.

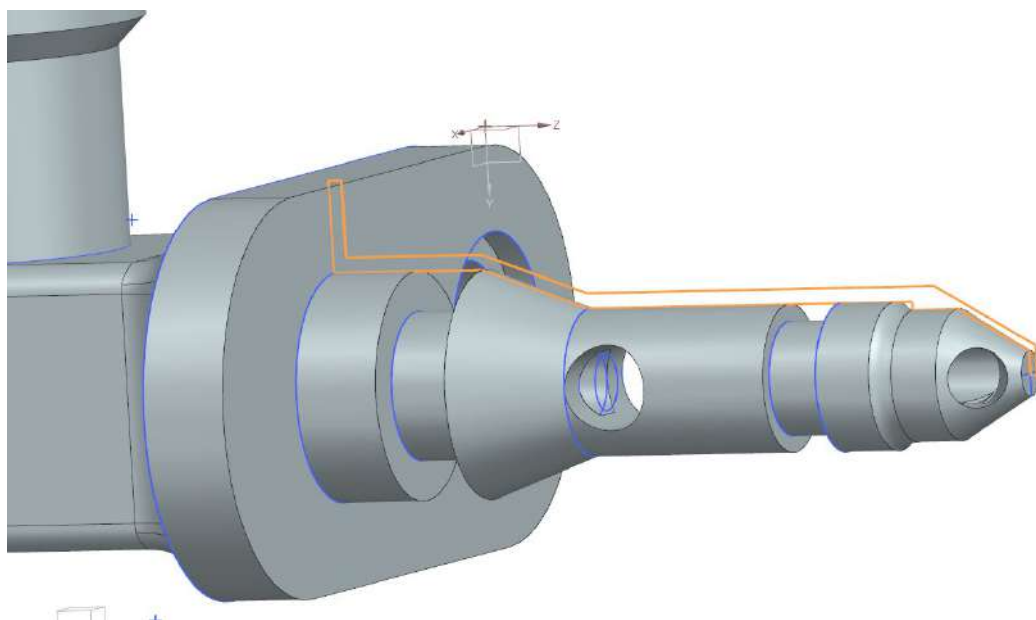


Рисунок 1.10 – 3D – модель

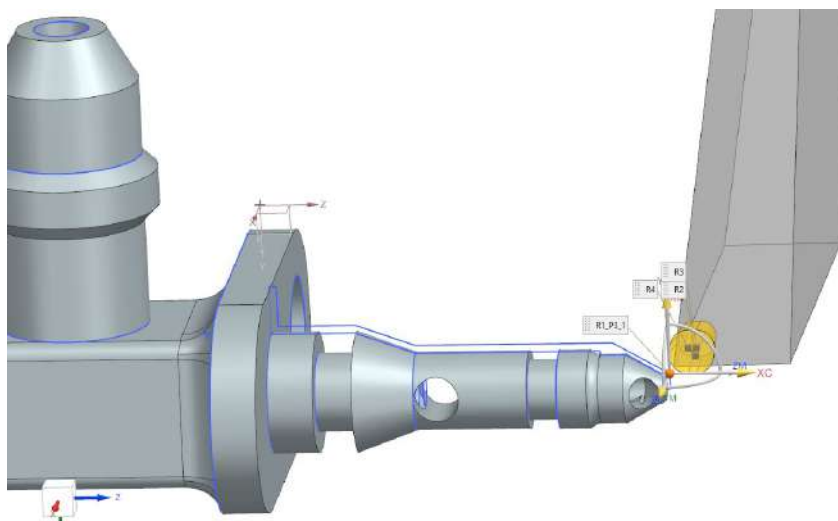


Рисунок 1.11 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

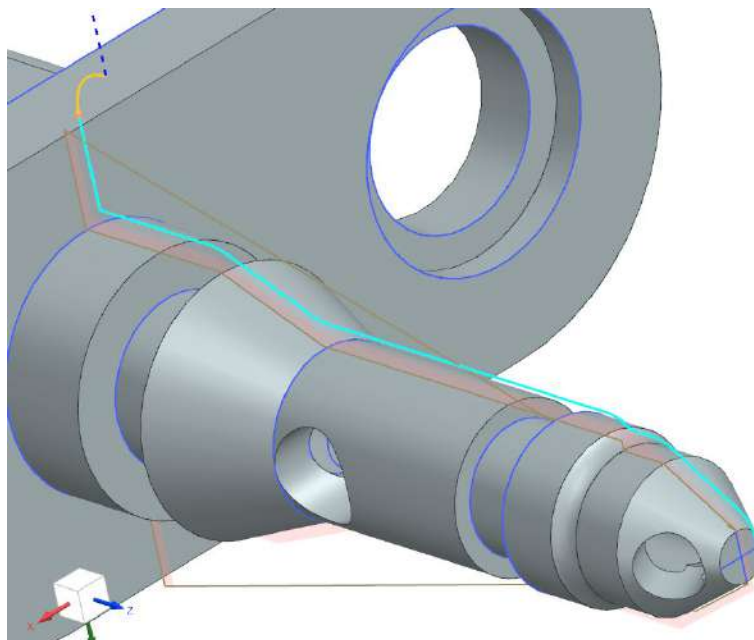


Рисунок 1.12 – Траекторія обробки поверхні на токарній операції

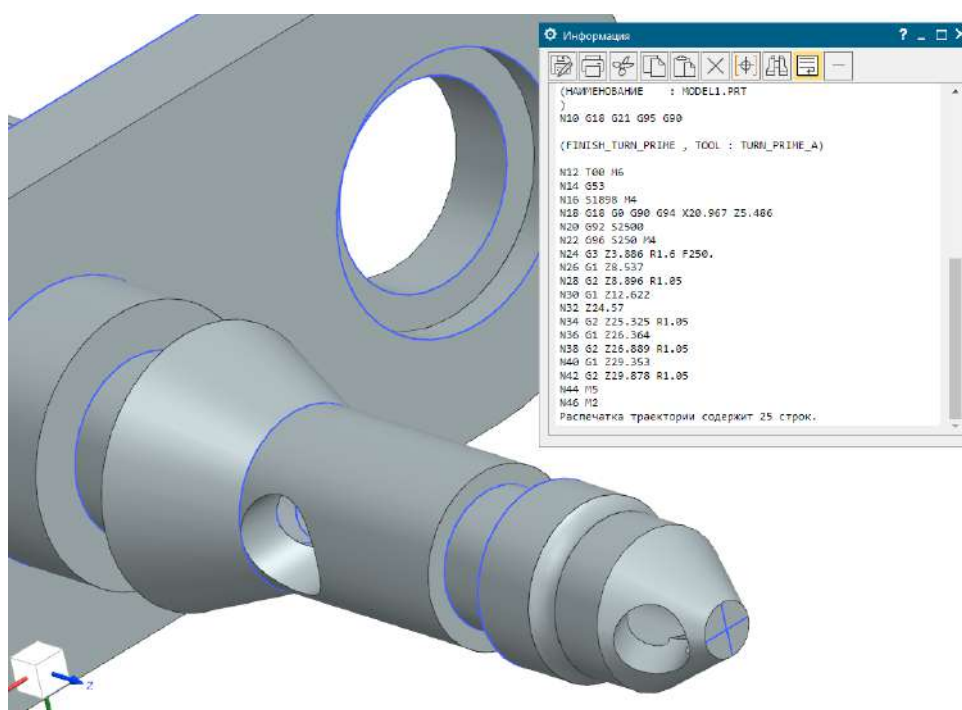


Рисунок 1.13 – Программа обробки в G кодах

1.8.2 Розробка свердильної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.14 – 1.17.

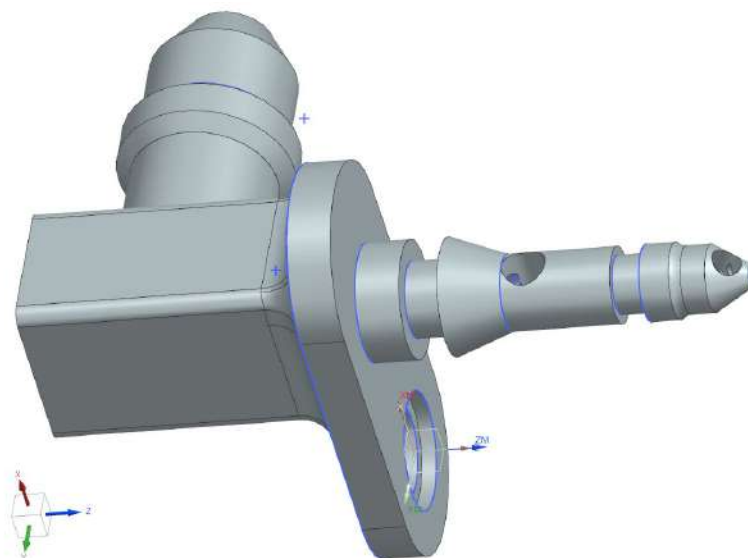


Рисунок 1.14 – 3D – модель

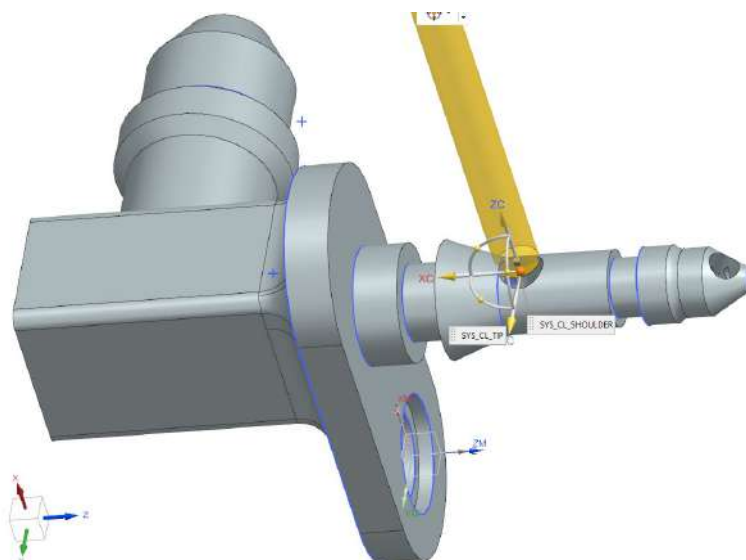


Рисунок 1.15 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

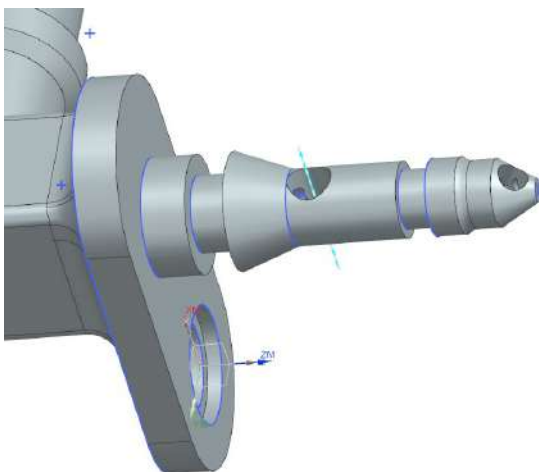


Рисунок 1.16 – Траекторія обробки поверхні на свердлильній операції

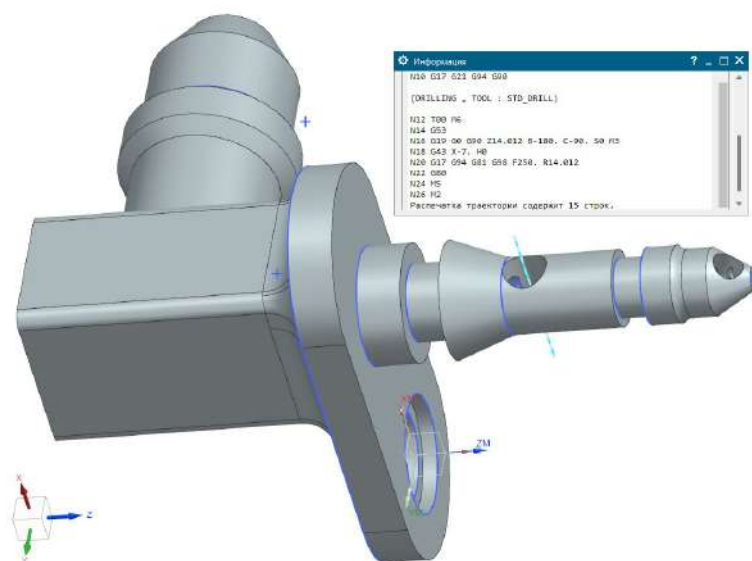


Рисунок 1.17 – Программа обробки в G кодах

1.8.3 Розробка фрезерної операції

Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.18 – 1.21.

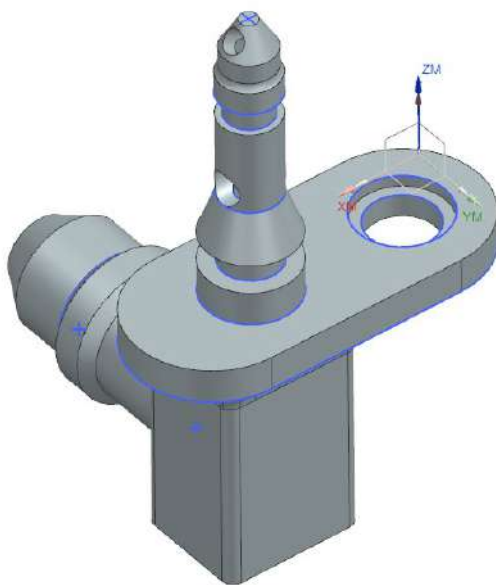


Рисунок 1.18 – 3D – модель

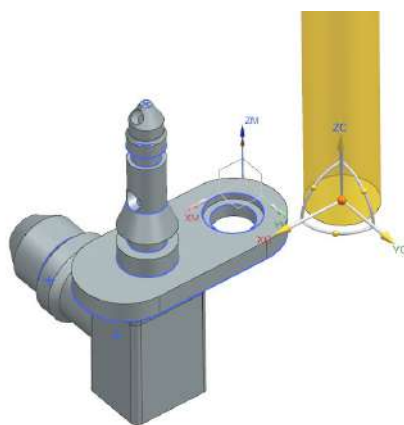


Рисунок 1.19 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

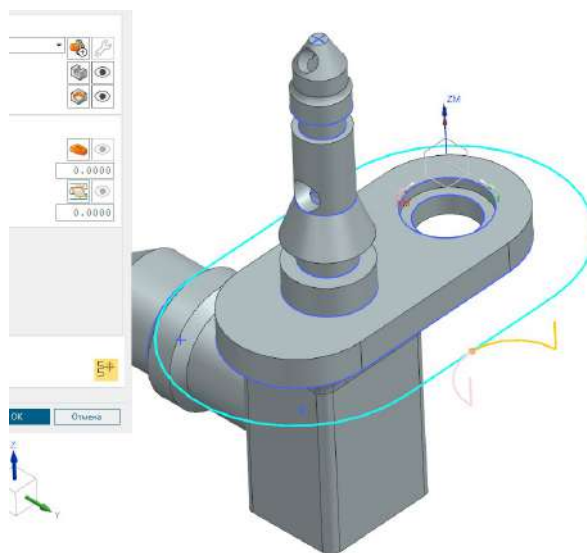


Рисунок 1.20 – Траєкторія обробки поверхні на фрезерній операції

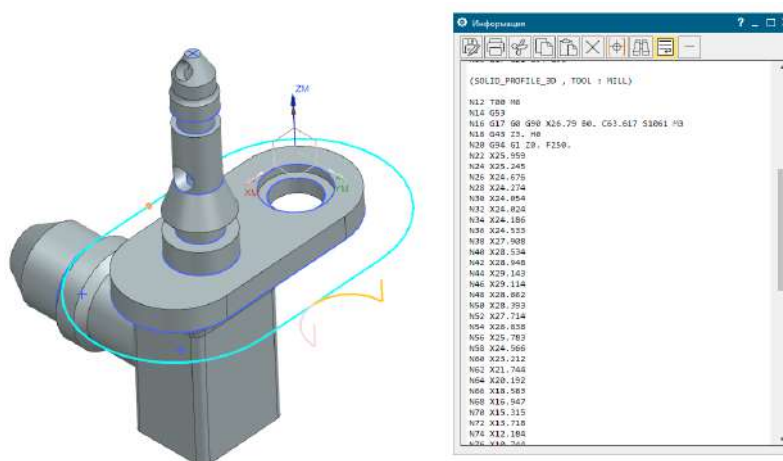


Рисунок 1.21 – Програма обробки в G кодах

корпусу двома гвинтами M6×20 і двома штифтами 42. Корпус кріпиться до пластини чотирма болтами 32. Циліндр 28 встановлюється на фланець корпусу, за допомогою шести установочних гвинтів M10×50. У циліндр запресована чашка 21. У порожнині циліндра знаходиться поршень 17, шток якого через чашку виведений всередину корпусу. До кінця штока поршня через різьбове з'єднання кріпиться вушко 20. Вушко з'єднується з брусом 13 пальцем 11. На кожному кінці бруска є отвір, в яке вдавлюється палець 12. За допомогою штифтів 12 планка з'єднується з двома втулками 2. У кожен втулку вкручується стрижень по 25. Стрижні проходять через отвори в корпусі і з'єднуються брусом 15, який служить для утримання заготовки. Для фіксації штанги на штангах використовуються 4 гайки M10 (по дві на кожному стрижні). Циліндр закритий кришкою 5. Чотири установочні гвинти 39 забезпечують надійне кріплення кришки до циліндра. Штуцер 30 вкручується в кришку. Аналогічний штуцер кріпиться до балона збоку. Труби 23 і 24 забезпечують з'єднання між патрубками і розподільником 1. Розподільник з'єднується з пневматичною системою за допомогою шланга 29, який надійно закріплений хомутом 26, болтом 31 і двома гайками 34. Прокладка 19, манжети 6, 7, 9 і кільце ущільнювача 3 служать для забезпечення герметичності порожнини пневмоциліндра. Menjet 8 призначений для гасіння удару поршня по пневмоциліндру при відпусканні деталі.

Для фіксації деталі на пристосуванні повітря з пневмосистеми подається в розподільник, а з нього по трубі 24 і патрубку 30 в праву порожнину пневмоциліндру. Поршень переміщається вліво, перетягуючи вушко з планкою 13 і штоками. Стрижні переміщують планку 15 вліво, і вона притискає деталь до призми. Після обробки в ліву порожнину циліндра (патрубок 23, патрубок 30) подається повітря – поршень рухається вправо, натискаючи на вушко. Вушко переміщує брусок 13, який штовхає стрижень вправо з брусом 15, звільняючи деталь.

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Базування деталі для операції фрезерування буде проводитися в клині, так як в цьому випадку похибка базування не впливає на симетричність розташування поверхонь.

Установка деталі в пристосування здійснюється в призму з кутом 90°.

Розглянемо монтаж в призму для обробки розміру $6_{-0,12}$ (рисунок 2.2).

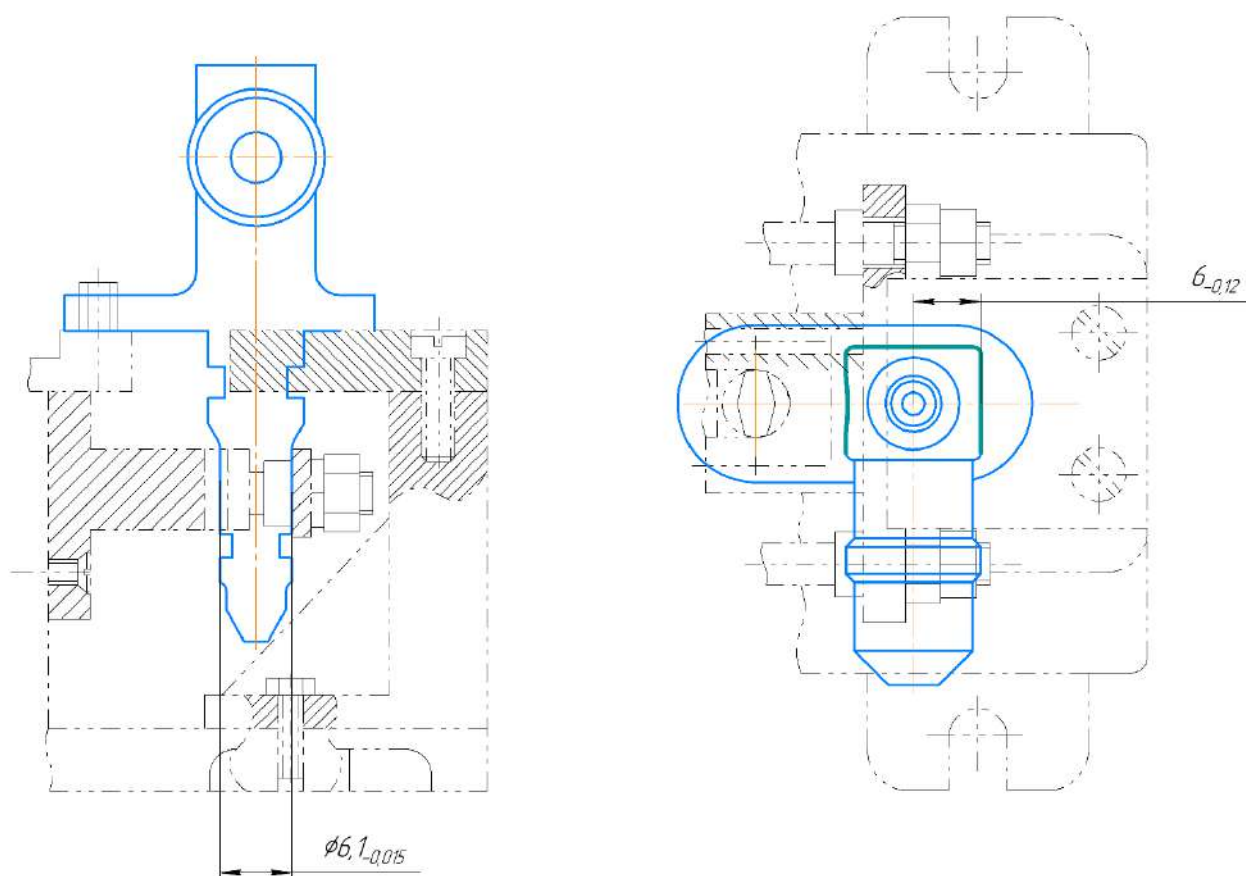


Рисунок 2.2 – Схема базування деталі в призмі

Похибка установки визначається за формулою (2.1) [6, 10]:

$$\varepsilon_{уст} = \varepsilon_{\bar{\theta}} + \varepsilon_{закр} \quad (2.1)$$

Похибка базування визначається за формулою (2.2) [6, 10]:

$$\varepsilon_{\bar{\theta}} = Td \times k_2, \quad (2.2)$$

де Td – Допуск за розміром поверхні, з якою деталь встановлюється в призму,

$Td=0,015\text{мм}$;

$k_2=0,7$ [6, 10].

$$\varepsilon_{\bar{\theta}} = 0,015 \times 0,7 = 0,0105 \text{ мм.}$$

$\varepsilon_{закр}^{табл}$ – Нормативне значення похибки фіксації, мм $\varepsilon_{закр}^{табл} = 0,03 \text{ мм}$ [6, 10].

Похибка установки визначається за формулою (2.1) [6, 10]:

$$\varepsilon_{вст} = 0,0105 + 0,03 = 0,0405 \text{ мм.}$$

Схема вважається придатною для використання, якщо виконується умова (2.3) [6, 10]:

$$\varepsilon_{уст} \leq \frac{1}{2} TA_{обр}, \quad (2.3)$$

де $TA_{обр}$ – Допуск розміру обробки, мм.

Перевіряємо придатність цієї схеми по (2.3) [6, 10]:

$$0,0405 \text{ мм} \leq \frac{1}{2} 0,12 = 0,06 \text{ мм,} \quad \text{— Умова виконана.}$$

Розрахунок на точність полягає у визначенні виконавчих розмірів на установ (рис. 2.3).

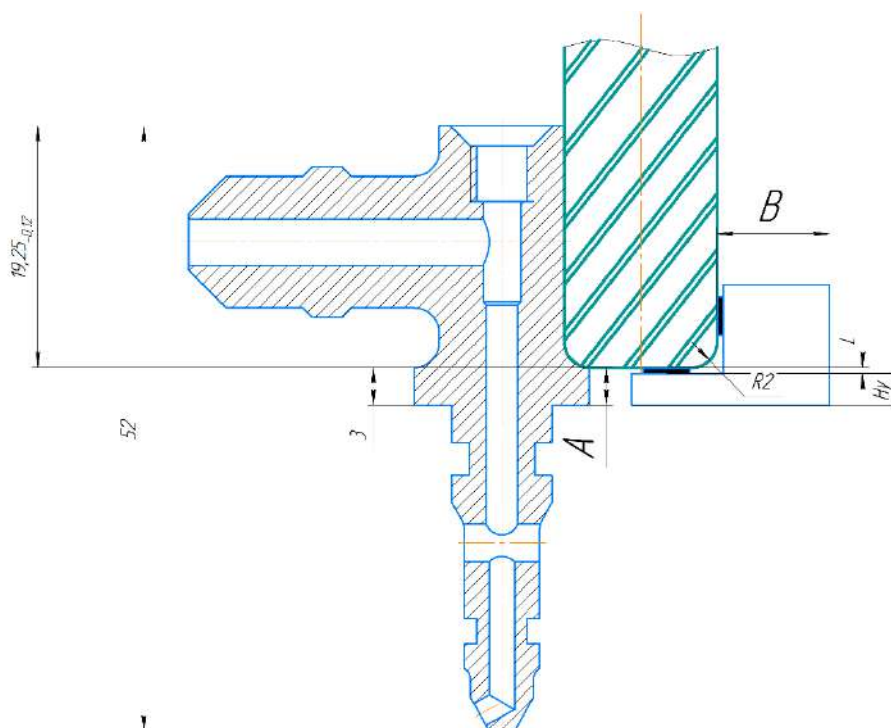


Рисунок 2.3 – Знімний установ для фрезерування форсунки

Розмір висотного установа.

$$H_{cp} = A_{cp} - S_{cp},$$

Визначаємо середній розмір обробки за формулою (2.4) [6, 10]:

$$A_{cp} = A_{\min} + \frac{TA}{2}, \quad (2.4)$$

де $A_{\min}$ – Розмір обробки, мм;

TA – допуск на розмір обробки, мм.

$$A_{cp} = 6 + \frac{0,12}{2} = 6,06 \text{ мм.}$$

Середній розмір щупу знаходять за формулою (2.5):

$$S_{cp} = S_{\max} - \frac{TS}{2}, \quad (2.5)$$

де S – номінальний розмір щупа, мм;

TS – допуск до розміру зонда, мм.

$$S_{cp} = 1 - \frac{0,006}{2} = 0,997 \text{ мм.}$$

Середній розмір установу знаходять за формулою (2.6):

$$H_{cp} = A_{cp} - S_{cp}, \quad (2.6)$$

$$H_{cp} = 6,06 - 0,997 = 5,063 \text{ мм.}$$

Допуск за розмірами установки з урахуванням середньої економічної точності механічної обробки знаходять за формулою $TH_{уст}$ (2.7):

$$TH_{уст} = TA_2 - (k_1 \times \varepsilon_6 + \varepsilon_{закр} + k_2 \times \omega). \quad (2.7)$$

де TA_2 – допуск розміру обробки, мм;

k_1 – фактор, що враховує зменшення похибки базування за рахунок того, що монтажний елемент в пристосуванні замінюється нечасто, а фактичні базові розміри заготовки рідко дорівнюють граничним розмірам, $k_1=0,8 \dots 0,85$;

ε_6 – помилка базування, мм;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – помилка затиску, мм;

k_2 – коефіцієнт, що враховує частку похибки обробки як частку загальної похибки, спричиненої факторами, незалежними від конструкції пристосування, $k_2=0,6 \dots 0,65$;

ω – середня економічно ефективна точність обробки $\omega=0,05$ мм [6, табл. 5.6, стр.66].

$$TH_1 = 0,12 - (0,8 \times 0,0105 + 0,03 + 0,6 \times 0,05) = 0,068 = \pm 0,034 \text{ мм.}$$

Виконавчий розмір установка: $5,063 \pm 0,034$ мм.

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Показана схема розрахунку сили затиску на рисунку 2.4.

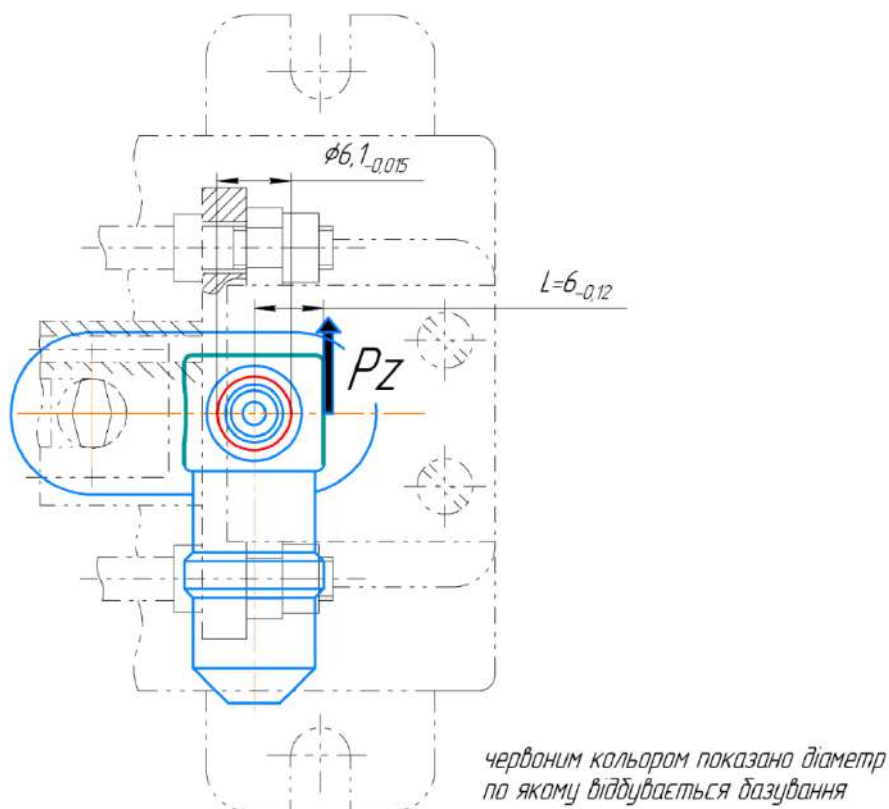


Рисунок 2.4 – Схема для визначення сили затиску

Визначаємо величину основної складової сили різання при фрезеруванні окружною силою за формулою (2.8):

$$P_z = \frac{10 \times C_p \times t^x \times s^y \times B^u \times z}{D^q \times n^w} \times K_{MP}, \quad (2.8)$$

де C_p – постійна для конкретних умов обробки ($C_p=68,2$ [3, табл. 41, стр. 291]);

t – глибина різку, мм;

S – подача, мм/зуб;

V – швидкість різання при механічній обробці, м/хв;

x, y, u, q, w – показники для конкретних умов обробки ($x=0,86, y=0,72, u=1, q=0,86, w=0$ [3, табл. 41, стр. 291]);

K_{MP} – поправочний коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу ($K_{PM}=1,14$ [3, табл. 9, стр. 264]).

$$P_z = \frac{10 \times 68,2 \times 0,93^{0,86} \times 0,025^{0,72} \times 11,48^1 \times 2}{20^{0,86} \times 900^0} \times 1,14 = 285 \text{ Н.}$$

Необхідно вивести формулу для визначення сили затиску (2.9):

$$\begin{aligned} k \times \sum M_{akZ} &= \sum M_{npZ} \\ \sum M_{ak} &= P_z \times l \\ l &= l^I \times \cos \alpha \\ \sum M_{np} &= M_{TP} = 2 \times T \times R \\ \sum M_{ak} \times Z &= P_z \times l \\ k \times P_z \times l - 2 \times T \times R &= 0 \\ T &= f \times N \\ N &= \frac{W}{2 \times \sin(\alpha/2)} \\ k \times P_z \times l &= f \times \frac{W}{2 \times \sin(\alpha/2)} \times R \\ W &= \frac{k \times P_z \times l \times \sin(\alpha/2)}{f \times R}, \end{aligned} \quad (2.9)$$

де k – коефіцієнт запаса;

α – кут призми ($\alpha=90^\circ$).

Величина коефіцієнта запаса міцності визначається за формулою (2.10):

$$k = k_0 \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times k_4 \times k_5 \times k_6, \quad (2.10)$$

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

$k_1=1$ – коефіцієнт, що враховує зміну сил різання при механічній обробці через нерівномірність запасу на заготовці;

k_2 – фактор, що враховує знос ріжучого інструменту і марку матеріалу $k_2=1,2$ [6, табл.6.1, стр.101];

$k_3=1,2$ – коефіцієнт, що враховує умови переривчастого типу обробки;

$k_4=1$ – коефіцієнт, що враховує сталість затискних сил;

k_5 – характеризує затиск з точки зору зручності затиску заготовки. $k_5 = 1,0$;

k_6 – враховується лише тоді, коли є круті моменти, які прагнуть обертати заготовку, і залежить від типу опорної поверхні пристосування, $k_6=1$.

$$k = 1,5 \times 1 \times 1,2 \times 1,2 \times 1 \times 1 \times 1 = 2,16.$$

Підставляючи числові значення в (2.16), отримаємо:

$$W = \frac{2,16 \times 285 \times 0,021 \times \cos 90^\circ \times \sin(90^\circ / 2)}{0,15 \times 0,009} = 6770 \text{ Н}.$$

Для фіксації заготовки використовуємо затискний пристрій з пневматичним приводом.

Сила, що розвивається пневмоциліндром, визначається за формулою (2.11):

$$Q = W \quad (2.11)$$

де W – необхідне зусилля затиску, Н;

$$Q = 6770 = 6770 \text{ Н}.$$

Діаметр пневмоциліндра розраховується за формулою Q (2.12):

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \times p \times \eta} + d^2}, \quad (2.12)$$

де $p=0,6$ МПа – тиск повітря в пневматичному циліндрі;

$\eta=0,85$ – Коефіцієнт корисної дії з урахуванням втрат на тертя.

$d=0,025$ мм – діаметр штока.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times 6770}{3,14 \times 0,6 \times 10^6 \times 0,85}} + 0,025^2 = 132 \text{ мм.}$$

Візьмемо найближче вище стандартне значення діаметра циліндра: $D=130$ мм.

По [6, табл. 7.3, с. 139] вибираємо параметри пневматичного пристрою:

- діаметр штока – 25 мм;
- діаметр різі на штоці – М16.

Найслабшою частиною пристосування є різьблення.

Розрахуємо різьблення для зсуву і зминання.

Визначте величину напруги зсуву в різьбі стрижня за формулою (2.13):

$$\tau = \frac{P}{\pi \times d_1 \times k \times H \times k_m}, \quad (2.13)$$

де P – сила, що діє на витки різі, Н;

d_1 – внутрішній діаметр різі, м;

$k=0,87$ – коефіцієнт повноти різі;

H – довжина різі у проушині, м;

$k_m=0,75$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження по витках різби з урахуванням пластичної деформації.

$$\tau_{cp} = \frac{1219,22}{3,14 \times 14,05 \times 10^{-3} \times 0,87 \times 16 \times 10^{-3} \times 0,75} = 2,65 \text{ МПа.}$$

Максимально допустима напруга зсуву для цього матеріалу становить $[\tau]_{cp} = 105 \text{ МПа.}$

Тому: $\tau_{cp} < [\tau]_{cp}$.

Розрахунок ниток на зминання проводиться з урахуванням того, що $P=1219,22 \text{ Н:}$

$$\sigma_{cm} = \frac{4 \times 1219,22}{3,14 \times (0,016^2 - 0,01405^2) \times 0,75 \times 10} = 0,44 \text{ МПа.}$$

Допустима напруга руйнування для матеріалу становить $[\sigma]_{cm}=280 \text{ МПа.}$
Тому: $\sigma_{cm} < [\sigma]_{cm}$.

За результатами розрахунків робимо висновок, що різьблення тяги витримає навантаження, що виникають в процесі експлуатації пристрою.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Випробувальний прилад використовується для перевірки допусків розташування поверхні (биття, паралельності) сопла, показаних на рисунку 2.5.

Деталь встановлюється в спеціальний центр 23 і центр 24. Центр 23 обертається на підшипниках в стійці 20. Центр 24 встановлений в стійці 17 і має можливість переміщення в поздовжньому напрямку для затягування заготовки при монтажі. Для його переміщення використовується рукоятка 16. Для фіксації центру 24 в певному положенні використовується гвинт 32. Стійки з центрами своїми бічними поверхнями повинні щільно прилягати до бруса 11 (для установки осі центрів). Надійна фіксація забезпечується гвинтами 33, встановленими на бруску 13 перпендикулярно похилим поверхням стійок 17 і 20. Планка кріпиться до пластини 15 за допомогою двох штифтів і трьох болтів М6×25. До пластини також прикріплений брусок 12 (два болта М6×25 і штифт Ø6), він служить направляючою для стійки 18, на якій встановлений тримач 21 з перетворювачем 2 (для контролю биття торця). Для того щоб виставити планку 12 перпендикулярно осі центрів, в неї запресовують штифт Ø8. Отвір для штифта в пластині виконано з зазором, що дозволяє регулювати положення планки болтами 26, встановлюються в планки 10. На плиті, праворуч від бруса 12, може бути встановлена стійка 19, з встановленим на ній тримачем 22. Тримач кріпиться до стійки двома болтами М6×25. На кінцях держателя є отвори з роз'ємними втулками 25. Для установки індикаторів використовуються втулки. Фіксація індикаторів у втулках здійснюється гвинтами 31. Стійка 19 повинна упиратися своїм нижнім виступом в брусок 11. Це гарантує, що індикаторна лапка розташована безпосередньо над поверхнею керуючого ролика 3 (4, 5, 6, 7). Пристосування поставляється з п'ятьма регулюючими роликами. Ролик підбирається відповідно до фактичного розміру отвору кривошипа.

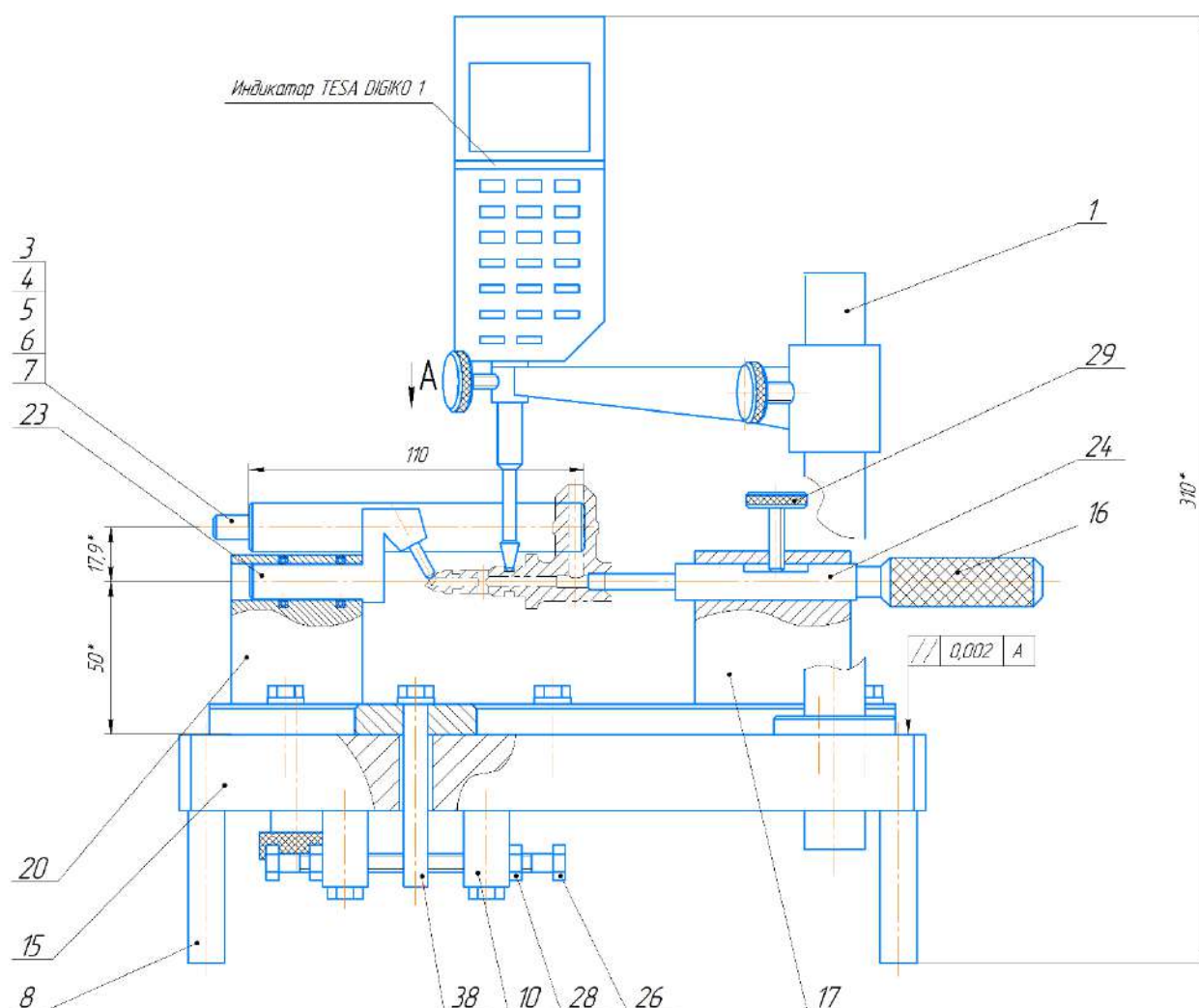


Рисунок 2.5 – Конструкція контрольного пристосування

Індикатор TESA DIGIKO 1, який використовується для контролю радіальних биття, встановлений на стійці 1. Для виконання вимірювання стійка виводить індикатор на потрібну поверхню, деталь обертається - на дисплей індикатора виводиться інформація про придатність деталі за цим параметром.

У перетворювачі 2 і тримачі 15 встановлені індикатори TESA DIGIKO 11. Ці індикатори мають можливість вводити граничні значення вимірюваного параметра, що класифікується за кольором світлодіоду: зелений – «добре», жовтий – «уточнений», червоний – «бракований». Індикатор TESA DIGIKO 1 також має можливість введення граничних параметрів, але позначається різнобарвним підсвічуванням дисплея.

Допустима сумарна похибка вимірювання контрольно-вимірювальних приладів є частиною допуску контролюваного параметра $|\delta_{изм}| = k \cdot IT$, де k

залежить від якості або ступеня точності контрольованого параметра і може приймати значення от 0,2 до 0,3). У нашому випадку ми приймаємо $k=0,35$ [6, с.3].

$$|\delta_{\text{вим}}|=0,35 \cdot 20=7 \text{ мкм}$$

В відповідності с ГОСТ 8.051-81 (СТ СБ 303-76) приймаємо $|\delta_{\text{вим}}|=10 \text{ мкм}$.

Визначимо допустиму похибку вимірювального приладу (інструментальну похибку) (2.14):

$$|\Delta_{\text{ін}}|=0,7|\delta_{\text{вим}}|=0,7 \cdot 10=7 \text{ мкм} \quad (2.14)$$

Ціна поділки визначається в залежності від величини допустимої інструментальної похибки засобу вимірювальної техніки (СІ). Приймаємо $|c|=|\Delta_{\text{ін}}|=5 \text{ мкм}$.

В даний час міжнародний стандарт ISO 463.2006 замінив окремі національні стандарти на пристрої механічного годинникового типу. Знову введені загальні поняття і вимоги до засобів вимірювальної техніки призводять до деяких змін в конструкції і метрологічних характеристиках. В якості вимірювального приладу ми використовуємо електронний індикатор з цифровою індикацією, що відповідає останнім світовим вимогам до вимірювальних приладів.

Інформація виводиться безпосередньо на дисплей індикатора, що виключає вплив освітленості і паралакса на процес вимірювання.

Межа вимірювання приладу (діапазон вимірювань) визначається умовами експлуатації.

Вимірювальна сила $P_{\text{вим}}$ визначається характером досліджуваних поверхонь під час вимірювання, жорсткістю поверхні, що перевіряється, і величиною допуску вимірюваної пари метрів. Величина вимірювального зусилля приймається рівною 5 Н, так як обмежень по його величині немає. Допустиме коливання вимірювальної сили визначається величиною $\Delta P_{\text{ус}}=1 \text{ Н}$.

Відповідно до ГОСТ 23542-79 ми обумовлюємо кількість циклів вимірювань, які забезпечують задану кількість контрольних операцій.

За 3 роки буде виготовлено 5000 виробів. Контролюватиметься 25%, тобто 1250 штук.

Імовірність безаварійної роботи буде встановлюватися виходячи $|P|=0.85$ з можливостей вимірювальних приладів, що випускаються інструментальною галуззю машинобудування (2.15).

$$t(P)=12500,85=1062 \text{ цикли вимірювання.} \quad (2.15)$$

Після того, як допустимі значення метрологічних, експлуатаційних і надійних показників відомі, можна приступати до пошуку засобів вимірювальної техніки. За каталогами вимірювальних приладів відомих світових виробників, продукція яких сертифікована на території України, ми вибираємо електронний індикатор TESA DIGIKO 11, який має наступні параметри:

- гранично допустима похибка $\Delta_{\text{ін}} = 0,002 \text{ мм}$;
- ціна поділки $c = 0,005 \text{ мм}$;
- діапазон вимірювань $B = 0-1 \text{ мм}$;
- зусилля вимірювання $P_{\text{ус}} = 0,7 \text{ Н}$;
- допустиме коливання вимірювальної сили $\Delta P_{\text{ус}} = 0,2 \text{ Н}$;
- кількість циклів вимірювання $t(P) = 550000$ з ймовірністю $p = 0,9$.

Порівнюючи ці значення з допустимими (розрахунковими), приходимо до висновку, що задані умови точності, надійності та економічності дотримані.

Ескіз обраної вимірювальної головки показаний на рис. 2.6.

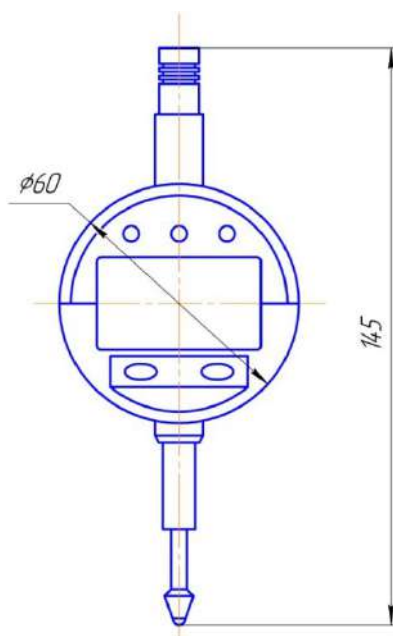


Рисунок 2.6 – Ескіз індикатора TESA DIGIKO 11

Показник має такі характеристики:

- можливість установки початку роботи цифрової шкали в будь-якій точці діапазону вимірювань;
- Числова шкала та клавіатура обертаються на 270°
- можливість утримувати вимірювану величину;
- цифровий вхід (функція PRESET);
- дві опорні точки;
- цифровий вихід;
- можливість введення граничних значень для класифікації за кольором світлодіода: зелений для «Добре», червоний для «Дефектний», жовтий для «Уточнений»;
- Запис у пам'ять за допомогою функцій «Найбільше значення», «Найменше значення», «Найбільше значення мінус найменше значення»;
- перерахунок зі зворотним розрахунком.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Застосування промислових роботів при розробці енергоефективних технологічних процесів

Актуальність використання промислових роботів у процесі розробки енергоефективної технології виготовлення деталі форсунки базується на поглибленому розгляді проблеми оптимізації виробничих процесів для досягнення підвищеної енергоефективності та конкурентоспроможності в сучасному промисловому виробництві. Застосування промислових роботів у даному контексті надає можливість автоматизувати і раціоналізувати виробничі операції, що допомагає знижувати витрати енергії та матеріалів, а також підвищує якість та точність виготовлення деталі форсунки.

Ключовими перевагами використання промислових роботів є здатність працювати некерованими та безперервно на протязі тривалого часу, забезпечуючи стабільність та однаковість виробничого процесу. Це також відкриває можливість для впровадження інноваційних технологій та вдосконалення процесів моніторингу та контролю, що сприяє підвищенню ефективності та зменшенню втрат [11].

У контексті збільшення усвідомленості стосовно екологічних питань та сталих практик у виробництві, використання промислових роботів дозволяє виробляти деталі форсунки з меншими енергетичними та матеріальними затратами, сприяючи створенню більш екологічно стійких та сталіших виробничих процесів.

Отже, можна вважати, що впровадження промислових роботів у розробку енергоефективного процесу виготовлення деталей форсунок є актуальним та обґрунтованим кроком у досягненні більш сталих та конкурентоздатних виробничих практик [11].

Продовжуючи розгляд актуальності застосування промислових роботів при розробці енергоефективного процесу виготовлення деталей форсунок, важливо враховувати декілька важливих аспектів:

Підвищення продуктивності: Промислові роботи можуть працювати безперервно та на високій швидкості, що призводить до збільшення продуктивності виробничого процесу. Це дозволяє ефективніше використовувати енергію та ресурси.

Мінімізація відходів: Використання роботів у виробництві може допомогти уникнути виробництва непотрібних відходів, оскільки роботи здатні працювати з великою точністю і уникати помилок у виготовленні деталей.

Енергоефективність: Роботи можуть бути програмовані для оптимального використання енергії, зменшуючи споживання електроенергії та інших ресурсів. Це сприяє зменшенню викидів парникових газів та покращенню екологічного впливу виробництва.

Підвищення якості продукції: Промислові роботи забезпечують високу точність та репродуктивність у виготовленні деталей, що покращує якість кінцевої продукції та доводить її до вищого стандарту.

Економія робочої сили: Використання роботів дозволяє зменшити залежність від людської робочої сили, особливо в технологічно важких і небезпечних умовах.

Зазначені переваги застосування промислових роботів у процесі розробки енергоефективного виготовлення деталей форсунок свідчать про важливість та актуальність цього підходу в сучасному виробництві. Додаткові дослідження та розробки можуть ще більше розширити можливості цього методу та сприяти створенню більш сталого та конкурентоздатного виробничого середовища [11].

В подальшому розвитку досліджень та впровадженні промислових роботів у виготовленні деталей форсунок можна розглядати такі напрямки:

Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання: Використання алгоритмів ШІ та нейронних мереж для роботів дозволить підвищити їхню здатність до аналізу та оптимізації виробничих процесів.

Застосування роботів в адаптивних системах: Роботи можуть бути програмовані для адаптації до змінних виробничих умов, що забезпечить більшу гнучкість та ефективність виробництва.

Колаборативні роботи: Розробка роботів, які можуть співпрацювати безпечно з людьми, відкриває нові можливості для спільної роботи людей і роботів у виробничому процесі.

Моніторинг і аналіз даних: Використання датчиків і систем збору даних дозволить в режимі реального часу відстежувати стан процесів і вчасно виявляти аномалії, що покращить управління якістю та продуктивністю.

Стандартизація та безпека: Розробка стандартів для використання роботів у виробництві, а також вдосконалення систем безпеки, що стосуються роботів, сприяють їхньому поширенню та використанню в різних галузях.

Екологічні аспекти: Вдосконалення дизайну та виробництва роботів з огляду на зменшення екологічного впливу та використання енергоефективних технологій важливо для збереження довкілля.

Глобальний ринок і конкурентоспроможність: Вивчення глобальних трендів у використанні роботів у виробництві допоможе підприємствам залишатися конкурентоспроможними та адаптуватися до змін на ринку.

Усі ці аспекти спільно сприяють подальшому розвитку використання промислових роботів у виробництві енергоефективних деталей форсунок та дозволяють досягти більшого рівня сталості та ефективності в цій галузі.

Після десятиліть використання промислові роботи нарешті досягли повноліття. Виробництво завтрашнього дня використовуватиме робототехніку, щоб стати розумнішими, швидшими та ефективнішими [11].

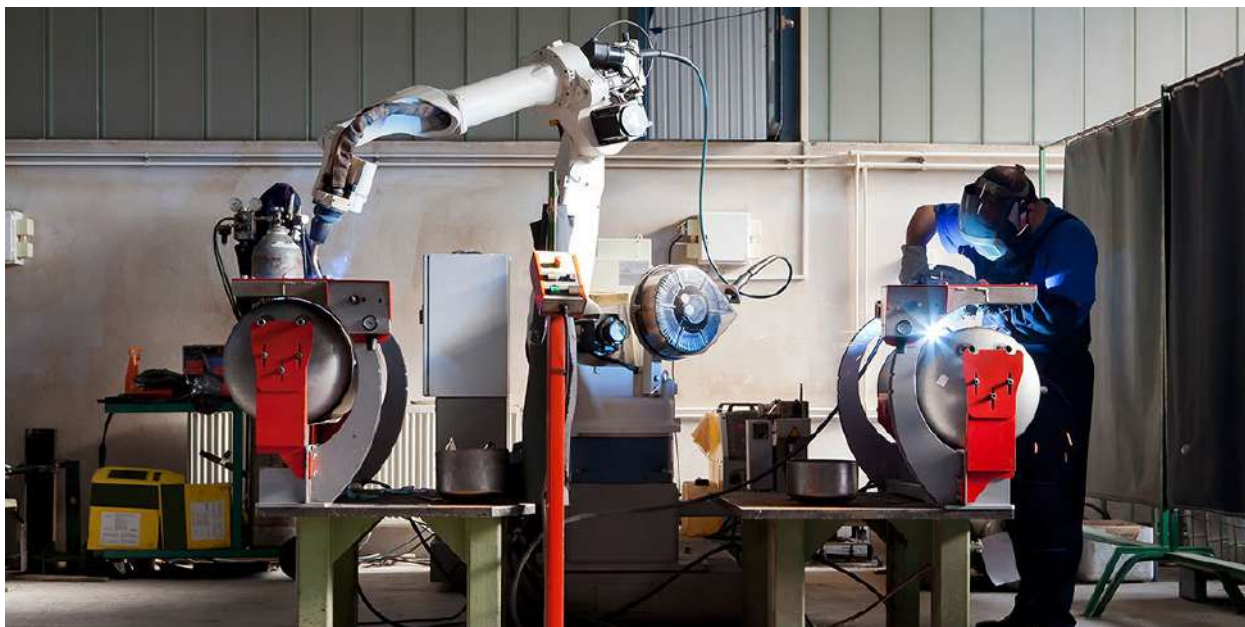


Рисунок 3.1 – Приклад застосування промислового роботу [11]

Промислові роботи ідеально підходять для брудних, небезпечних чи нудних виробничих робіт або потребують точності, якої можуть досягти лише роботи.

Деякі промислові роботи можуть бути адаптовані для будь-яких цілей: від автоматизованих складальних ліній до точного збирання яблук.

Хоча роботи незмінно забезпечують підвищену продуктивність та безпеку, вони також можуть призвести до непередбачених витрат через проблеми з обслуговуванням та сумісністю систем.

Є три основні причини використання промислових роботів у виробничому бізнесі: брудно, небезпечно та нудно. Вони здаються негативними, але ці види робіт ідеально підходять для роботів, і в міру того, як індустріалізація триватиме у великих масштабах, роботи відіграватимуть ще більшу роль у виробництві.

Природно думати, що роботи та автоматизація нерозривно пов'язані між собою, але, незважаючи на те, що між ними багато спільного, вони не одне й те саме.

Автоматизація — це використання програмного забезпечення, обладнання або технологій для виконання завдань, які інакше виконувала б людина. Уявіть собі механізм керування дорожнім рухом, який автоматично спрямовує роботу відповідного відділу або співробітника, налаштовуючи необхідні файли та ресурси для її виконання.



Рисунок 3.2 – Роботизована дільниця виробництва автомобільних деталей [11]

Робототехніка включає машини, що використовують датчики і виконавчі механізми для взаємодії зі світом і виконання автономних або напіваавтономних дій, які часто щоразу абсолютно однакові.

Роботи універсальні. Програмне забезпечення, яке ними керує, перепрограмується, а до шарнірних або рухомих частин можна прикріпити різні виконавчі механізми для виконання різних завдань — наприклад, заміни магнітного захоплення присоскою або зварювального пальника.

Однак автоматизація та робототехніка переплетені: обидві вони є епохою Індустрії 4.0, що стирає межі між фізичним та цифровим і забезпечує вбудовані можливості підключення та багатофункціональні функції.

Типи промислових роботів

Ось короткий вступ у поширені типи роботів і те, що вони роблять [11].

Для повторюваних, високоточних завдань, таких як складальні лінії, лінійні роботи зазвичай знову і знову вирішують одну частину головоломки у міру того, як продукція надходить на їхню територію.

Лінійні роботи мають невелику кількість осей, які рухаються вперед і назад по прямій лінії вздовж однієї площини руху, як людське коліно чи лікоть. Коли вони з'єднані з іншим суглобом (наприклад, зап'ястям або плечем), вони можуть здійснювати простий рух кількома осями. Лінійні роботи, що не мають осей, що обертаються, найбільше підходять для автоматизованих завдань.

Рука робота з селективною податливістю (або SCARA) має розташування суглобів паралельної осі, що означає, що рука трохи податлива по осях X і Y, але жорстка по осі Z (отже, "селективна"). Дволанкове компонування SCARA імітує зчленування людської руки, що дає їй унікальну здатність виконувати свою роботу, а потім втягуватися або складатися убік.

Уявіть собі роботизовану руку, яка затягує важкодоступний гвинт; складає предмети у велику стопку на складі; або дрейфує навколо затонулого корабля, обережно відкриваючи отвори або підбираючи предмети для камери.

Крок за межі SCARA: шарнірно-зчленовані роботи мають кілька суглобів та площин руху. Простіше кажучи, шарнірно-зчленована рука робота може мати два шарніри між трьома жорсткими частинами, що дозволяє рухатися у будь-якому напрямку. SCARA також може включати сферичні роботи, зазвичай з одним лінійним шарніром і двома поворотними шарнірами, що надає їм сферичну робочу зону.

З іншого боку, популярний образ людиноподібних роботів є класичним прикладом, оскільки їм необхідна безліч шарнірних з'єднань всіх мислимих типів (шарнір, шарнір, шаровий шарнір і т. д.), щоб рухатися і поводитися як люди.

Але поки не настане епоха роботів-гуманоїдів-помічників, шарнірно-зчленовані роботи будуть корисні для зварювання, обробки матеріалів, збирання, комплектації та розміщення, упаковки та безлічі інших завдань.



Рисунок 3.3 – Використання роботів для надточних робіт [11]

Циліндричні роботи стоять на підставі, що обертається, або п'єдесталі з пристосуванням для рук, яке переміщається вгору і вниз по тілу і розширюється всередину і назовні, що часто називають «призматичним» з'єднанням.

Подумайте про машину в аеропорту, яка упакує ваш багаж у термозбіжну плівку: її кріплення на важелі притискає липкий пластик, коли він рухається вгору і вниз по основному корпусу, гарантуючи, що ваша валіза повністю закрита. На заводі циліндричний робот може взяти щось із одного конвеєра чи станції, підняти і повернути, щоб опустити на інший.

Дельта-робот, що є рідкістю у промисловій робототехніці, розташований над робочою зоною та названий на честь грецької літери, яку він нагадує: перевернутий трикутник.

Блок живлення та приводу оснащений трьома руками, часто набагато тоншими, ніж у більших і важких промислових роботів у звичній уяві. Він керує ними з точністю і швидкістю (через їхню меншу масу). Еффектор здатний працювати в легких і повторюваних програмах, таких як фармацевтичні препарати, продукти харчування, косметика або роздрібна упаковка.

Оскільки роботи часто є важкими промисловими машинами, їх традиційно розміщують окремо від людей-операторів з міркувань безпеки.

Але це початок нової ери співробітництва людини та робота. Найкращий дизайн корпусу, легкі або м'які матеріали, а також покращена сенсорна технологія означають, що роботи безпечніші у використанні. Мало того, розумні алгоритми можуть навчити робота працювати безпосередньо з людиною, виконуючи завдання у відповідь на завдання, які виконує його співробітник-людина.

Переваги використання промислових роботів у виробництві [11]

Потенціал, який справді продасть робототехніку вашій раді директорів чи вищому керівництву, — це перевірене покращення чистого прибутку. Нещодавні дослідження (PDF) про інновації в галузі розумних фабрик показали збільшення обсягу виробництва на 10%, використання виробничих потужностей на 11% та продуктивність праці на 12%.



Рисунок 3.4 – Використання роботів для автоматизації монотонної праці [11]

Приклади впровадження інноваційних промислових роботів

Тим не менш, роботи можуть робити дивовижні речі, в деяких випадках доводячи, що вони унікально підходять для областей, які тривалий час вважалися за сферу діяльності людини. Ось лише кілька додатків:

Промислове полірування стало простіше

Поверхня виготовленої деталі часто має вирішальне значення для її роботи, і те, чи вона глянсова, плоска, блискуча або матова, може істотно змінити її ефективність. Від натирання наждачним папером до лазерного травлення полірування завжди було інтенсивною людською діяльністю, оскільки її часто оцінюють на погляд і на дотик. Поняття «досить блискучий» нічого не означає для робота, що рухається комп'ютеризованими цінностями математики. На рисунку 3.5 показано приклад використання подібного роботу.

Завдання робота, що виконує ту саму роботу, полягає в тому, що йому доводиться переміщатися по незліченних точках руху, регулюючи кут підходу, швидкість і силу для кожної конкретної задачі. Але ця проблема не завадила Symplexity, європейському співробітництву між науковими колами та промисловістю, створити робота для обробки поверхонь.

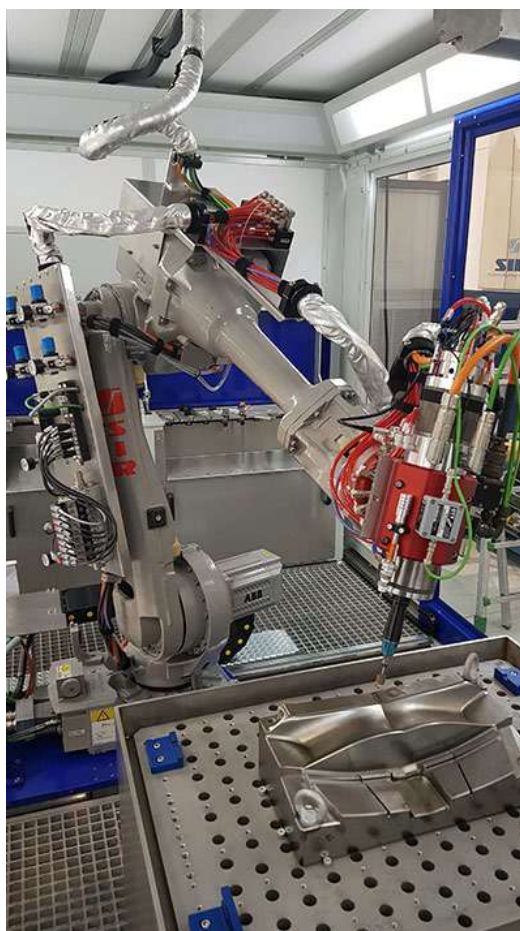


Рисунок 3.5 – Приклад використання роботу для полірування [11]

Використання промислового роботу для автоматизації виробництва обробки деталей.

Автоматизована лінія обробки складається з завантажувального конвеєра (система технічного зору iRVision), завантажувальна конвеєрна стрічка (з iRVсистема ion Vision), крокуючий робот R1 (рейковий тип), стаціонарний робот R2, two Вертикальні обробні центри VM0 кошик готової продукції, система шафи управління і т. д. Схема розташування обладнання показана на рисунку 3.6.

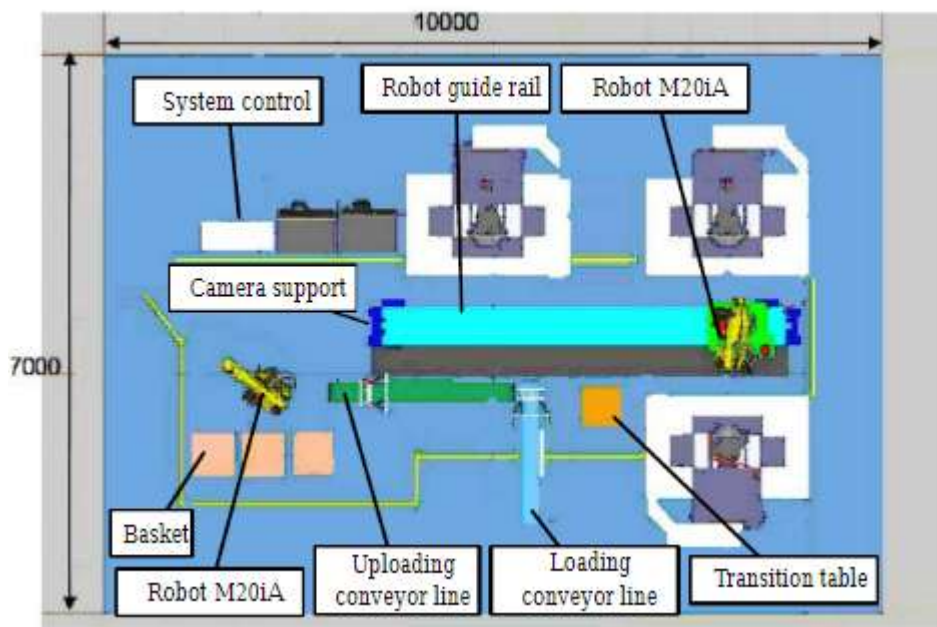


Рисунок 3.6 – Приклад розташування обладнання для обробки деталі [11]

Робот ФАНУК надає користувачу платформу розробки для відкритого та розширюваного електронного робота та системи контролю. Ми можемо легко додати систему візуального виявлення, шток і різні датчики до системи управління, або додайте різні кінцеві інструменти для розширення функцій роботів, які можуть бути інтегровані система управління роботом, щоб отримати розвиваючі функції. В основному він використовується для захоплення заготовлі, завантаження і інструменти, захоплення заготовки між обробками процеси, видалення готових продуктів і транспортування на конвеєрні стрічки. А інший робот R2 використовуючі унікальну технологію FANUC технологія інтелектуального робота (iRVision visi по функції) призначений для завантаження та оцінки готового продукту в кошику.

Дизайн руки робота розроблено відповідно характеристиками форми частини заготовки. Рука включає пневматичний, сенсорний і механічний з компоненти. Пневматична рука роботу показано на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Пневматична рука [11]

Приклад використання руки для захвату деталі з конвеєрної ленти показано на рисунку 3.8.

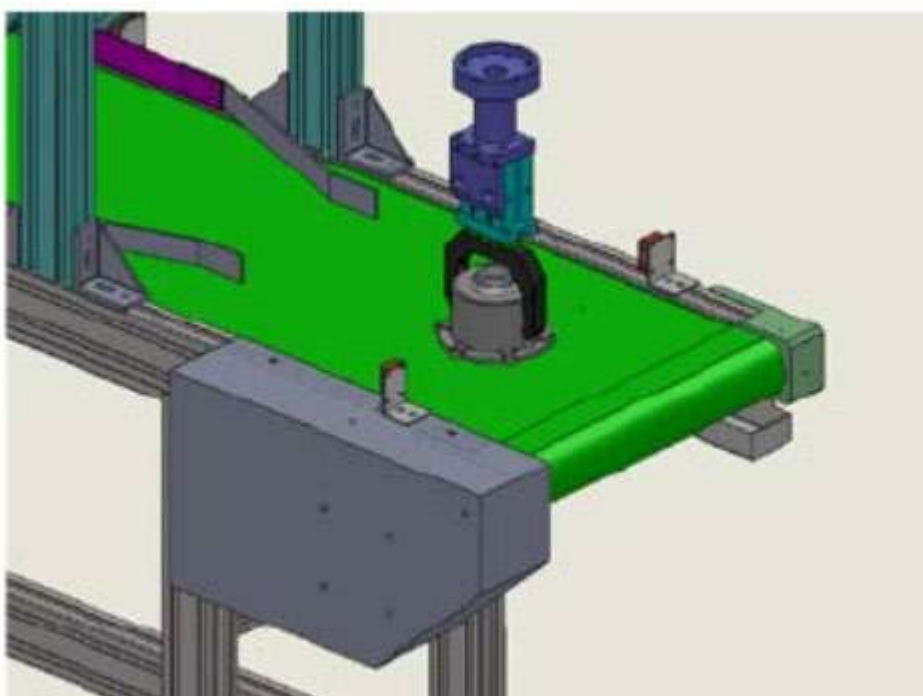


Рисунок 3.8 – Приклад використання руки роботу [11]

З вимогою промислової автоматизації по зниженню трудомісткості і безпілотного виробництва і отримати високу точність і ефективність обробки

виробів, верстатобудування виробники і користувачі надають велике значення автоматичному л робота. пристрій завантаження і завантаження, яке діє як допоміжна частина верстата з ЧПУ. Ця автоматична виробнича лінія поєднує передові технології, такі як робот-технологія, технологія ПЛК, датчик діючі технології, комунікаційні технології та номер технологія електронного управління, набуває техніку все поєднання робот і верстат з ЧПУ, спрощення це режим роботи верстатів з ЧПУ, і покращує безпеку експлуатації верстатів з ЧПУ. Робот знижує трудомісткість, навантаження і завантаження заготовок і автоматична обробка підключена щільно, що значно підвищує ефективність роботи, ефективність і стає застосовним. Використання інтелектуальних роботів для високих гнучкості та автоматизація за низької вартості, безсумнівно, призведуть до інтелектуального виробництва.

На рисунку 3.9 показані типові конструкції промислових роботів FANUC.

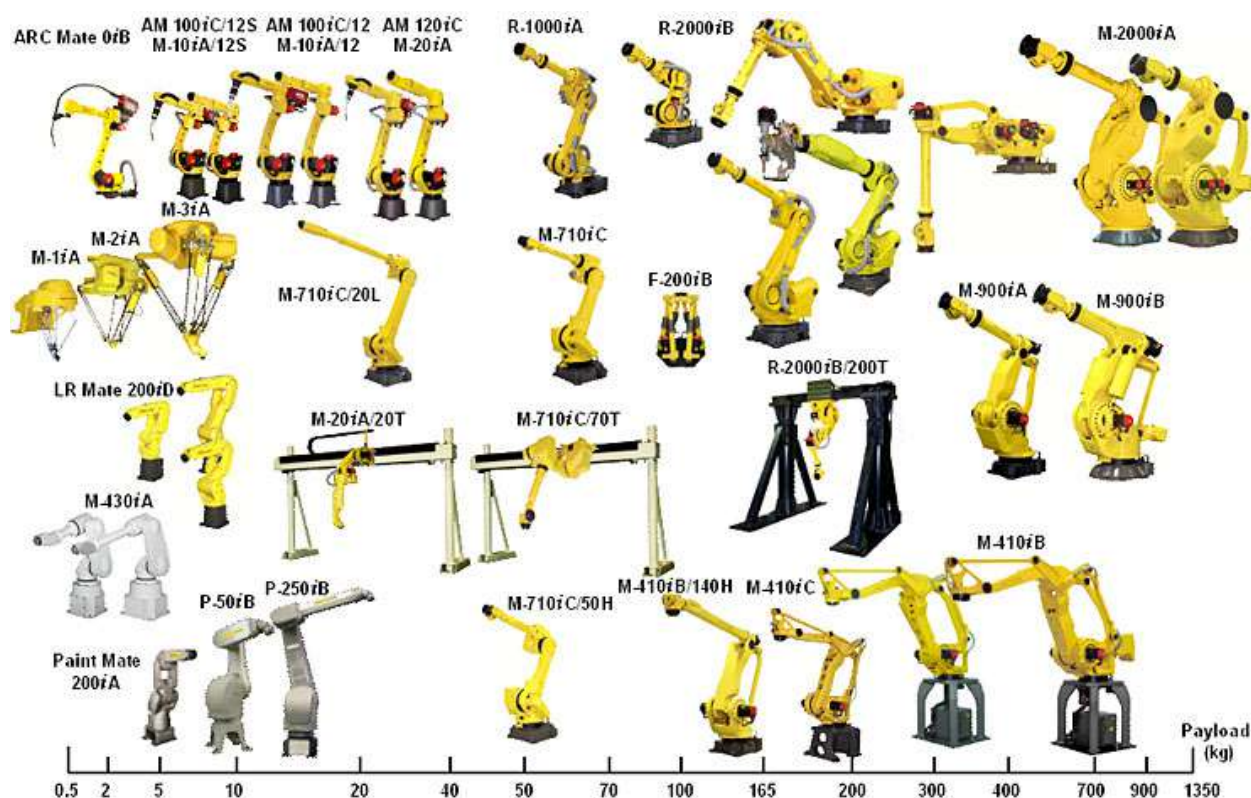


Рисунок 3.9 – Номенклатура промислових роботів FANUC [11]

4 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Особливості електроерозійної обробки

Введення в електроерозійну обробку

Електроерозійна обробка - це різновид спеціальної технології обробки, яка широко використовується у виробництві прес-форм та механічній обробці. Електроерозійну обробку можна використовувати для обробки надтвердих матеріалів та заготовок складної форми, які важко обробляти традиційними методами різання. Зазвичай його використовують для обробки матеріалів, що проводять електрику. Він може обробляти складні матеріали, такі як титанові сплави, інструментальні сталі, вуглецеві сталі та тверді сплави. порожнини чи контури. Процес електроерозійної обробки показано на рисунку 4.1.

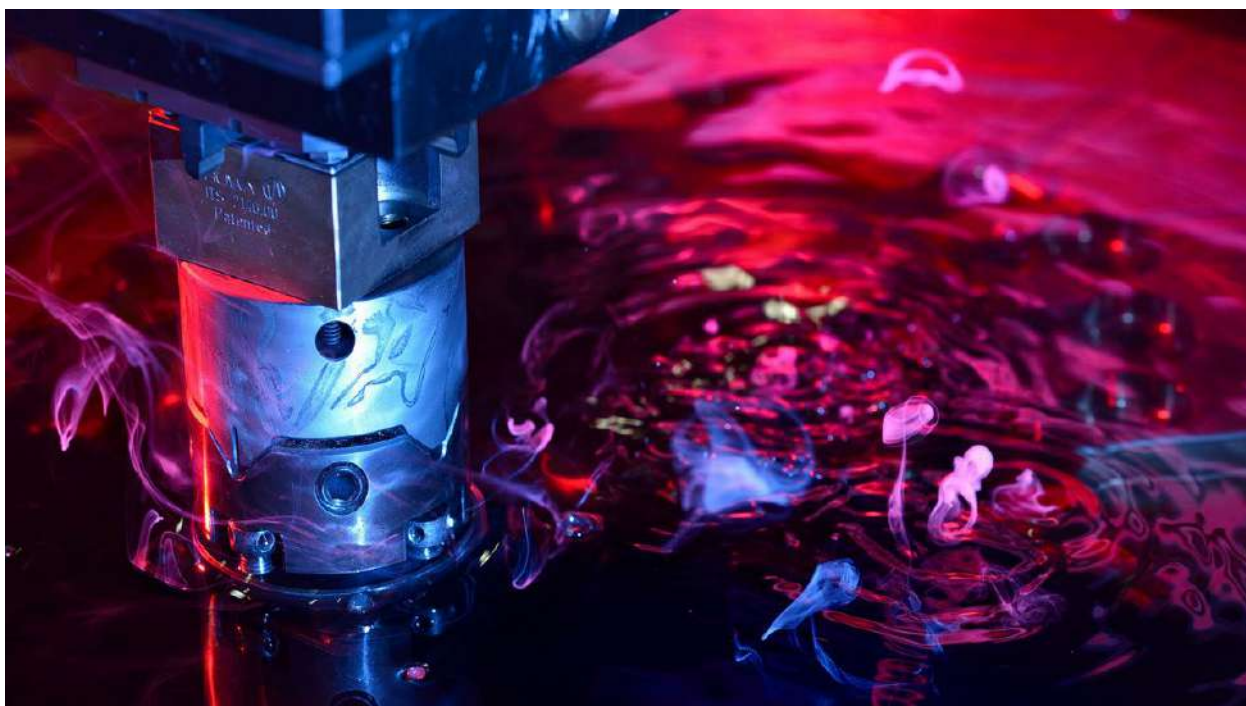


Рисунок 4.1 – Процес електроерозійної обробки

Технічний принцип

Спеціальний метод обробки для видалення провідних матеріалів з використанням електроерозійного ефекту, що створюється імпульсним розрядом між двома полюсами, зануреними в робочу рідину. Кожен з нас має такий життєвий досвід. Після періоду використання електричних вимикачів поверхня контактної частини часто піддається ерозії електричними іскрами, стає шорсткою та нерівною.

Це явище електроіскрової ерозії. Електроерозійна обробка полягає у використанні цього принципу у певному середовищі за допомогою електричної ерозії імпульсного розряду між електродом-інструментом та електродом заготівлі, методом обробки заготівлі. Основний спосіб такої обробки полягає в наступному: електрод-інструмент та заготівля занурюються в робоче середовище (електроліт), між двома електродами генеруються множинні іскрові розряди, а ступінь ерозії заготовки свідомо контролюється. Заготівля відповідає певним вимогам за розміром та шорсткістю.

Принцип електроіскрової ерозії при обробці металів повинен також відповідати таким умовам: енергія іскрового розряду має бути великою, щоб забезпечити миттєве локальне плавлення та газифікацію металу; форма розряду повинна бути дуже коротким імпульсним розрядом, щоб тепло іскри надто швидко передавалося в необроблену зону, щоб запобігти явищу «горіння»; після кожного імпульсного розряду металеві частинки та іонізовані речовини, що утворюються між міжелектродними проміжками, повинні своєчасно викидатися із зазору, щоб забезпечити безперервну обробку.

Фізичний процес

Фізичний процес корозії електродів електричної іскрою дуже складний і є процес спільної дії електромагнетизму, термодинаміки та механіки рідини, і люди ще не мають повного розуміння цього процесу. Зазвичай вважається, що його можна розділити на три етапи: перший етап формує розрядний канал, в якому електроліт іонізується, розщеплюється та утворює розрядний канал; другий етап формує перетворення енергії на поверхні заготівлі, тобто іскровий розряд, створює теплове розширення та викликає травлення електрода-інструменту та заготівлі; абляція зі стадії 3 викидається з розрядного проміжку для підготовки до наступного розряду.

Особливості обробки

Він може обробляти будь-які тверді, тендітні, жорсткі, м'які, тугоплавкі провідні матеріали, а за певних умов - напівпровідникові та непровідні матеріали.

«Немає сили різання» під час обробки, що корисно для обробки невеликих отворів, тонких стінок, вузьких канавок та різних складних форм отворів, спіральних отворів, порожнин та інших заготовок, а також підходить для прецизійної та мікрообробки.

Коли ширина імпульсу мала, вся заготовка практично не піддається тепловому впливу, тому можна зменшити термочутливий шар, покращити якість поверхні після обробки, а також підходить для обробки термочутливих матеріалів.

Параметри імпульсів можна регулювати довільно, а чорнову, напівчистову та чистову обробку можна виконувати безперервно на одному верстаті. Точність обробки 0,01 мм, значення шорсткості поверхні R 0,8 мкм; Точність тонкої обробки може досягати 0,002-0,004 мм, а значення R шорсткості поверхні становить 0,1-0,05 мкм.

Пряме використання обробки електричної енергії легко досягти автоматизації.

Фактичне застосування

Завдяки високій енергії розряду при електроерозійній обробці він може обробляти матеріали, які неможливо обробляти звичайними методами різання, такі як загартована сталь, жароміцні сплави та тверді сплави. У той же час він широко використовується в галузі обробки різних складних порожнин, штампів та отворів. Оскільки під час процесу електроерозійної обробки між електродом-інструментом і заготовкою немає прямого контакту, сила різання дуже мала, що дуже ефективно для обробки заготовок, що легко деформуються, а також невеликих і точних отворів і вузьких прорізів. Зараз процес електроерозійної обробки широко застосовується у різних галузях промисловості та є дуже перспективним методом обробки.

У сучасній галузі механічної обробки, особливо у прецизійній обробці, широко застосовується електроерозійна обробка. Спектр електроерозійної обробки наступний:

Усі провідні матеріали можна обробляти електроерозійною обробкою.

Висока точність електроерозійної обробки може досягати +/- 0,005 мм, а шорсткість поверхні може досягати найвищої дзеркальної поверхні.

Станції, які не можуть бути оброблені традиційною механічною обробкою, зазвичай можуть бути доповнені електроерозійною обробкою.

Розвантажувальна станція може бути порожниною різних великогабаритних пластикових форм або невеликий отвір шириною 0,1 мм, невелику канавку і т. д.

Переваги і недоліки

- Переваги ЕДМ: Він може виготовляти поверхні незвичайної форми, які неможливо виготовити за допомогою традиційних різальних верстатів.
- Обробка твердих матеріалів може мати хорошу точність допусків.
- Сила різання традиційних обробних верстатів може пошкодити невеликі деталі, а електроерозійна обробка – ні.

Недоліки ЕДМ:

- Непровідники не піддаються обробці (вже є технології обробки керамічних матеріалів).

- Швидкість обробки низька.
- Вартість обробки висока.

Процес обробки

Електроерозійна обробка зазвичай використовується при обробці прес-форм: електроерозійна обробка та різання дротом. Згадана тут електроерозійна обробка переважно відноситься до різання дроту, хоча це і електричний розряд, ефективність якого сильно відрізняється.

Електроерозійну обробку можна розділити на три поширені типи: дротяну електроерозійну обробку, електроерозійну обробку з грузилом і електроерозійну обробку отворів.

Електроерозійне різання дротом:

Використання тонкого дроту для різання предметів також можна назвати ерозією дроту, електроерозійним дротом. У цьому типі дріт використовується як електрод, і під час обробки дріт безперервно подається з автоматичної подачі за допомогою котушки. Якщо вам необхідно виконати процес різання всередині об'єкта, ви можете використовувати невеликий отвір, щоб просвердлити електроерозійний верстат, щоб пробити об'єкт, потім пропустити дріт через отвір і продовжити електроерозійну обробку, дріт можна зафіксувати за допомогою в алмазному провіднику в якості рідини використовується іонізована а дроти зазвичай виготовляються з латуні чи міді.

Обробка профільованим електродом:

Електрод EDM, також відоме як штамп, традиційний EDM або Ram EDM. Використання електроерозійної обробки дозволяє користувачеві створювати складні форми. Цей метод вимагає, щоб електроду (зазвичай виготовленому з графіту або міді) попередньо надали бажану форму, а потім електрод занурювався у виріб, щоб сформувати негатив вихідної форми.

Електроерозійна обробка отворів для свердління отворів:

При електроерозійному свердлінні цей процес використовується для свердління, і електроерозійний станок здатний обробляти дуже маленькі глибокі отвори в порівнянні зі звичайними методами свердління. Крім того, електроерозійне свердління не вимагає зняття задирок. Під час цього процесу електроди мають трубчасту форму, а діелектрична рідина подається через електроди.

Принцип роботи електроерозійної обробки полягає в наступному: між верстатом і заготівлею (позитивними і негативними електродами) використовується метод обробки для видалення надлишкового матеріалу шляхом

електричної корозії під час електричного розряду для досягнення розміру та якості форми заготовки, що залишилася.

Електрод: матеріал електрода повинен мати хорошу провідність, високу температуру плавлення, простоту обробки та стійкість до корозії. Звичайними матеріалами є мідь, графіт, мідно-вольфрамовий сплав та молібден. Мідний та молібденовий дріт є основними матеріалами для різання дроту. При обробці електрод і виріб будуть корозії одночасно, але через характеристики електрода ступінь корозії набагато менше, ніж величина ерозії заготівлі, яку можна практично не враховувати.

Рідка рідина, що охолоджує. Основна функція рідкої охолоджувальної рідини - не охолодження, а робота як нагнітальне середовище, яке відіграє роль в охолодженні та видаленні стружки під час обробки. Вимоги: низька в'язкість, висока температура плавлення та відносно стабільні, нелеткі матеріали. Зазвичай це гас, деіонізована вода та емульсія.

Після подачі імпульсної напруги між електродом верстата і заготовкою, коли між заготовкою та електродом утворюється необхідний зазор, струм розриває середовище між заготовкою та електродом, і з'являється підключений розрядний канал.

Канал розряду миттєво створить високі температури, внаслідок чого поверхня заготовки розплавиться чи навіть випарується. Він швидко стискається та вибухає у розрядному проміжку. Невелика частина поверхні заготівлі еродується і викидається, і утворюється величезна електрична яма.

Після завершення однієї електроерозійної обробки два електроди швидко повернуться на безпечну відстань, покладаючись на те, що діелектрик відновить ізоляцію. Таким чином, поверхня заготовки поступово руйнується імпульсною напругою, що багаторазово впливає на заготівлю та електрод, але цей процес відбувається дуже повільно.

Принципова схема електроерозійної обробки показано на рисунку 4.2.

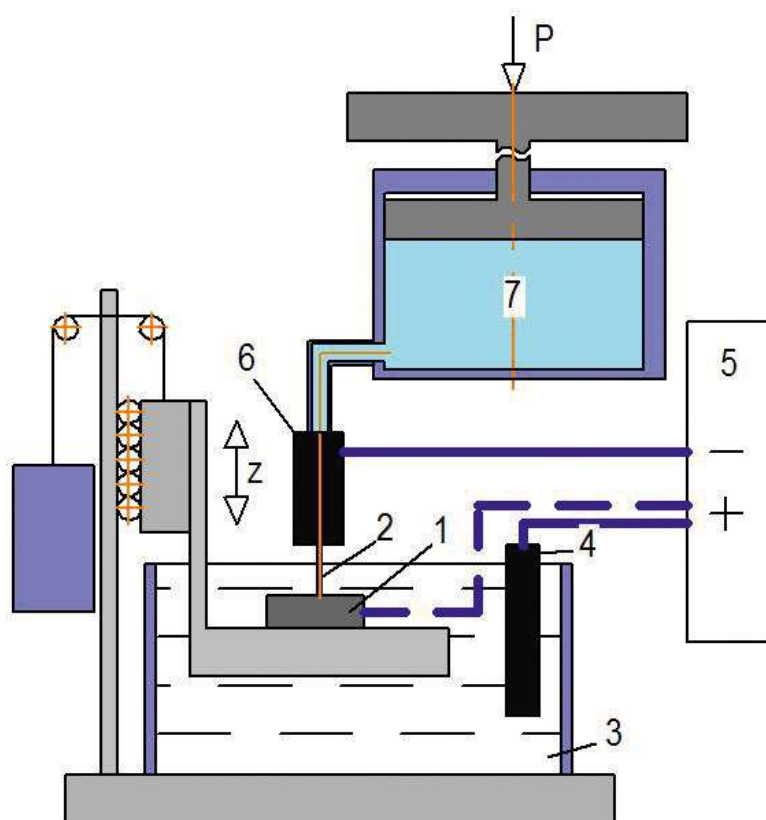


Рисунок 4.2 – Принципова схема електроерозійної обробки

Коли два електроди наближаються один до одного, напруженість електричного поля перевищує силу діелектрика, що дозволяє йому зруйнуватися і тим самим дозволити струму текти між двома електродами. Внаслідок цього впливу поблизу зони виділяється інтенсивне тепло, яке плавить і випаровує матеріал у іскристій зоні. Коли потік струму на мить припиняється, деякі свіжі частинки діелектричної рідини виявляються між міжелектродним проміжком, що відновлює ізолюючі властивості діелектрика. Тверді частинки (сміття) несуть поточний діелектрик. Промивка передбачає додавання нового рідкого діелектрика в міжелектродний об'єм. Детальний опис процесу електроерозійної обробки показано на рис. 4.3. Іскри виникають у місцях, де поверхні інструменту та заготовлі знаходяться найближче, і оскільки плями змінюються після кожної іскри (через видалення матеріалу після кожної іскри), іскра поширюється на всі поверхні. Це призводить до рівномірного зняття матеріалу і, отже, точної форми, яка відтворюється на поверхні заготовлі.

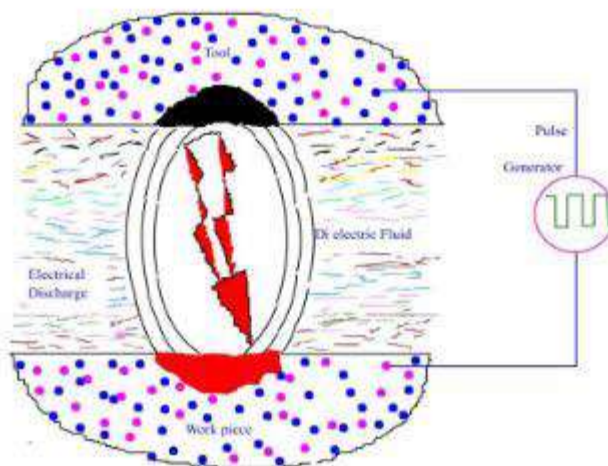


Рисунок 4.3 – Крупний план процесу EDM

Застосування електроерозійної обробки

Штампи із загартованої сталі, штампувальні інструменти, штампи для волочіння та екструзії дроту, головні штампи, штампи для кування, складні порожнини форм та подібні деталі виготовляються за допомогою електроерозійного процесу.

Цей процес широко використовується для обробки екзотичних матеріалів, які використовуються в аерокосмічній та автоматичній промисловості.

Електроерозійна обробка є безконтактним типом обробки та дуже добре підходить для виготовлення крихких деталей, які не витримують навантаження механічної обробки. До деталей, які підходять для таких профілів, відносяться мішалки для пральних машин; електронні компоненти, деталі принтерів та складні деталі, такі як стільники. Глибокі порожнини, пази та ребра можна легко виготовити за допомогою електроерозійної обробки, оскільки сили різання менші, а для виготовлення таких цанг, пазів для лопаток реактивного двигуна, пазів для охолодження прес-форми тощо можна використовувати більш довгі електроди.

Процес мікроерозійної обробки дозволяє успішно виробляти мікроштифти, мікросопла та мікропорожнини.

Механізм видалення матеріалу в електроерозійній обробці

При електроерозійній обробці в певних умовах обробки беруть участь численні явища, наприклад, теплопровідність і випромінювання, фазові зміни, електричні сили, утворення і схлопування бульбашок, швидке твердіння і т. д. Термоелектричне явище є найбільш підходящою теорією для пояснення електроерозійної обробки. Процес електроерозійної обробки. Видалення матеріалу при електроерозійній обробці пов'язане з ерозійними ефектами, що виникають при

виникненні дискретного та просторового розряду між інструментом та заготовки електродами. Між цими двома електродами з'являються короточасні іскри. Генератор виділяє електричну енергію, яка відповідає за плавлення невеликої кількості матеріалу з обох електродів. Після закінчення тривалості імпульсу починається час паузи. Сили, які можуть мати електричну, гідродинамічну та термодинамічну природу, видаляють розплавлені ванни. Процес видалення матеріалу однією іскрою виглядає так:

У зазорі між електродом та заготівлею виникає інтенсивне електричне поле.

Всередині діелектричної рідини містяться деякі забруднення, які утворюють місток з високою провідністю між електродом та заготівлею.

При підвищенні напруги перемичка та діелектрична рідина між електродом та заготовкою нагріваються. Діелектрик іонізується із заснуванням іскрового каналу. Температура та тиск швидко зростають, і виникає іскра. Невелика кількість матеріалу випаровується на електроді та заготівлі у місці контакту іскри.

Бульбашки швидко розширюються і вибухають під час іскріння доти, доки не буде відключено напругу. Далі нагрівальний канал хлопається, і діелектрична рідина надходить у проміжок, щоб вимити частинки розплавленого металу.

Швидкість знімання матеріалу залежить від наступних факторів:

- Пікова сила струму або інтенсивність іскри
- Тривалість часу включення
- Час вимкнення впливає на швидкість та стабільність
- Робочий цикл: відсоток часу включення щодо часу циклу.
- Відстань зазору: що менше зазор, то вища точність і повільніше швидкість видалення матеріалу.

Явлення знімання матеріалу при електроерозійній обробці схематично показано на рис. 4.4.

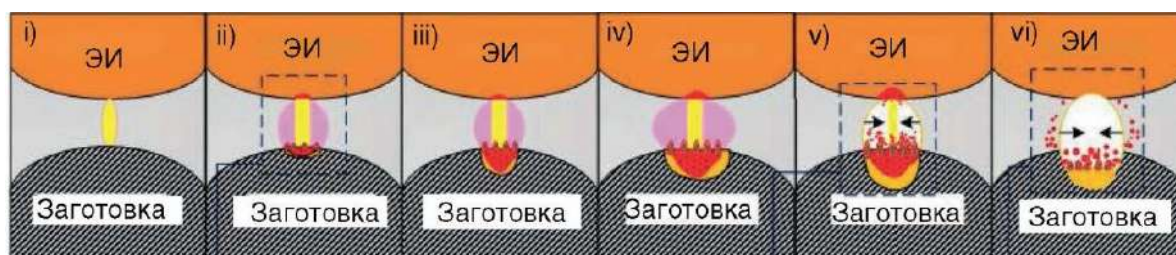


Рисунок 4.4 – Зйом металу при електроерозійній обробці

Die-Sinker EDM та його системи

EDM Die-Sinker відомий під різними назвами, такими як Ram EDM, Sinker EDM, вертикальний EDM та занурювальний EDM. Цей процес зазвичай використовується для створення сліпих порожнин. При електроерозійній обробці з електроерозійним верстатом електрод і заготівля занурюються в ізолюючу рідину, таку як масло або інші діелектричні рідини. Електрод та заготівля підключаються до відповідного джерела живлення. Електричний потенціал створюється між інструментом та заготівлею через джерело живлення. У міру наближення електрода до заготівлі рідини починає відбуватися пробою діелектрика. В результаті цієї дії починає формуватися плазмовий канал, і іскри перескакують від електрода до заготівлі, що призводить до видалення матеріалу із заготівлі. Принцип електроерозійної обробки показано на рис. 4.5а а схема процесу електроерозійної обробки показана на рис. 4.5б.

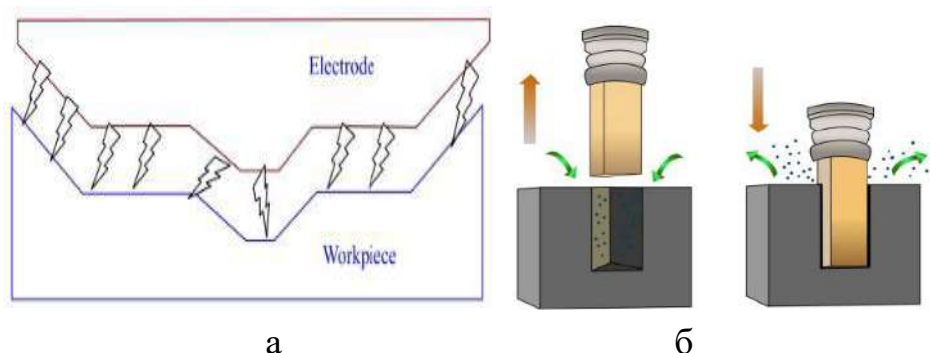


Рисунок 4.5 – Електроерозійна обробка занурюваним електродом

Основними компонентами електроерозійного верстата Die-sinker є:

- Джерело живлення.
- Діелектрична система.
- Електрод
- Сервосистеми.

Діелектрик та система його циркуляції.

Діелектричні рідини, які використовуються в електроерозійних операціях, бувають різних типів. Найбільш поширеними діелектричними рідинами є вуглеводнева олія (зокрема, гас). Інші рідини, що використовуються: трансформаторне масло, парафінове масло; олія на основі кремнію або деіонізована вода. Вибір відповідної діелектричної рідини залежить від її різних хімічних та рідинних властивостей (таких як температура спалаху, діелектрична міцність, в'язкість, питома вага та колір). Діелектрична система виконує такі завдання: він

наводить чистий діелектрик у зону різання; змиває сміття; охолоджує заготовлю та електроди.

Для забезпечення циркуляції діелектричної рідини до заготівлі електроерозійний верстат оснащений добре продуманою системою циркуляції діелектрика. Він складається з наступних двох частин:

1. Насос: його основна мета – забезпечити циркуляцію діелектричної рідини до заготівлі.

2. Блок фільтра та всмоктування. Цей блок відфільтровує сміття матеріалу та будь-які інші сторонні частини з діелектрика.

Сервосистема керується сигналами від системи датчиків напруги в зазорі джерела живлення та контролює подачу електрода, щоб точно відповідати потрібній швидкості видалення матеріалу. Іноді замість серводвигуна можна використовувати кроковий двигун. Як тільки система датчиків напруги зазору визначає перемичку деяких шматків електропровідного матеріалу між електродом та заготівлею, сервосистема негайно реагує та змінює напрямок. Процес відновлюється під час промивання зазору діелектричною рідиною. Коли зазор стає зрозумілим, подача відновлюється і процес різання продовжується.

Електроди для електроерозійної обробки зазвичай виготовляються з латуні, міді, графіту та мідно-вольфрамових сплавів.

Рекомендації щодо проектування процесу електроерозійної обробки

У процесі електроерозійної обробки слід уникати дрібних отворів та глибших пазів.

Не слід вказувати дуже добрі значення шорсткості поверхні.

Оскільки MRR процесу електроерозійної обробки низький, чорнове різання слід виконувати будь-яким іншим процесом обробки, а електроерозійний верстат слід використовувати тільки для чистових операцій.

Електроерозійне оброблення дроту (WEDM)

Електроерозійна обробка дроту (WEDM) є різновидом електроерозійної обробки і широко відома як електроерозійна обробка дроту або різання дроту. У цьому процесі тонкий металевий дріт подається на заготовлю, яка занурюється в резервуар з діелектричною рідиною, наприклад, деіонізованою водою. Цей процес також дозволяє різати пластини завтовшки до 300 мм і використовується для виготовлення пуансонів, інструментів та штампів із твердих металів, які важко обробляти іншими методами. Дріт, що постійно подається з котушки, утримується між верхньою та нижньою алмазними напрямними. Напрямні зазвичай управляються ЧПУ і переміщуються в площині x-y. На більшості верстатів верхня напрямна може переміщатися незалежно осі z-u-v, що дає їй можливість вирізати

конічні і перехідні форми (приклад: квадрат вниз і коло вгору). Верхня напрямна може керувати переміщенням осей в координатах x-y-u-v-i-j-k-l-. Це допомагає програмувати дротяний електроерозійний верстат для різання дуже складних та делікатних форм. На рисунку 4.6 показана схема процесу.

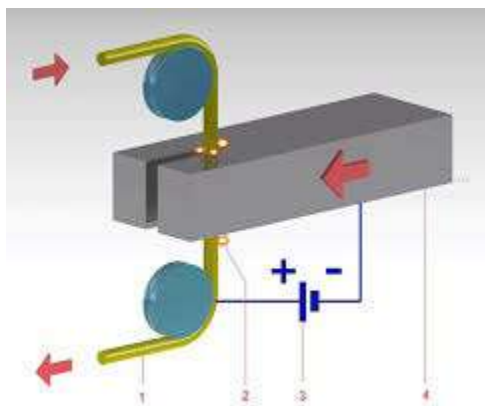


Рисунок 4.6 – Схема процесу обробки електродом дротом

Електроерозійна обробка (електроерозійна обробка) - це вузькоспеціалізована технологія, розроблена для свердління глибоких отворів малого діаметра в матеріалах, що проводять. Він працює шляхом занурення порожнистого електрода, що обертається в матеріал, який необхідно просвердлити. Діаметр електрода трохи менший за бажаний діаметр готового отвору. Коли електрод наблизиться до матеріалу і накопиться достатній електричний заряд, щоб подолати опір діелектричної рідини, від електрода до деталі перескочить іскра. Ця іскра генерує надзвичайно високі локальні температури, що випаровують матеріал. Діелектрична рідина прокачується через електрод і запобігає виникненню короткого замикання, а також охолоджує деталь та вимиває еродований матеріал.

Електроерозійна обробка отворів - це тип електроерозійної обробки (ЕЕО), який призначений для свердління невеликих глибоких отворів діаметром всього 0,065 мм та глибиною до 1 м (або в 250 разів більше діаметра отвору). Електрод та заготівля підключаються до джерела живлення, зазвичай електрод заряджений негативно, а деталь заряджена позитивно. Коли на електроді накопичується достатній заряд, діелектрична рідина, що розділяє електрод та заготівлю, на мить дозволяє заряду передаватися до заготівлі, створюючи високотемпературну іскру, яка випаровує та руйнує заготівлю у певній галузі. Порожнистий електрод, що дозволяє проходити через нього діелектричної рідини. Цей потік у поєднанні з обертанням електрода стабілізує процес електроерозійної обробки та сприяє видаленню сміття із заготівлі. Ця іскра руйнує матеріал, поки електрод обертається

і переміщається вниз, доки отвір не буде завершено. Електроерозійне свердло часто використовується для свердління матеріалів, які важко обробляти звичайними методами, як-от загартовані сталі або карбід вольфраму. Для отримання додаткової інформації див. наш посібник з типів процесів обробки.

Типовий електроерозійний верстат для свердління отворів показаний на рисунку 4.7.



Рисунок 4.7 – Електроерозійна обробка отворів

Електроерозійний верстат для свердління отворів надзвичайно точний. Він може підтримувати допуски до $+0,0025$ мм на діаметр отвору та $+0,025$ мм на прямолінійність отвору для глибини отвору 150 мм та діаметра 1 мм. Такого рівня точності при обробці невеликих та глибоких отворів неможливо досягти за допомогою традиційних свердлів, оскільки свердла невеликого діаметра відхилятимуться, гнуться та ламатимуться під час свердління.

На ринку представлено безліч різних верстатів для свердління отворів. Вибір відповідного варіанта для ваших потреб багато в чому залежить від програми та доступного бюджету. Деякі з кращих електроерозійних верстатів для свердління отворів наведені нижче:

TEK4 6g FHD GXL: ця лінійка електроерозійних верстатів для свердління отворів має ряд корисних функцій, включаючи складальний стіл з множинним доступом, що дозволяє свердлити отвори під кутом. Вбудований датчик КІМ (координатно-вимірювальна машина) забезпечує точність, що повторюється, а АТС (автоматична зміна інструменту) дозволяє автоматично вибирати різні електроди (рис. 4.8а).

Makino EDAF: Лінійка електроерозійних верстатів EDAF здатна свердлити отвори невеликого діаметру, а також виконувати електроерозійну обробку з грузилами. Ця особливість робить його чудовою машиною для невеликих майстерень, що потребують максимальної гнучкості (рис. 4.8б).

Mitsubishi VH10: Цей верстат може виробляти отвори діаметром до 0,065 мм у твердих матеріалах, таких як карбід вольфраму (рис. 4.8в).

Зовнішній вигляд зазначених верстатів показано на рисунку 4.8



Рисунок 4.8 – Сучасні електроерозійні верстати

Актуальність застосування даного методу обробки полягає в його перевагах перед іншими методами свердління, наведеними нижче:

Свердло-ерозійне свердло дозволяє свердлити отвори діаметром до 0,065 мм.

Свердло-електроерозійний верстат дозволяє свердлити свердловини глибиною до 1 м.

Свердло для електроерозійної обробки отворів дозволяє свердлити дуже тверді матеріали, у тому числі нержавіючу сталь, інструментальну сталь та карбід вольфраму. Будь-який матеріал можна свердлити, якщо він є провідним.

Електроерозійний електрод для свердління отворів дозволяє свердлити отвори у вигнутих поверхнях. Спроба просвердлити отвори в вигнутих поверхнях за допомогою механічного свердлильного верстата призведе до того, що свердло буде ходити по вигнутій поверхні.

5 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION. Тривимірна модель показана на рисунку 5.1.

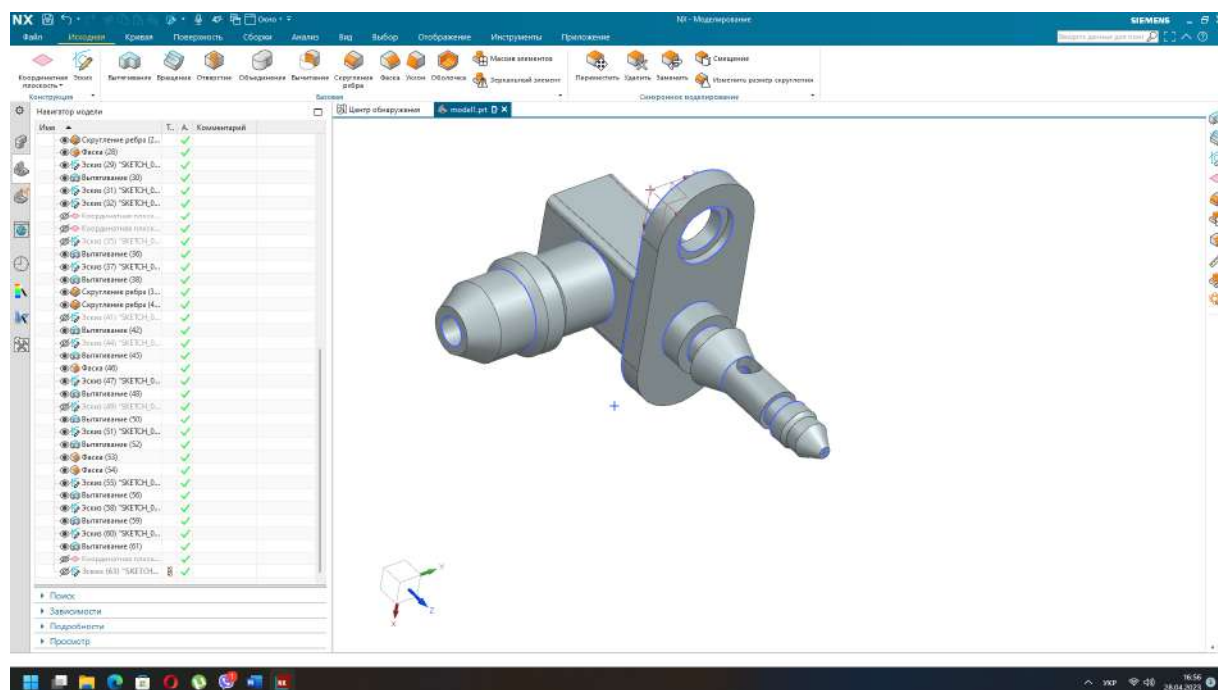


Рисунок 5.1 – Тривимірна модель завданої деталі

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі сіткою кінцевих елементів, результат показано на рисунку 5.2.

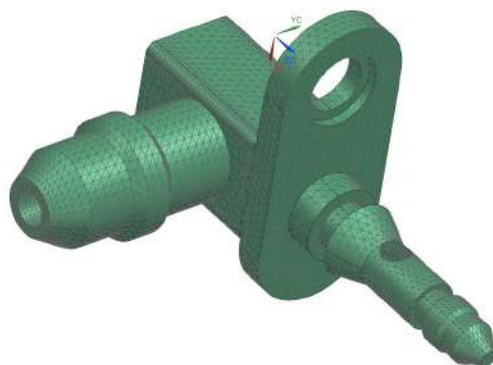


Рисунок 5.2 – Модель розбита на сітку кінцевих елементів

Другий етап виконуємо прикладення обмежень, що унеможливляють переміщення деталі у окремих напрямках (рисунок 5.3).

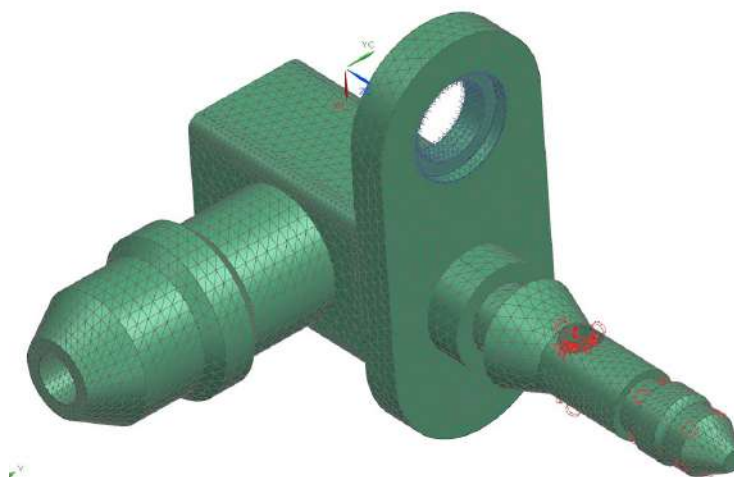


Рисунок 5.3 – Схема прикладення обмежень та навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану (рисунок 5.4).

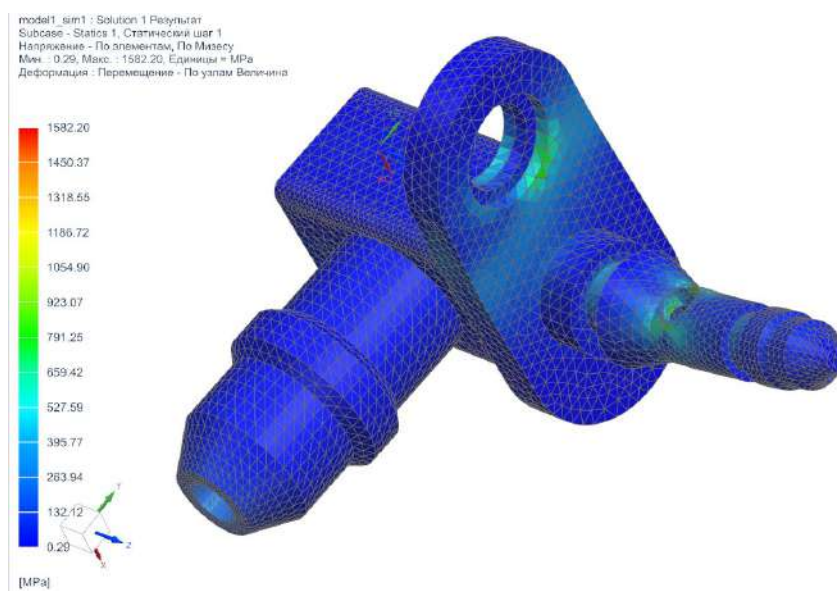


Рисунок 5.4 – Результат розрахунку напружено деформованого стану

У результаті виконаного розрахунку можна зробити висновок, що найбільш небезпечним перерізом буде тонка стінка біля отвору для того щоби підвищити міцність деталі необхідно виконувати її зміцнення.

6. ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів є важливим кроком у процесі прийняття рішень щодо інвестування та реалізації проектів. Ця оцінка допомагає визначити, наскільки вигідним буде проект з економічної точки зору і чи варто вкладати кошти та ресурси у його реалізацію.

Операції, які виконуються на універсальному обладнанні замінені верстатами з ЧПК. В базовому технічному процесі було чотири операції (таблиця 6.1 та 6.2).

Результати розрахунків занесемо в таблиці 6.1 – 6.17.

Заробітна плата основних виробничих робітників, грн. [8, с.13].

Фонд заробітної плати складається з прямої оплати праці, яка включає оплату роботи відрядників на основі розцінок і оплату роботи почасових працівників за тарифом [8, с.13]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^{m_{op}} t_{штi} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}, \quad (6.1)$$

де m_{op} – кількість операцій у технологічному процесі таблиця 6.1 та 6.2;

$t_{штi}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год таблиця 6.1 та 6.2;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника верстатника на операції, грн. [8, т.А.1, с.33];

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника верстатника при багатOVERCLOCKING обслуговуванні [8, т.2.1, с.13];

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату [8, с. 13];

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, [8, с. 13].

Заробітна плата допоміжних робітників, грн [8, с.14].

Основна та додаткова заробітна плата всіх інших робітників (наладчиків, електронників, транспортних робітників):

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

де $C_{тар.н}$ - годинна тарифна ставка, грн. [8, т.А.1, с.33];

Φ_p - річний фонд часу одного, год [8, с. 13];

χ_n - чисельність робітників відповідної категорії, чел.

Амортизаційні відрахування на обладнання та дороге оснащення з тривалим терміном служби, грн [8, с.14]:

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

де K_i – первісна вартість обладнання (оснащення) на i -ої операції, грн. таблиця 6.1 та 6.2;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання (оснащення) на i -ої операції таблиця 6.1 та 6.2;

t_{oi} – основний (машинний) час на i -ої операції, хв таблиця 6.1 та 6.2;

$F_{\text{д}}$ – дійсний (ефективний) фонд часу роботи устаткування (3 розділ), год.

Витрати на інструмент, грн [8, с.15]:

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

де $C_{\text{ін}ij}$ – ціна інструменту j -го виду на i -ої операції, що визначається за каталогами підприємств, фірм-постачальників інструменту чи сайтах мережі інтернет, грн./шт.;

$t_{\text{шт}ij}$ – штучний час роботи j -го інструменту на i -ої операції, хв таблиця 6.1 та 6.2;

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

T_{ij} – період стійкості інструменту j -го виду на i -ої операції, хв [8, т.3.8, с.22];

$n_{\text{ін}}$ – номенклатура інструментів на i -ої операції [8, т.3.8, с.22];

n_j – число переточок інструменту j -го виду до повного зношування або кількості ріжучих граней інструменту [8, т.3.8, с.22].

Витрати на технологічну електроенергію, грн [8, с.16]:

$$S_e = \frac{N_{\text{в}} \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_{\text{в}}} \cdot C_e, \quad (6.5)$$

де $N_{\text{в}}$ – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт таблиця 6.1 та 6.2;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [8, с.16];

$k_{\text{ч}}$ – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [8, с.16];

$k_{\text{од}}$ – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [8, с. 16];

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в мережі заводу [8, с. 16];

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

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання, грн [8, с.16]:

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

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

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду [8, с. 16];

Витрати на налаштування інструментів поза верстатом [8, с.16]:

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

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад та поломки інструменту [8, с.16];

$C_{гн}$ – середньогодинна заробітня плата наладчиків, грн./год [8, т.А.1, с.32];

$t_{ін}$ – середній час налаштування одного інструменту, хв [8, с. 17];

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв. (таблиця 6.1 та 6.2);

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі [8, с.17];

T_m – середня стійкість інструменту, хв. [8, т. 3.15, с. 32];

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт. [8, с. 17].

Інші загальновиробничі витрати, грн [8, с.17]:

$$I_n = 3_o \cdot k_{заг}, \quad (6.8)$$

де $k_{заг}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати [8, с.17].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані базового ТП

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу			
	Базовий ТП			
Річна програма випуску деталей N_p	20000			
Модель верстата	TOS FGSV 32	TOS FGSV 32	TOS FGSV 32	TOS FGSV 32
Штучний час $T_{шт}$, хв.	6,15	4,45	6,11	3,47
Розряд верстатника	5			
Розряд наладчика	4			
Основний час t_{oi} , хв	3,78	2,52	4,87	2,95
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1	65,1	65,1	65,1
Число змін m	2			
Оптова ціна верстата F , грн	345000	345000	345000	345000
Число верстатів, шт	1	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	10	10	10	10
Норма амортизаційних відрахувань N_a %	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, N	11	11	11	11

Таблиця 6.2 – Вихідні дані операції з ЧПК

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу
	Комплексна операція
1	1
Річна програма випуску деталей N_p	20000
Модель верстата	Gildemeister CTX-200
Штучний час $T_{шт}$, хв.	17,7

Продовження таблиці 6.2

1	1
Розряд верстатника	5
Розряд наладчика	4
Основний час t_{oi} , хв	12,1
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1
Число змін m	2
Оптова ціна верстата F , грн	951200
Число верстатів, шт	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	15
Норма амортизаційних відрахувань H_a %	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, N	14

Розраховуємо технологічну собівартість поелементним методом для базового та комплексного ТП:

а) тип виробництва базового та комплексного технологічного процесу, скориставшись даними щодо трудомісткості операцій;

б) кількість верстатів на кожну операцію C_p розраховується за формулою (6.1);

в) прийнята кількість робочих місць P розраховується за формулою (6.4);

г) фактичний коефіцієнт завантаження верстата $\eta_{зф}$ розраховується за формулою (6.8).

$$\eta_{зф} = \frac{C_p}{P}; \quad (6.8)$$

Кількість операцій O , що виконуються на робочому місці визначається за формулою (6.9):

$$O = \frac{\eta_{зн}}{\eta_{зф}}. \quad (6.9)$$

Таблиця 6.3 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт}$, хв.	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	$K_{зоi}$
1	2	3	4	5	6	7	8
040	Фрезерна	6,15	1,16	2	1,16	1,25	1,25

Продовження таблиці 6.3

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	K_{30i}
1	2	3	4	5	6	7	8
045	Фрезерна	4,45	0,72	1	0,72	2,15	2,15
050	Фрезерна	6,11	1,15	2	1,15	1,43	1,43
055	Фрезерна	3,47	0,56	1	0,56	2,25	2,25

$$\sum O = 7,08$$

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{30i}=7,08/4=1,77$. Отже, тип виробництва – багатосерійний.

Таблиця 6.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	K_{30i}
040	Фрезерна з ЧПК	17,7	2,34	3	0,34	2,15	2,15

Заробітну плату основних виробничих робітників розраховуємо за формулою (6.1).

Таблиця 6.5 – Заробітна плата верстатника базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	K_o	$З_o, грн$
040	Фрезерна	6,15	65,1	1,2	1,4	1	11,21
045	Фрезерна	4,45	65,1	1,2	1,4	1	8,11
050	Фрезерна	6,11	65,1	1,2	1,4	1	11,14
055	Фрезерна	3,47	65,1	1,2	1,4	1	6,33

$$\sum Z_o = 36,79$$

Таблиця 6.6 – Заробітна плата верстатника комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	K_6	$З_о, грн$
040	Фрезерна з ЧПК	17,7	65,1	1,2	1,4	1	32,26

Заробітна плата допоміжних робітників (наладчиків) – за формулою (6.2).

Таблиця 6.7 – Заробітна плата наладчиків за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	$C_{тар.н, грн}$	$\Phi_r, год$	χ_n	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_n, грн$
040	Фрезерна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
045	Фрезерна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
050	Фрезерна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
055	Фрезерна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42

$$\Sigma = 693,68$$

Таблиця 6.8 – Заробітна плата наладчика комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$C_{тар.н, грн}$	$\Phi_r, год$	χ_n	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_n, грн$
040	Фрезерна з ЧПК	50,2	2028	1	1,2	1,4	173,42

Амортизаційні відрахування на обладнання – за формулою (4.3).

Таблиця 6.9 – Відрахування на амортизацію обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$K, грн$	$H_a, \%$	F_d	$A_{від, грн.}$
040	Фрезерна	6,15	345000	12,2	2056	2,09
045	Фрезерна	4,45	345000	12,2	2056	1,52
050	Фрезерна	6,11	345000	12,2	2056	2,08
055	Фрезерна	3,47	345000	12,2	2056	1,18

$$\Sigma A_{від} = 6,87$$

Таблиця 6.10 – Відрахування на амортизацію обладнання комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	T _{шт, хв.}	K, грн	H _a , %	F _д	A _{від, грн.}
040	Фрезерна з ЧПК	17,7	951200	12,2	2056	11,4

Витрати на інструмент розраховуємо за формулою (6.4).

Таблиця 6.11 – Витрати на інструмент базового ТП

№	Операція	T _{шт, хв.}	Ц _i , грн	Інстру-менти	n _i , кількість інстр.	Стій-кість T, хв	Число переточок, n	η _{мі}	S _{ін, грн}
040	Фрезерна	6,15	144	Фреза	1	60	40	0,6	0,22
045	Фрезерна	4,45	185	Фреза	1	60	40	0,57	0,19
050	Фрезерна	6,11	154	Фреза	1	60	40	0,8	0,31
055	Фрезерна	3,47	154	Фреза	1	60	40	0,85	0,18

Σ = 4

Σ = 0,9

Таблиця 6.12 – Витрати на інструмент комплексної операції

№	Операція	T _{шт, хв.}	Вартість			Стій-кість T, хв	η _{мі}	Чис-ло ріж. гра-ней n	S _{ін, грн}
			Інструмен-тальний блок*, у.о.	Інстру-мент*, у.о.	Плас-тина у.о.				
040	Фрезерна з ЧПК	17,7	300	114	13,5	60	0,2	4	1,35

* – Витрати, включені в договір про постачання обладнання

Σ = 1,35

За формулою (6.7) знайдемо витрати на налаштування інструментів поза верстатом за базовим та новим варіантом:

$$S_{баз} = \frac{1,3 \cdot 693,68 \cdot 20 \cdot 14,12 \cdot 0,16}{60 \cdot 4 \cdot 60} = 2,83$$

$$S_{нов} = \frac{1,3 \cdot 173,42 \cdot 5 \cdot 12,1 \cdot 0,2}{60 \cdot 4 \cdot 60} = 0,19$$

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо за формулою (6.5).

Таблиця 6.13 – Витрати на силову електроенергію базового ТП

№	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_e, грн./кВт \cdot год$	$N_e, кВт$	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_W	η_e	k_B	S_e
040	Фрезерна	6,15	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	2,83
045	Фрезерна	4,45	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	2,05
050	Фрезерна	6,11	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	2,24
055	Фрезерна	3,47	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	2,81

Таблиця 6.14 – Витрати на силову електроенергію комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_e, грн./кВт \cdot год$	$N_e, кВт$	k_N	$k_{ч}$	$k_{од}$	k_W	η_e	k_B	S_e
040	Фрезерна з ЧПК	17,7	3,45	14	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	10,37

Витрати на обслуговування та ремонт обладнання розраховуємо за формулою (6.6).

Таблиця 6.15 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	Коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, K_p	C_p	$S_p, грн$
040	Фрезерна	0,02	0,041	0,82
045	Фрезерна	0,02	0,041	0,82
050	Фрезерна	0,02	0,041	0,82
055	Фрезерна	0,02	0,041	0,82

$$\sum = 3,28$$

Таблиця 6.16 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	Коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, K_p	C_p	$S_p, грн$
040	Фрезерна з ЧПК	0,02	0,085	4,1

Інші загальновиробничі витрати, грн [8, с.17] розраховуємо за формулою (6.8):

$$I_{\text{баз}} = 36,79 \cdot 0,2 = 7,35$$

$$I_{\text{комп}} = 32,26 \cdot 0,2 = 6,45$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за варіантами наведено у табл. 6.17.

Таблиця 6.17 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти	
		Базовий ТП	Комплексна операція
Заробітна плата верстатника	Z_o	36,79	32,26
Заробітна плата наладчика	Z_n	693,68	173,42
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	6,87	11,4
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	3,28	4,1
Витрати на налаштування інструменту поза верстатом	S_n	2,83	0,19
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	0,9	1,35
Витрати на електроенергію	S_e	9,93	10,37
Витрати інші	I_n	7,35	6,45
Технологічна собівартість	C_T	761,63	239,54

Розрахуємо умовний економічний ефект, грн [15, с.6]:

$$E_{yp} = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (6.9)$$

де C_1 та C_2 – собівартість одиниці продукції базового ТП та комплексної операції, грн.;

N – річний випуск продукції, шт.

$$E_{yp} = (761,63 - 239,54) \cdot 20000 = 10441800 \text{ грн.}$$

Отже, впровадження комплексної операції в ТП знижує витрати на 10441800 грн. щорічно, що свідчить про успішність та ефективність запропонованих технологічних заходів.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час електроерозійної обробки деталей існує ймовірними ураження електричним струмом та отримання електротравм, не зважаючи на те, що обладнання виконано таким чином, щоб коли фахівці працюють, вони не піддавалися небезпечним і шкідливим впливам електричного струму і електромагнітних полів. Враховуючи високий потенційний ризик негативного впливу електричного струму на людину, для попередження електротравм передбачаються комплексні заходи [13]:

- в самій конструкції електроустановок (в процесі проектування та виготовлення);
- технічні способи і засоби захисту;
- організаційні засоби, наприклад, відповідний рівень кваліфікації працівника, проведення навчання та інструктажів, методи постійного та періодичного контролю їх виконання.

Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмоведучих частин передбачена: захисна оболонка та захисні огороження, які можуть бути тимчасовими або стаціонарними (ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1»). Нормативною документацією оговорюється, що розташування струмопровідних частин повинно бути спроектовано та виконано на безпечній для людини відстані. В цілому, для захисту від ураження електричним струмом використовуються окремо або у поєднанні один із одним такі засоби, як-от [14]:

- захисне заземлення;
- захисне занулення;
- захисне відімкнення;
- вирівнювання потенціалів;
- ізоляція струмопровідних частин;
- забезпечення недоступності неізольованих струмопровідних частин;
- обмеження сили струму;
- попереджувальні сигналізація, знаки та написи. [15].

Як відомо, ізоляція забезпечує захист людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм. У разі пошкодження ізоляції, щоб не допустити ураження струмом, застосовують захисне заземлення, тобто навмисне електричне з'єднання із землею або з її еквівалентом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть

опинитись під нею в аварійних режимах роботи. [13,15]. Величина опору захисного заземлення електрообладнання (напругою до 1000 В) не повинна перевищувати 4 Ом [14].

Для гарантії безпеки працівників виконаємо перевірочний розрахунок заземлюючого пристрою та перевірку на відповідність вимогам ПУЕ. Заземлюючий пристрій передбачено виконати поглибленими заземлювачами із сталевих стрижнів, що заглиблюються в траншею завглибшки 0,75 м по периметру ділянки, та з'єднуються горизонтальними електродами стрижневого типу з тієї самої сталі, що і вертикальні. [16].

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням підвищеного коефіцієнту, який враховує висихання ґрунту влітку та промерзання взимку. Питомий опір ґрунту 98 Ом/м.

$$\rho_{розр} = \rho \cdot k \quad (7.1)$$

де ρ - питомий опір ґрунту, Ом/м.

k - підвищуючий коефіцієнт для вертикального та горизонтального заземлювачів. $k_v=1,4$ $k_r=2,0$

$$\rho_{розр} = 98 \cdot 2 = 196 \text{ Ом}$$

$$\rho_{розр} = 98 \cdot 1,4 = 137,2 \text{ Ом}$$

Визначимо опір розтікання одного вертикального електрода. Візьмемо стрижень діаметром 12,5 мм, довжина 3,2мм.

$$R_{розр.в} = \frac{\rho_{розр.в}}{2 \cdot \pi \cdot l} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot l}{d} + \frac{1}{2} \cdot \lg \frac{4t+1}{4t-1} \right) \quad (7.2)$$

де l – довжина прутка, м

d – діаметр прутка, м

t – відстань від поверхні землі до середини електрода, м.

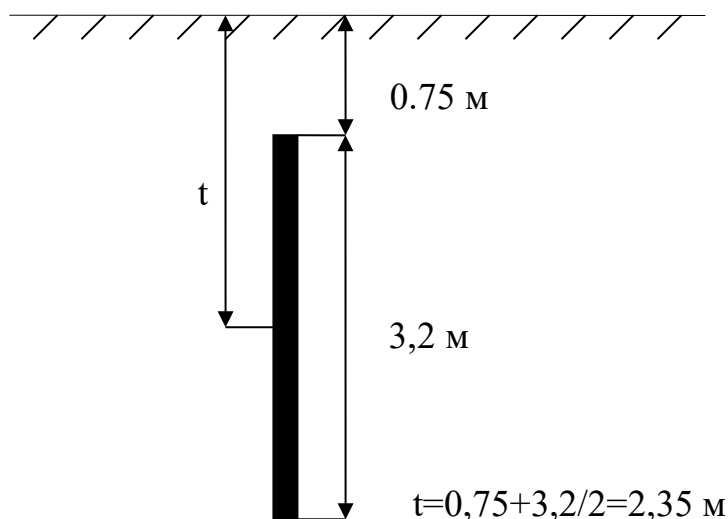


Рисунок 7.1 - Відстань від поверхні землі до середини електрода

$$R_{розр} = \left(\frac{137.2}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,2} \right) \cdot \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 3,2}{15 \cdot 0.001} \right) + 0.5 \cdot \ln \left(\frac{4 \cdot 2,35 + 2}{4 \cdot 2,35 - 2} \right) \right) = 22,1 \text{ Ом}$$

Визначимо приблизне число вертикальних заземлювачів при прийнятому коефіцієнті використання $k_{\text{в}}=0,7$, [16].

$$n_{\text{в}} = \frac{R_{\text{г}}}{k_{\text{в}} \cdot R_{\text{з}}} \quad (7.3)$$

$$n_{\text{в}} = \frac{22,1}{0,7 \cdot 4} = 7,36 \text{ шт.}$$

Приймаємо $n_{\text{в}} = 8$ штук

Вертикальні електроди розміщуємо по контуру приміщення.

Визначимо опір розтікання горизонтальних електродів із сталі 40×4мм, приварених до кінців вертикальних електродів:

$$R_{\text{з}} = \frac{\left(\frac{\rho}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{l^2 \cdot 2}{b \cdot l} \right)}{k_{\text{в}}} \quad (7.4)$$

де $k_{\text{в}}$ – коефіцієнт використання з'єднувальної полоси в контурі. $k_{\text{в}}=0,6$ [16].

l – довжина полоси, м

b – ширина полоси, м

t – глибина полоси, м

$$R_e = \frac{\left(\frac{196}{2 \cdot 3,14 \cdot 35,2} \cdot \ln\left(\frac{35,2 \cdot 35,2 \cdot 2}{0,04 \cdot 2}\right)\right)}{0,6} = 4,8 \text{ Ом}$$

Перевірка опору заземлення

$$R_3 = \frac{R_\Gamma \cdot R_B}{R_\Gamma + R_B} = \frac{4,8 \cdot 22,1}{4,8 + 22,1} = 3,98 \text{ Ом}$$

$$3,98 \text{ Ом} < 4,0 \text{ Ом}$$

Визначений опір $R_3 = 3,98 \text{ Ом}$ менше ніж нормований, $R_{\text{норм}} = 4 \text{ Ом}$, прийнятий заземлюючий пристрій задовольняє вимогам електробезпеки, що зазначені в «Правилах улаштування електроустановок».

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі проведено глибокий аналіз та розробку енергоефективного технологічного процесу виготовлення форсунок авіаційних двигунів. Основною метою було досягнення оптимальних параметрів виробництва для забезпечення не лише високої якості продукції, але й максимальної енергоефективності процесу.

В ході дослідження встановлено, що впровадження нових технологічних рішень та вдосконалення у виробничому процесі призвели до суттєвого зниження енергоспоживання. Використання нових матеріалів та методів обробки сприяє покращенню якості форсунок та зниженню кількості відходів. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого технологічного процесу та його потенціал для впровадження у виробництво.

Порівняння з існуючими методами виробництва підкреслило переваги запропонованого підходу та його конкурентоспроможність на ринку авіаційних технологій. Отримані дані слугують підставою для розробки рекомендацій щодо оптимізації виробничих процесів у сфері виготовлення форсунок авіаційних двигунів та впровадження нових технологій у промисловість.

Завдяки цій роботі, відкриваються перспективи для подальших досліджень у напрямку вдосконалення та розвитку енергоефективних технологічних рішень у виробництві авіаційних компонентів.

В результаті виконання магістерської роботи із залученням новітнього обладнання розроблено енергоефективний технологічний процес виготовлення форсунок авіаційних двигунів. Отримано економічний ефект від впровадження 10441800 грн

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Базовий технологічний процес виготовлення деталей «Форсунка»
2. Справочник технолога - машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985.
3. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением.-Л., 1977г.
4. Стандарты предприятия: Система качества, Положения о цехе основного производства ОАО «Мотор Сич», 1998. –45с.
5. <https://www.sandvik.coromant.com/ru>
6. Горохов В.А. «Проектирование и расчет приспособлений»: Учебное пособие для студентов вузов. – Минск: «Вышэйшая школа», 1986г. – 237с.
7. Иванов И.И. «Детали машин» Учебник для вузов. – 2-е издание. – М.: Машиностроение 1983г. – 277с.
8. Обработка металлов резанием: Справочник технолога/ А.А. Гаков., В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Гакова.- М.: Машиностроение.1988.-736 с., ил.
9. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
10. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.
11. <https://www.povertyactionlab.org/initiative/worker-prosperity-initiative?lang=pt-br>
12. Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 43 с
13. Жидецкий В. Ц. Основы охраны труда: підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3
14. ДСТУ EN 60204-32:2018 «Безпечність машин. Електрообладнання машин. Частина 1».
15. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

16. Методичні вказівки до лабораторного заняття «Дослідження захисного заземлення та методика його розрахунку» для з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та всіх форм навчання / Укл. М.О. Журавель, С.М. Журавель – Запоріжжя: ЗНТУ, 2017. – 24 с.

Додаток А Специфікація на робоче пристосування

Перф. примеч.		Формат	Знач.	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
		A1			НУЗП 232502.028	Збірне креслення		
						Збірні одиниці		
		Б4				Деталі		
		Б4	1			Планка	2	
		Б4	2			Основа	1	
		Б4	3			Консоль	1	
		Б4	4			Кутник	1	
		Б4	5			Основа	1	
		Б4	6			Сухар	1	
		Б4	7			Корпус	1	
		Б4	8			Опора	1	
		Б4	9			Перехідник	2	
		Б4	10			Вісь	2	
		Б4	11			Планка	1	
		Б4	12			Призма	1	
		Б4	13			Стійка	1	
		Б4	14			Тяга	1	
		Б4	15			Штак	1	
		Б4	16			Втулка	1	
		Б4	17			Кришка розподільна	1	
		Б4	18			Циліндр	1	
		Б4	19			Втулка	1	
					НУЗП 232502.028			
		Мзм.	Лист	№ док.	Підп.	Дата		
		Разроб.	Діменський ОІ					
		Проб.	Винетольський ЄВ					
		Т.контр.	Винетольський ЄВ					
		Н.контр.	Дядя С.І.					
		Утв.	Дядя С.І.					
		ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ФРЕЗЕРУВАННЯ КОНТУРУ					Лит. Лист Листов	
							1 2	
							НУЗП	
							гр. М-122М	
							Формат А4	

Копіював

Додаток Б Специфікація на контрольне пристосування

[illegible]

