

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра Технологія машинобудування
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)
другий (магістерський)
(ступінь вищої освіти)

на тему «Особливості технології обробки деталей авіаційних двигунів з жароміцних нікелевих сплавів на прикладі деталі «Циліндр»»

Виконав: студент(ка) II курсу, групи M-110m

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технології машинобудування

Момот А.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Логомінов В.О.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Широкобоков В.В.

(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

« _____ » _____ 20__ року

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

Момота Андрія Миколайовича
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Особливості технології обробки деталей авіаційних двигунів з жароміцних нікелевих сплавів на прикладі деталі «Циліндр»

керівник проекту (роботи) Логомінов В.О., доцент,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «16»11 2021 року №443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 7.12.2021

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N=1000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Розробка автоматизованої технологічної оснастки; 4 Розрахунок деталі на міцність; 5 Сучасні підходи до електроерозійної обробки деталей авіаційної техніки; 6 Оцінка очікуваної ефективності заходів; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

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 лист автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	доцент Логомінов В.О.		
6	доцент Пухальська Г.В.		
7	доцент Шмирко В.І.		
нормоконтроль	доцент Дядя С.І.		

7. Дата видачі завдання « 05 » вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	24.09.2021	
2	Конструкторська частина	08.10.21	
3	Автоматизація	15.10.21	
4	Розрахунок деталі на міцність	22.10.21	
5	Спеціальне завдання	05.11.21	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.21	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	19.11.21	
8	Оформлення пояснювальної записки	26.11.21	
9	Нормоконтроль і рецензія	29.11.21	
10	Оформлення креслень та технологічної документації	30.11.21	

Студент(ка)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник проєкту (роботи)

_____ (підпис) _____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 117 с., 41 рисунок, 7 таблиць, 2 додатки, 38 посилань.

БАЗА, ВЕРСТАТ, ДОПУСК, ЕСКІЗ, ЗАГОТОВКА, КВАЛІТЕТ, ЦИЛІНДР, НАЛАГОДЖЕННЯ, ОБЛАДНАННЯ, ПРИПУСК, ПРОЦЕС, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, РІЗЕЦЬ, РОЗМІР, СОБІВАРТІСТЬ, ТЕРМООБРОБКА, ТОЧНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ

Об'єкт дослідження – циліндр.

Мета магістерської роботи – проектування технологічного процесу виготовлення циліндру; використовуючи сучасне верстатне обладнання та методи оптимізації технологічного процесу.

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

Спроековано сучасний технологічний процес виробництва циліндру на прогресивному обладнанні. Обрано і економічно обґрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості.

Виконуючи роботу розроблено та спроековано конструкції верстатного та контрольного пристосувань, проаналізовано заходи автоматизації для підвищення продуктивності виготовлення деталі, розглянута можливість застосування зміцнюючої обробки для підвищення несучої здатності деталі.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ	8
1 Технологічна частина	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	10
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	12
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	13
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	19
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	19
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	21
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів (1 - розрахунково-аналітичний метод, 2 - табличний метод)	25
1.6 Розрахунок режимів різання	32
1.7 Розрахунок технічної норми часу	43
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM або іншої програми, що має CAM-модуль	48
1.8.1 Розробка токарної операції	48
1.8.2 Розробка свердлильної операції	50
1.8.3 Розробка фрезерної операції	52
2 Конструкторська частина	55
2.1 Проектування робочого пристосування	55
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування	55
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	56
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	57
2.2 Проектування контрольного пристосування	59

3	Розробка автоматизованої технологічної оснастки	63
4	Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі	76
5	Сучасні підходи до електроерозійної обробки деталей авіаційної техніки	79
6	Оцінка очікуваної ефективності розробки	92
7	Охорона праці	95
	Висновок	109
	Перелік джерел посилання	110
	Додаток А. Специфікація робочого пристосування	115
	Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування	117

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ЕЕО	Електро ерозійна обробка
ЗВ	Засоби вимірювання
ЗОР	Змазуючо-охолоджуюча рідина
КВМ	Коефіцієнт використання матеріалу
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МЕП	Міжелектродний проміжок
МЕЗ	Між електродний зазор
МОП	Маршрут обробки поверхні
МЦХ	Масо центровочні характеристики
ОК	Об'єкт контролю
ППТЯ	Послідовність показників точності та якості
РСЗ	Робочий стандартний зразок
СНтП	Система норм та правил
ТО	Термічна обробка
ТП	Технологічний процес
УЗПТО	Універсальне збірне переналогоджуєме технологічне оснащення
УЗП	Універсальні збірні пристрої
УНП	Універсальні налагоджувальні пристрої
КНП	Комплекти механізованих пристосувань

ВСТУП

Сукупність методів та прийомів виготовлення машин, вироблених протягом тривалого часу і використовуваних у певної галузі виробництва становить технологію цієї галузі.

У зв'язку з цим виникли поняття: технологія лиття, технологія обробки тиском, технологія зварювання, технологія механічної обробки, технологія збирання машин. Всі ці галузі виробництва відносяться до технології машинобудування, що охоплює всі етапи процесу виготовлення машинобудівної продукції

Однак під "технологією машинобудування" прийнято розуміти наукову дисципліну, яка вивчає переважно процеси механічної обробки деталей та складання машин і попутно

Це стосується питань вибору заготовок і методи їх виготовлення. Це пояснюється тим, що в машинобудуванні задані форми деталей необхідної точністю та якістю їх поверхонь досягаються здебільшого шляхом механічної обробки, оскільки інші способи обробки не завжди можуть забезпечити виконання цих технічних вимог. У процесі механічної обробки деталей машин виникає найбільша кількість проблемних питань, пов'язаних з необхідністю виконання технічних вимог, поставлених конструктором перед виробництвом. Процес механічної обробки пов'язаний з експлуатацією складного обладнання – металорізальних верстатів; трудомісткість та собівартість механічної обробки більше, ніж інших етапах процесу виготовлення машин.

На виробничих машинобудівних підприємствах, особливо машино- та двигунобудування, зокрема і на підприємстві ВПЗ, виробничі потужності створювалися на вирішення завдань масового типу виробництва деталей. Він характеризувався вузькою номенклатурою та великим обсягом випуску деталей, які безперервно вироблялися та ремонтувалися протягом тривалого часу. При

цьому на виробництві використовувалося спеціальне обладнання, високопродуктивні автомати та напіваавтомати, розставлені за поточним принципом.

Тому проектування технологічних процесів є актуальним завданням.

У зв'язку з тим, що основну частку витрат часу в серійному виробництві складає допоміжний час, то як напрямки підвищення продуктивності є автоматизація виробничих процесів. Це завдання може бути вирішене шляхом використання високопродуктивних верстатів традиційного виконання або застосуванням верстатів з числовим програмним управлінням та обробних центрів.

З урахуванням викладеного, був розроблений технологічний процес виготовлення циліндра сучасного газотурбінного двигуна в серійному виробництві.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь циліндр авіаційного двигуну має складну геометричну форму. Призначена для передачі обертального зусилля у блоку циліндрів. Вона має велику кількість отворів деякі з котрих мають малий діаметр та розташовані всередині деталі, їх отримання супроводжується значними технологічними складнощами. Зовнішній контур має складну форму, яку отримують спеціальними методами обробки. Деталь є тонкостінною та має велику кількість конструктивних концентраторів напружень. Більшість елементів деталі є добре оброблюваними, виключаючи отвори розташовані всередині деталі. Креслення деталі показано на рис. 1.1.

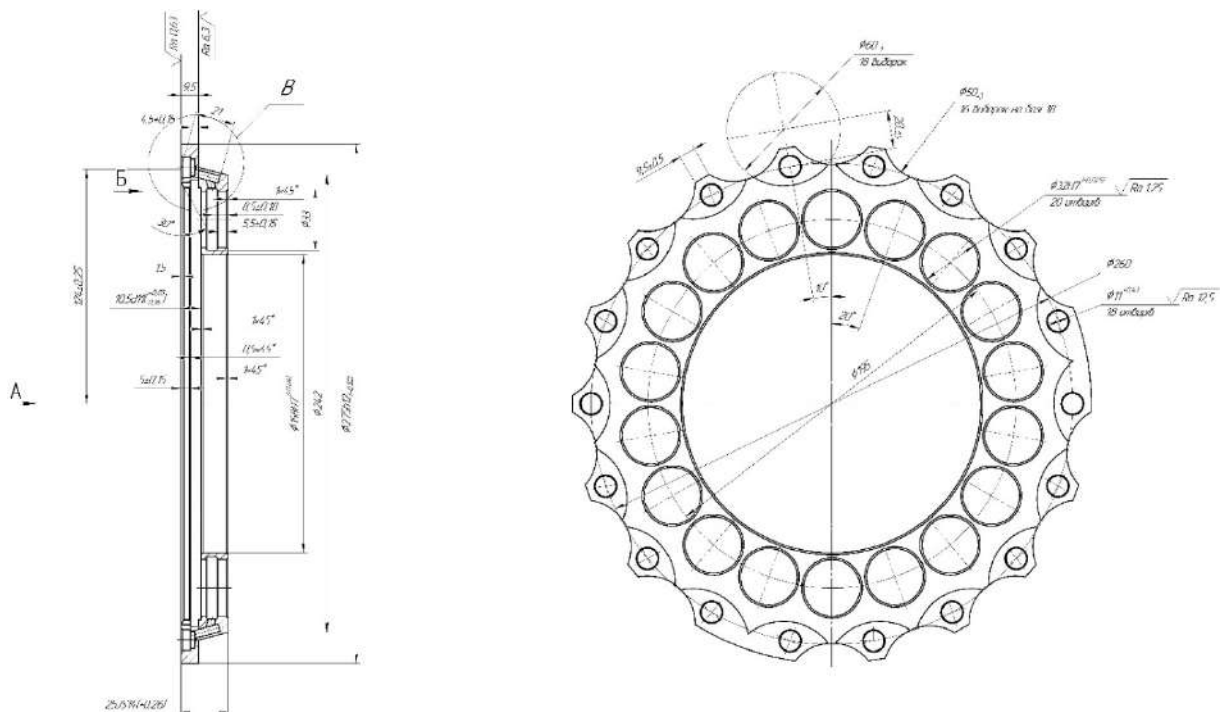


Рисунок 1.1 – Зображення деталі циліндр

Віртуальна модель деталі та розрахунок вагових характеристик показано на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Віртуальна модель деталі циліндр

Хімічний склад сплаву з якого виготовлено циліндр зазначено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 Хімічний склад сплаву ХН73МБТЮ, % [1]

Al	C	Cr	Fe	Mn	Mo	Nb	Ni	P	S	Si	Ti
1,3-1,7	≤0,08	13,0-16,0	≤2,0	≤0,40	2,8-3,2	1,8-2,2	Основа	≤0,015	≤0,007	≤0,60	2,35-2,75

Механічні властивості сплаву ХН73МБТЮ зазначено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 Механічні властивості сплаву ХН73МБТЮ [1]

StS0,2, МПа	sB, МПа	d5, %	y, %	KCU, кДж/м2	HB
≥675	≥1100	≥15	≥16	≥392	294-341
≥705	≥1130	≥17	≥19	≥490	294-341

Деталь підлягає наступній термічній обробці. Загартування на повітрі з 1100-1120 °С, (витримка 8 ч), охолодження на повітрі. Старіння при 765-785 °С протягом 16 ч., охолодження на повітрі [1].

1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт

Тип виробництва визначається комплексною характеристикою технічних, організаційних та економічних особливостей виробництва, обумовлених широтою номенклатури, регулярністю, стабільністю та обсягом випуску продукції.

Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженої номенклатури деталей партіями, що повторюються через певні проміжки часу. Це дозволяє використовувати поряд з універсальним, спеціальне обладнання. При проектуванні технологічних процесів передбачають порядок виконання і оснащення кожної операції.

Для організації серійного виробництва характерні такі риси. Цехи, як правило, мають у своєму складі ділянки, обладнання на яких розставляються по ходу технологічного процесу. В результаті виникають порівняно прості зв'язки між робочими місцями і створюються передумови для організації прямого переміщення деталей в процесі їх виготовлення.

Предметна спеціалізація ділянок робить доцільною обробку партії деталей паралельно на декількох верстатах, що виконують наступні один за одним операції. Як тільки на попередній операції закінчується обробка декількох перших деталей, вони передаються на наступну операцію до закінчення обробки всієї партії. Таким чином, в умовах серійного виробництва стає можливою паралельно-послідовна організація виробничого процесу. Це його відмітна особливість.

Розробку нового процесу виконуємо на основі базового [2]. Попередньо, врахувавши масу деталі 2,28 кг і програму випуску 1000 шт приймемо серійний тип виробництва.

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

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

де a – кількість запусків у серію (2 рази на тиждень);

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

$$n = \frac{2 \cdot 1000}{250} = 8 \text{ шт.}$$

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

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

Для деталі «Циліндр» виконуємо аналіз щодо вибору більш економічного з двох методів отримання заготовки. Для даної деталі буде доцільним використання одного з методів штампування. В нашому випадку вибір робимо між:

- штампування заготовки на молотах (рис. 1.3);
- штампування заготовки у відкритих штампах (рис. 1.4).

Штампування на молотах - універсальний і широко поширений вид штампування. Це пояснюється тим, що молоти мають досить просту конструкцію і порівняно недорогі. Крім того, на молотах можна виконувати практично будь-які штампувальні операції і переходи. Молот - це машина ударного (інерційного) типу. Масивна рухома деталь - молот, - із закріпленою на ній частиною штампа розганяється під дією власної сили тяжіння або за допомогою якого-небудь енергоносія до певної швидкості і виробляє удар по заготівці.

Штампування у відкритих штампах характеризується змінним зазором між рухомою і нерухомою частинами штампа. У цей зазор впливає частина металу - облой, який закриває вихід з порожнини штампа і змушує інший метал заповнити всю порожнину. У кінцевий момент деформування в облой витискаються надлишки металу, що знаходяться в порожнині, що дозволяє не пред'являти високі вимоги до точності заготовок по масі. Недолік такого способу штампування -

необхідність видалення облоя при подальшій механічній обробці. Штampuванням у відкритих штампах можна отримати поковки всіх типів.

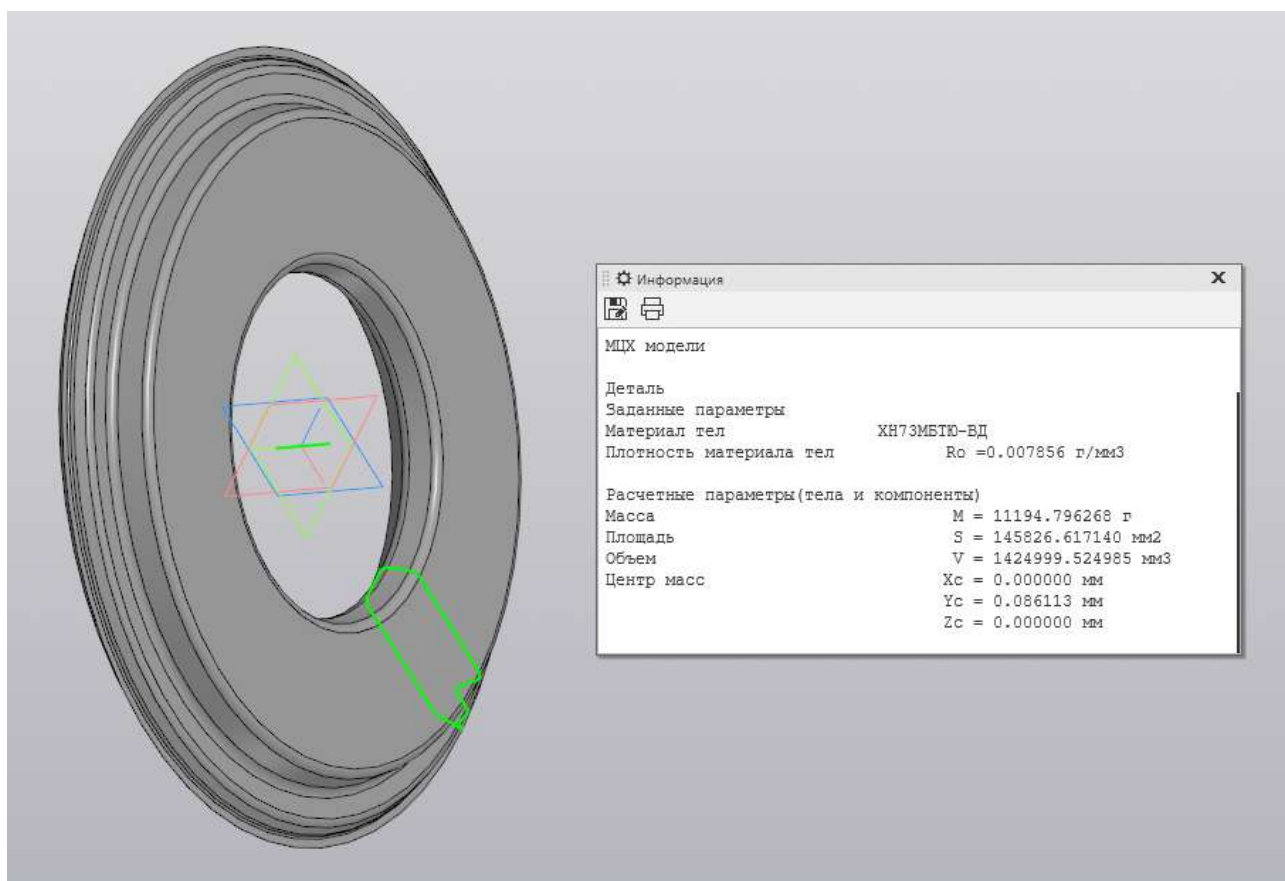


Рисунок 1.3 – Віртуальна модель заготовки отриманої штампуванням на молотах та розрахунок вагових характеристик заготовки

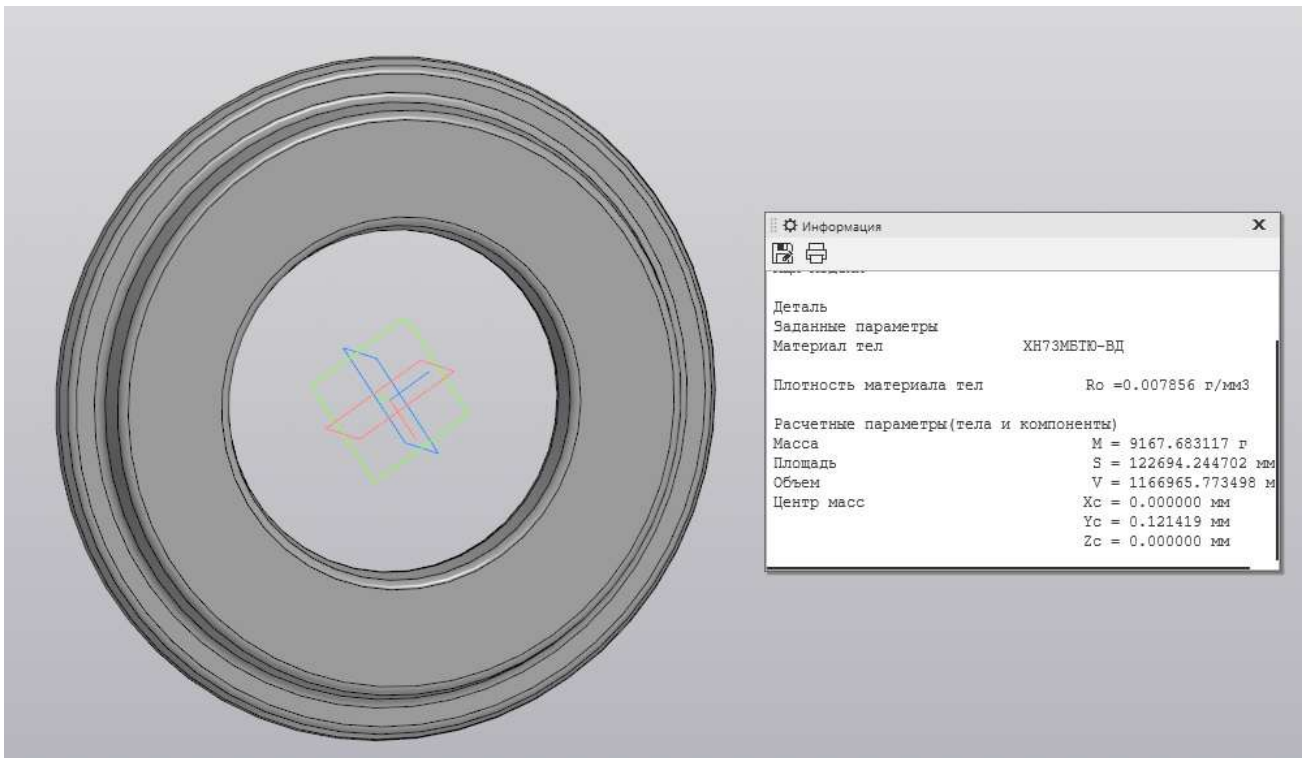


Рисунок 1.4 – Віртуальна модель заготовки отриманої штампуванням у відкритих штампах та розрахунок вагових характеристик заготовки

Вихідною інформацією для порівняння буде:

- маса деталі: $Q = 2,28$ кг;
- програма випуску: $N = 1000$ од.

Аналіз виконуємо за двома параметрами: 1 – аналіз за коефіцієнтом використання матеріалу; 2 – порівняння собівартості виготовлення заготовки. Розрахуємо коефіцієнт використання матеріалу за формулою (1.1) [2]:

$$\eta = \frac{Q_{\text{дет}}}{Q_{\text{заг}}}, \quad (1.1)$$

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

Визначимо коефіцієнт використання матеріалу для обох варіантів отримання заготовки: штамповки на молотах та штамповки у відкритих штампах:

$$\eta_1 = \frac{2,28}{11,12} = 0,20.$$

$$\eta_2 = \frac{2,28}{9,17} = 0,25.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою (1.2) [2]:

$$C = \frac{C_B}{1000} \cdot Q_{\text{заг}} \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_B \cdot K_{\Pi} - \frac{(Q - q)}{1000} \cdot S, \quad (1.2)$$

де C_B – базова вартість 1 т заготовок, які отримані цим методом, грн;

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

K_T – чинник, враховуючий точність заготовки [4];

K_M – чинник, враховуючий матеріал [4];

K_C – чинник, враховуючий складність заготовки [4];

K_B – чинник, враховуючий масу заготовки [4];

K_{Π} – чинник, враховуючий програму випуску [4];

S – вартість 1 т стружки, грн [4].

Розрахунок собівартості за двома варіантами робимо за:

$$C_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 11,12 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,75 \cdot 1 - \frac{(11,12 - 2,28)}{1000} \cdot 140 = 39,5 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{3000}{1000} \cdot 9,55 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,14 \cdot 0,95 \cdot 1 - \frac{(9,17 - 2,28)}{1000} \cdot 140 = 33,2 \text{ грн.}$$

Економічний ефект розраховуємо за формулою (1.3):

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.3)$$

$$E_B = (39,5 - 33,2) \cdot 1000 = 6300 \text{ грн.}$$

Економія метала визначається за формулою (1.4) [2]:

$$M_1 = \frac{Q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \quad (1.4)$$

$$M_1 = \frac{2,28 \cdot (0,25 - 0,2)}{0,25 \cdot 0,2} \cdot 1000 = 2280 \text{ кг.}$$

Таблиця 1.3 – Порівняльні показники за варіантами заготовок

Показник	Позначення	Одиниці вимірювання	Варіант заготовки	
			штамповка на молотах	штамповка у відкритих штампах
Маса	Q	кг	11,12	9,17
Припуск	Z	мм	2,0	1,55
Баз. ціна 1 т заготовок	C _Б	грн.	3500	3000
Поправочні чинники	K _Т	-	1,05	1
	K _М	-	1	1
	K _В	-	1,33	1
	K _З	-	1,75	1
	K _П	-	1	1
Вартість 1 т стружки	S	грн.	140	140
Собівартість 1 т заготовок	C	грн.	39,5	33,2
Коефіцієнт використання матеріалу	KBM	-	0,2	0,25

Оскільки $C_1 = 39,5$ грн більше, ніж $C_2 = 33,2$ грн та $\eta_1 = 0,2$ менше за $\eta_2 = 0,25$ обираємо більш раціональний метод отримання заготовки а саме: штамповка у відкритих штампах.

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

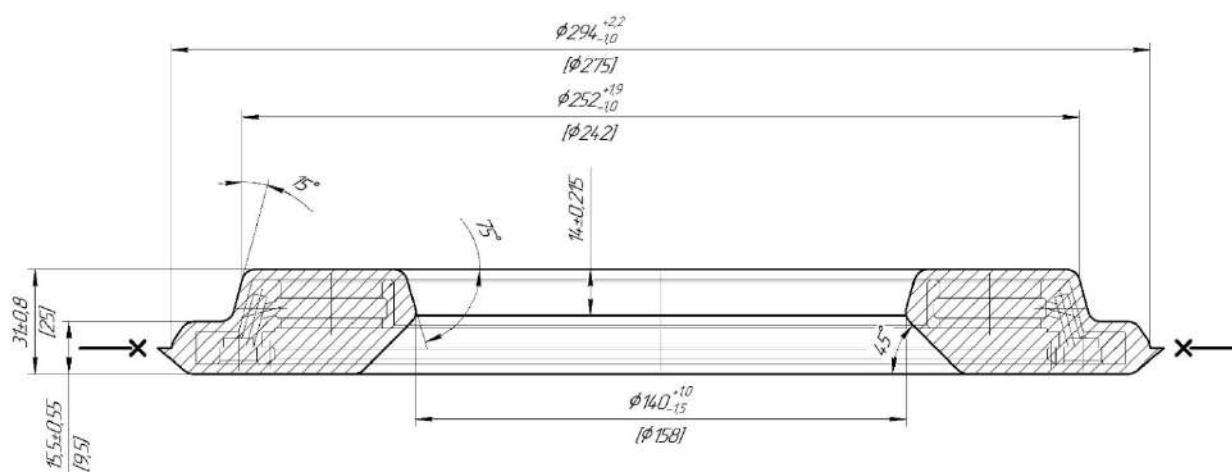


Рисунок 1.5 – Креслення заготовки отриманої штамповкою на молотах

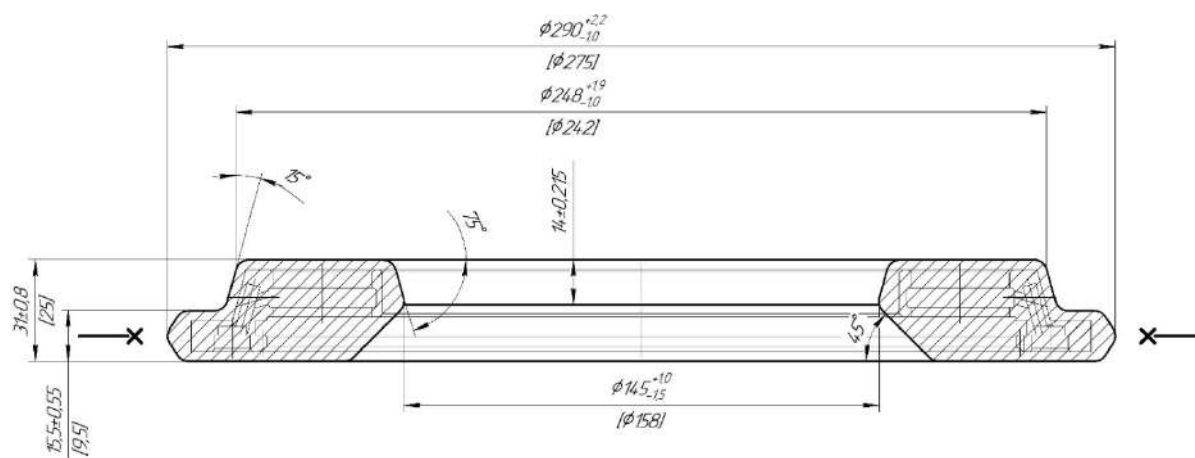


Рисунок 1.6 - Креслення заготовки отриманої штамповкою у відкритих штампах

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Оскільки матеріал відноситься до жароміцних сталей його обробка різанням супроводжується деякими складнощами. Деталь має невисоку жорсткість, в осі деталі розташовано центральний отвір великого діаметру. На торцях деталі виконані концентричні отвори. Виконання деяких отворів буде супроводжуватися складнощами оскільки їх вісь має кут нахилу відносно поверхні деталі. Геометричні розміри мають нормальну точність, має місце велика кількість уніфікованих елементів.

Значення коефіцієнту використання матеріалу визначено у попередньому пункті за формулою (1.1):

$$0,25 < 0,8$$

Виходячи з даної нерівності деталь не технологічна.

Значення коефіцієнту уніфікації визначаємо за формулою (1.6) [3]:

$$K_{y.э.} = \frac{Q_{yэ}}{Q_э} > 0,6, \quad (1.6)$$

де $Q_{y.э.}$, $Q_э.$ – відповідно кількість уніфікованих елементів та загальна кількість елементів.

$$K_{y.э.} = \frac{10}{15} = 0,66 > 0,6$$

За цим показником деталь технологічна.

Аналіз значення коефіцієнта точності визначаємо за формулою (1.7) [3]:

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{cp}}} > 0,8 \quad (1.7)$$

де A_{cp} – середній квалітет точності, визначаємо за формулою (1.8) [3]:

$$A_{\text{cp}} = \frac{14 \cdot n_1 + 13 \cdot n_2 + \dots + 6 \cdot n_n}{\Sigma n}, \quad (1.8)$$

де $n_1 \dots n_n$ – кількість розмірів, котрі мають відповідний квалітет;

Σn – кількість усіх розмірів.

$$A_{\text{cp}} = \frac{14 \cdot 10 + 11 \cdot 2 + 7 \cdot 3}{15} = 12,2$$

$$K_{\text{то}} = 1 - \frac{1}{12,2} = 0,92 > 0,8$$

За значенням цього показника деталь є технологічна.

Значення коефіцієнта шорсткості визначається за формулою (1.9) [3]:

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

де B_{cp} – середній квалітет шорсткості, визначаємо за формулою (1.11) [3]:

$$B_{\text{cp}} = \frac{K_5 \cdot n_1 + K_4 \cdot n_2 + \dots + K_8 \cdot n_n}{\Sigma n}, \quad (1.10)$$

де $K_{5 \dots 8}$ - клас шорсткості;

$n_1 \dots n_n$ - кількість розмірів, котрі мають відповідний клас шорсткості.

$$B_{\text{cp}} = \frac{5 \cdot 9 + 7 \cdot 2 + 8 \cdot 4}{15} = 5,46$$

$$K_{\text{ш}} = \frac{1}{5,46} = 0,18 < 0,32$$

За цим показником деталь технологічна.

Оскільки за одним з показників деталь є нетехнологічною то і загальний висновок робимо, що вона нетехнологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Для розміру $\varnothing 275h12$ шорсткість заготовки $R_a = 25$ мкм, [2], допуск $Td_3 = 3,2$ мм, шорсткість деталі $R_a = 6,3$ мкм, допуск $Td = 0,52$ мм.

Визначимо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.11), (1.12) [2]:

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

$$\varepsilon_d = \frac{3,2}{0,52} = 6,15$$

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

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{6,3} = 3,97$$

Визначаючим показником якості поверхні буде точність геометричного розміру. За цим показником розраховуємо k переходів за формулою (1.13) [2]:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon_d \quad (1.13)$$

$$k = 2 \cdot \lg 6,15 = 1,57$$

Приймаємо $k = 2$

Покращення параметру точності за переходами механічної обробки
 $IT = IT_{16} - IT_{12} = 4 = 3 + 1$

Розподіл показників точності за переходами механічної обробки: IT16-IT13-IT12

Визначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – точіння чорнове – точіння напівчистове [2].

За [2] визначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. таблиця 1.4.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [2]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{3,2}{1,12} = 2,85$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само [2].

Результати розрахунків заносимо в таблиця 1.4.

Для поверхні Ø158H7 шорсткість заготовки $R_a = 25$ мкм, [2], допуск $Td_3 = 2,5$ мм, шорсткість деталі $R_a = 6,3$ мкм, допуск $Td = 0,04$ мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості за формулами (1.11), (1.12) [2]:

$$\varepsilon_d = \frac{2,5}{0,04} = 62,5$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{6,3} = 3,97$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник точності геометричного розміру, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо k переходів за формулою (1.13) [2]:

$$k = 2 \cdot \lg 62,5 = 3,59$$

Приймаємо $k = 4$

Розподіл параметру точності за переходами механічної обробки IT=IT16-IT7=9=3+3+2+1

Розподіл показників точності за переходами механічної обробки: IT16-IT13-IT10-IT8-IT7. Визначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – розточування чорнове – розточування напівчистове – розточування чистове – шліфування чорнове.

За [2] визначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. таблиця 1.4. Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового за формулами (1.11), (1.12) [2]:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{2,5}{1,12} = 2,23$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{25}{12,5} = 2$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в таблиця 1.4.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Важливим напрямом єдиної технічної політики є широке використання інформаційних технологій, а також створення високопродуктивного та високоефективного виробництва, що має можливість швидкої переналагодження при переході з управління одного типу виробу на інший, тобто. створення гнучких виробничих систем.

В даний час намітилися тенденції створення віртуальних виробничих систем на базі розподілених виробничих систем.

Широке використання інформаційних технологій робототехніки, верстатів із ЧПУ, систем управління виробничими об'єктами багато в чому сприяє підвищенню ефективності виробничих систем у машинобудуванні.

Маршрут виготовлення деталі циліндр розроблено з використанням систем автоматизованого проектування та сучасного металообробного обладнання. Маршрут виготовлення деталі циліндр показано на кресленні в графічній частині магістерської роботи.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків обумовлює: оптимальні проміжні розміри заготовок по всіх технологічних переходах (від чорнової заготовки до готової деталі); мінімальне число технологічних переходів, що забезпечують задану якість оброблюваної деталі; раціональний вибір настановних баз і методів обробки.

Порівняно з дослідно-статистичними величинами припусків розрахунок забезпечує економію металу (від 6 до 15% чистого ваги деталі),

зниження трудомісткості процесів механічної обробки, зменшення витрат ріжучого інструменту.

Для забезпечення необхідної якості готової деталі необхідно на кожному виконуваному переході призначати припуск, що компенсує похибки попередньої обробки.

До основних погрішностей відносяться:

- R_z - висота мікронерівностей поверхні (шорсткість);
- h - глибина дефектного поверхневого шару;
- $\Delta\Sigma$ - сумарне значення просторових відхилень взаємопов'язаних поверхонь;
- ε - похибка установки на виконуваному переході.

Нижче наведено порядок розрахунку припусків на одну поверхню визначають розрахунково-аналітичним методом [2]:

Зовнішня діаметральна поверхня $\emptyset 275h12_{(-0,52)}$

Для заготівельного переходу значення $R_z=100\text{мкм}$ и $h=250\text{мкм}$ приймається у відповідності ваги заготовки [2].

Просторові відхилення заготовки визначаємо для штамповки задовільної точності [2, 3]: $\rho_{\text{см}}=750\text{мкм}$, $\rho_{\text{кор}}=\Delta_k \times 1=3 \times 25=75\text{мкм}=0,075\text{мм}$.

Визначаємо сумарне значення просторових відхилень за формулою (1.14) [2]:

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

$$\rho_1 = \sqrt{750^2 + 75^2} = 644,02\text{мкм} = 0,644\text{мм}$$

Значення заносимо в таблицю 1.5.

Для переходу чорнового точіння значення R_z , h : $R_{z2}=50\text{мкм}$, $h_2=125\text{мкм}$, $\rho_2=k_y \times \rho_1=0,06 \times 754=45,24\text{мкм}=0,045\text{мм}$, $k=0,06$ – коефіцієнт уточнення [2].

Похибки установки заготовки визначаємо за формулою (1.15) [1]:

$$\varepsilon_2 = 0,25 \times \sqrt{Td_{\text{заг}}^2 + 1} \quad (1.16)$$

де $Td_{\text{заг}}=3,2\text{мм}$ – допуск заготовки.

$$\varepsilon_2 = 0,25\sqrt{3,2^2 + 1} = 0,838\text{мм} = 838\text{мкм}$$

Для переходу напівчистового точіння значення Rz, h, приймаємо [2, 3]:

$Rz_3=25\text{мкм}$, $h_3=60\text{мкм}$, $\rho_3= 2,3\text{мкм}$, $\varepsilon_3=41,9\text{мкм}$ [2].

Мінімальний припуск визначаємо:

$$2Z_{imin} = 2 \cdot \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right)$$

Для переходу точіння чорнового:

$$2Z_{1min} = 2[100 + 250 + \sqrt{(644^2 + 838^2)}] = 2814\text{мкм} = 2,814\text{мм}$$

Для переходу точіння напівчистового:

$$2Z_{2min} = 2[50 + 125 + \sqrt{(45,24^2 + 41,9^2)}] = 473,3\text{мкм} = 0,473\text{мм}$$

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки [2, 3]:

$$d_3^{\min} = d_3^{\text{ном}} + \text{eid}_3 = 275 + (-0,52) = 274,48\text{мм}$$

Далі розрахункові мінімальні розміри знаходимо по формулі (1.16) [2, 3]:

$$d_i^{\min} = d_{i+1}^{\min} + 2z_{i+1}^{\min} \quad (1.16)$$

$$d_2^{\min} = 274,48 + 0,473 = 274,953 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 274,953 + 2,814 = 277,767 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні розміри поверхні для переходів по формулі (1.17) [2, 3]:

$$d_i^{\max} = d_i^{\min} + Td_i \quad (1.17)$$

$$d_3^{\max} = 274,48 + 0,52 = 275 \text{ мм};$$

$$d_2^{\max} = 274,953 + 1,12 = 276,073 \text{ мм};$$

$$d_1^{\max} = 277,767 + 3,2 = 280,967 \text{ мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.18) [2, 3]:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\max} \quad (1.18)$$

$$2z_2^{\max} = 280,967 - 276,073 = 4,894 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 276,073 - 275 = 1,073 \text{ мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.19) [2, 3]:

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = Td_{\text{заг}} + Td_{\text{дет}} \quad (1.19)$$

$$3116 - 2365 = 740 + 11$$

Визначаємо виконавчий розмір заготовки за формулою (1.20) [2, 3]:

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 \quad (1.20)$$

$$d_{1\text{ном}} = d_{1\text{min}} + ei_1 = 277,767 + 1,0 = 278,77 \text{ мм}$$

Виконуючий розмір заготовки буде дорівнювати: $\varnothing 278,77^{+2,2}_{-1,0}$ виконуючі розміри за іншими переходами виконуємо в системі «валу», за номінальний розмір приймається максимальне значення розміру поверхні мінус допуск на обробку як нижнє відхилення, всі данні заносимо в таблицю 1.5.

Розрахунок поверхні $\varnothing 30H11$ виконуємо табличним методом [1]. За [2, табл. 27, с. 186] знаходимо мінімальні припуски механічної обробки:

Розточування чорнове $2Z_{2\min}=2,5\text{мм}$ [2, 3];

Розточування напівчистове $2Z_{3\min}=1,15\text{мм}$ [2, 3];

Розточування чистове $2Z_{4\min}=0,55\text{мм}$ [2, 3];

Шліфування $2Z_{5\min}=0,25\text{мм}$ [2, 3];

Визначаємо мінімальний розмір поверхні деталі – розмір останнього переходу механічної обробки за формулою (1.21) [2, 3]:

$$d_4^{min} = d_4^{HOM} + eid_4 \quad (1.21)$$

$$d_5^{min} = 158 + 0 = 158\text{мм}$$

Далі розраховуємо мінімальні розміри за формулою (1.22) [2, 3]:

$$d_i^{min} = d_{i+1}^{min} - z_{i+1}^{min} - Td_i \quad (1.22)$$

$$d_5^{min} = 158 - 0,25 - 0,1 = 157,65\text{мм};$$

$$d_4^{min} = 157,65 - 0,55 - 0,24 = 156,86\text{мм};$$

$$d_3^{min} = 156,86 - 1,12 - 1,12 = 154,62\text{мм};$$

$$d_1^{min} = 154,62 - 2,5 - 2,5 = 149,62\text{мм};$$

Далі розраховуємо максимальні розміри за формулою (1.23) [2, 3]:

$$d_i^{max} = d_i^{min} + Td_i \quad (1.23)$$

$$d_1^{max} = 149,62 + 2,5 = 152,12\text{мм};$$

$$d_2^{max} = 154,62 + 1,12 = 155,74\text{мм};$$

$$d_3^{max} = 156,86 + 0,24 = 157,1\text{мм};$$

$$d_4^{max} = 157,65 + 0,1 = 157,75\text{мм};$$

$$d_5^{max} = 158 + 0,04 = 158,04\text{мм};$$

Розраховуємо максимальні припуски для переходів механічної обробки за формулою (1.24) [2, 3]:

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

$$2Z_{max2} = 155,74 - 149,62 = 6,12\text{мм};$$

$$2Z_{max3} = 157,1 - 154,62 = 2,48\text{мм};$$

$$2Z_{max4} = 157,75 - 156,86 = 0,89\text{мм};$$

$$2Z_{max5} = 158,04 - 157,65 = 0,39\text{мм};$$

Перевіряємо розрахунки, використовуючи формулу (1.25) [2, 3]:

$$2Z_0^{max} - 2Z_0^{min} = Td_{заг} + Td_{дет} \quad (1.25)$$

$$8,42 - 5,88 = 2,5 + 0,04$$

Виконуючий розмір заготовки буде дорівнювати: $\text{Ø}151,12_{-1,5}^{+1,0}$ виконуючи розміри за іншими переходами виконуємо в системі «отвору», за номінальний розмір приймаємо мінімальне значення розміру поверхні плюс допуск на обробку як верхує відхилення, всі данні заносимо в таблицю 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}	
Ø275h12	Заготовка	100	250	754	-	-	277,767	3,2	280,967	277,767	-	-	Ø278,8 ^{+2,2} _{-1,0}
	Т/О	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Точ.чорн.	50	125	45,24	838	2814	274,953	1,12	276,073	274,953	4894	2814	Ø276,1 _{-1,12}
	Точ. напів/чист	25	60	2,3	41,9	473	274,48	0,52	275	274,48	1073	473	Ø275 _{-0,52}
Ø26H7	Заготовка					-	149,62	2,5	152,12	149,62	-	-	Ø151,1 ^{+1,0} _{-1,5}
	Т/О					-	-	-	-	-	-	-	-
	Розточ.чорн.					2500	154,62	1,12	155,74	154,62	6120	2500	Ø154,6 ^{+1,12}
	Розточ. п/чист					1120	156,86	0,24	157,1	156,86	2480	1120	Ø156,9 ^{+0,24}
	Розточ. чист					550	157,65	0,1	157,75	157,65	890	550	Ø157,7 ^{+0,1}
	Шліф					250	158	0,04	158,04	158	390	250	Ø158 ^{+0,04}

1.6 Аналіз режимів різання

Розробку токарної операції виконуємо на прикладі «Операція токарна з ЧПК №020» яка відноситься до однієї з операцій чорнової обробки, операційний ескіз показано на рис. 1.6.

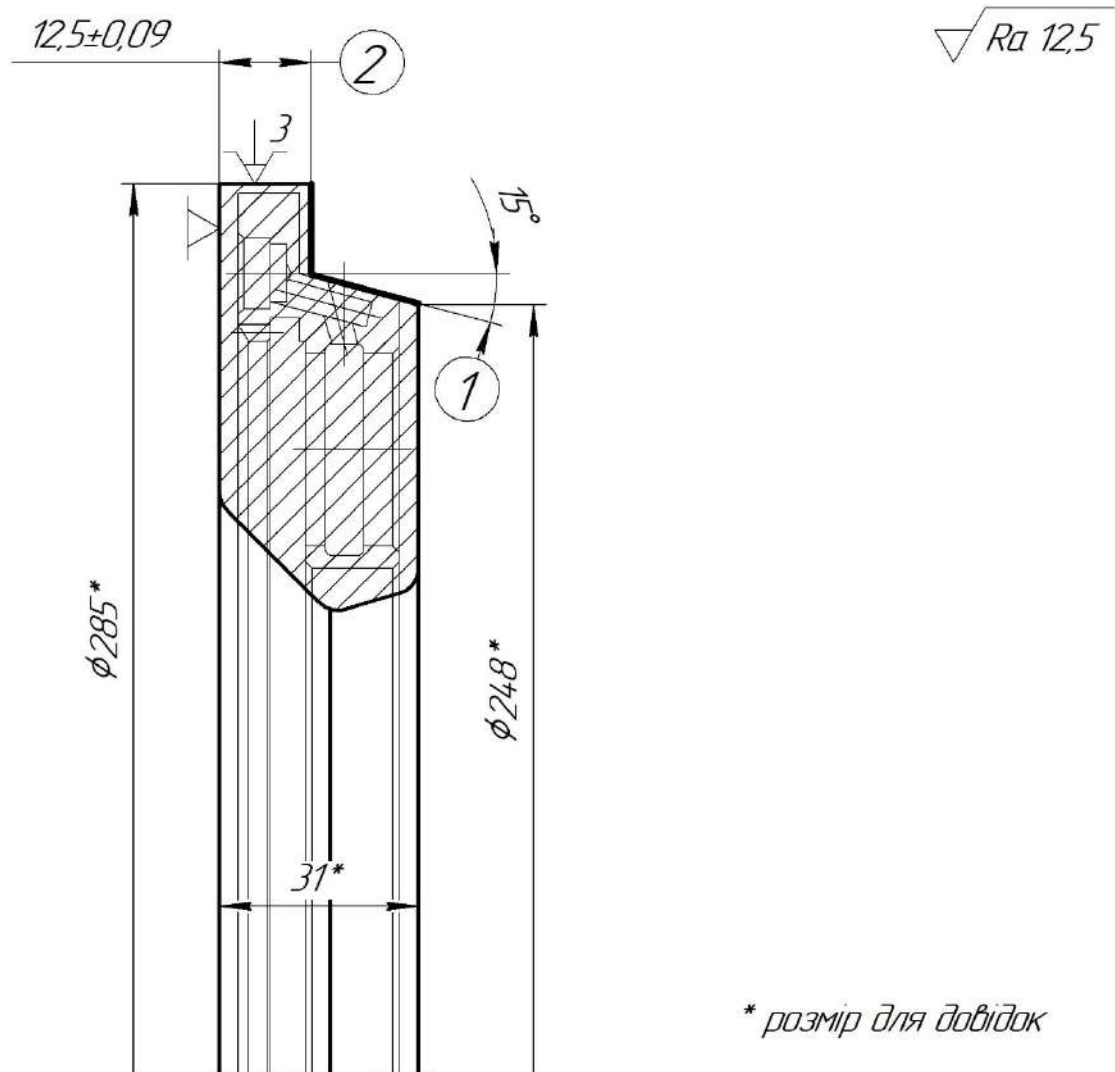


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз операції Токарна з ЧПУ

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПУ COLCHESTER CNC2000. Заготовка затискається в пневматичному трьохкулачковому патроні.

Виконується токарна обробка поверхонь 1,2. Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву ВК10. Глибина різання $t_1=1,5$ мм. Подача визначається за формулами (1.26), (1.27) [4]:

$$S_o = S_{o_T} \times K_{S_o} \quad (1.26)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{II}} \times K_{S_{II}} \times K_{S_{\phi}} \times K_{S_3} \times K_{S_{Ж}} \times K_{S_M} \quad (1.27)$$

де $S_{o_T} = 0,12$ мм/об [4];

$K_{S_{II}}$ – чинник, враховуючий стан оброблюваної поверхні, $K_{S_{II}}=1,0$ [4];

$K_{S_{II}}$ – чинник, враховуючий матеріал інструменту, $K_{S_{II}}=1,0$ [4];

$K_{S_{\phi}}$ – чинник, враховуючий форму оброблюваної поверхні, $K_{S_{\phi}}=0,85$ [4];

K_{S_3} – чинник, враховуючий вплив заправки, $K_{S_3}=0,95$ [4];

$K_{S_{Ж}}$ – чинник, враховуючий жорсткість системи, $K_{S_{Ж}}=0,93$ [4];

K_{S_M} – чинник, враховуючий матеріал оброблюваної поверхні, $K_{S_M}=1,0$ [4].

$$K_{S_o} = 1,0 \times 1,0 \times 0,85 \times 0,95 \times 0,93 \times 1,0 = 0,75$$

$$S_o = 0,12 \times 0,75 = 0,09 \approx 0,1 \text{ мм/об}$$

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.28), (1.29):

$$V = V_T \times K_V \quad (1.28)$$

$$K_V = K_{V_M} \times K_{V_{II}} \times K_{V_{\phi}} \times K_{V_T} \times K_{V_{Ж}} \times K_{V_{II}} \times K_{V_O} \quad (1.29)$$

де, V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T=112$ м/хв, [4];

K_V – узагальнений швидкісний чинник [4];

K_{V_M} – чинник оброблюваного матеріалу, $K_{V_M}=0,8$ [4];

K_{V_I} – чинник, враховуючий вплив матеріалу інструменту, $K_{V_I}=1,0$ [4];

$K_{V_{\phi}}$ – чинник, враховуючий вплив головного куту в плані, $K_{V_{\phi}}=1,0$ [4];

K_{V_T} – чинник, враховуючий вид обробки, $K_{V_T}=0,85$ [4];

$K_{V_{Ж}}$ – чинник, враховуючий жорсткість системи, $K_{V_{Ж}}=0,82$ [4];

$K_{V_{II}}$ – чинник, враховуючий стан оброблюваної поверхні, $K_{V_{II}}=1,0$ [4];

K_{V_O} – чинник, враховуючий вплив ЗОР, $K_{V_O}=1,0$.

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

$$V = 112 \times 0,56 = 62,72 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделю за формулою (1.30):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.30)$$

де, V - швидкість різання, м/хв

D - діаметр обробки, мм

$$n = \frac{1000 \times 62,72}{3,14 \times 285} = 70,1 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n=70 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 70 \times 285}{1000} = 62,64 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.31) [4]:

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.31)$$

де, C_p – чинник, враховуючий умови обробки, $C_p=204$ [4];

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

$y=0,75$; [4];

k_p – поправочний чинник, враховуючий фактичні умови різання визначається за формулою (1.32) [4]:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{qv} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.32)$$

де, k_{mv} - поправочний чинник, враховуючий вплив якості оброблююмого матеріалу визначаємо за формулою (1.33):

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.33)$$

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

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$ - поправочні чинники, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту $k_{\phi p}=1,08$, $k_{\gamma p}=1,15$, $k_{\lambda p}=1,0$, $k_{rp}=0.93$, [4];

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

$$P_z = 10 \times 204 \times 2,0^{1,0} \times 0,1^{0,75} \times 62,64^0 \times 1,51 = 547,78 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.34):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.34)$$

де, P_z - сила різання, Н

V - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{547,78 \times 62,64}{1020 \times 60} = 0,56 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

$$N_2 = 0,72 \text{ кВт} \leq N_{CT} = N_{дв} \cdot \eta = 15 \cdot 0,56 = 12,75 \text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.35):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.35)$$

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

y - величина врізання, мм $y=3$ мм;

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

$$T_o = \frac{47,5 + 3 + 3}{100 \times 0,1} = 5,35 \text{хв}$$

Свердлильна операція з ЧПК №045

Операційний ескіз на розроблювану операцію свердлування вісімнадцяти отворів на програмному верстаті з ЧПК показано на рис. 1.7.

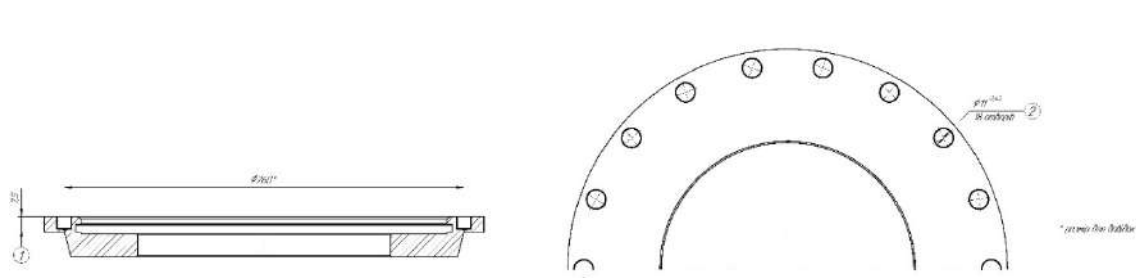


Рисунок 1.7 - Операційний ескіз свердлильної операції з ЧПК №045

На операції використовується оброблюючий центр Haas VF5, Micron VCE1250W з метою концентрації технологічних операцій на одному робочому місті. Виконується свердління вісімнадцяти глухих отворів Ø11 L=7,5мм Ra=6,3мкм; Інструмент: Свердло спіральне Ø11мм, L=25мм, P6M5, ГОСТ12121-77.

Довжина робочого ходу визначається за формулою (1.36) [4]:

$$Lp = 2 \cdot (l + y) \quad (1.36)$$

де l-довжина свердління l=4мм;

y=0,6d_{св} –врізання, мм;

де d_{св}-діаметр свердла, мм;

$$Lp = 2 \cdot (7,5 + 6,6) = 28,2 \text{мм}$$

$$\text{Глибина різання: } t = \frac{d_{\text{св}}}{2} = \frac{11}{2} = 5,5 \text{мм.}$$

Визначаємо подачу за формулою [4]:

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

По паспорту верстата приймаємо $S_0 = 0,1 \text{ мм/об}$

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.37) [4]:

$$v_0 = v_m \times k_{mv} \times k_{nv} \times k_{uv} \times k_{\phi v} \times k_{\phi 1v} \times k_r \quad (1.37)$$

де, k_{mv} – чинник, враховуючий матеріал заготовки визначається за формулою (1.38) [4]:

$$k_{mv} = k_r \cdot \left(\frac{750}{\sigma_b} \right)^{n_v} \quad (1.38)$$

k_r – чинник, що характеризує групу сталі. $k_r=0.8$ [4];

σ_b – тимчасовий опір розриву, МПа. $\sigma_b=1061$ МПа [4];

n_v – показник степені, $n_v=1.0$ [4];

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

k_{nv} – чинник, що характеризує стан поверхні $k_{nv}=0.8$ [4];

k_{uv} – чинник, що характеризує матеріал інструменту $k_{uv}=1.0$ [4];

$k_{\phi v}$, $k_{\phi 1v}$, k_{rv} , – чинники, що характеризують геометричні параметри інструменту $k_{\phi v}=1,0$, $k_{\phi 1v}=0,94$, $k_{rv}=1,03$ [4].

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

Частота обертання деталі визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 1,6}{3,14 \times 11} = 46,3 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання $n=50$ об/хв.

Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \times 11 \times 50}{1000} = 1,73 \text{ м/хв}$$

Крутячий момент, визначається за формулою (1.39) [4]:

$$M_{KP} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot S^y \cdot K_P \quad (1.39)$$

$$C_M = 0,041; \quad q = 2; \quad y = 0,7 \quad K_P = 1,04 \quad [3];$$

$$M_{KP} = 10 \times 0,041 \times 11^2 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 39,59 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, Н визначається за формулою (1.40) [4]:

$$P_0 = 10 \times C_P \times D^q \times S^y \times K_P \quad (1.40)$$

$$C_P = 143; \quad q = 1; \quad y = 0,7; \quad K_P = 1,04 \quad [3]$$

$$P_0 = 10 \times 87 \times 11^1 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 7637,8 \text{ Н}$$

Потужність різання, кВт

$$N_3 = \frac{39,59 \times 50}{9750} = 0,2 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.41):

$$t_{O2} = \frac{l + l_1}{n \times S} \times i \quad (1.41)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору), $l=7,5$ мм;

l_1 – довжина врізання і перебігу інструменту $l_1 = 3,5$ мм, [5];

i – кількість проходів, $i = 18$;

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

S – подача інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left(\frac{11}{50 \times 0,1} \right) \times 18 = 39,6 \text{ хв}$$

Фрезерна операція з ЧПК 070

На операції використовується оброблюючий центр Haas VF5, Micron VCE1250W з метою концентрнації технологічних операцій на одному робочому місті. Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.8.

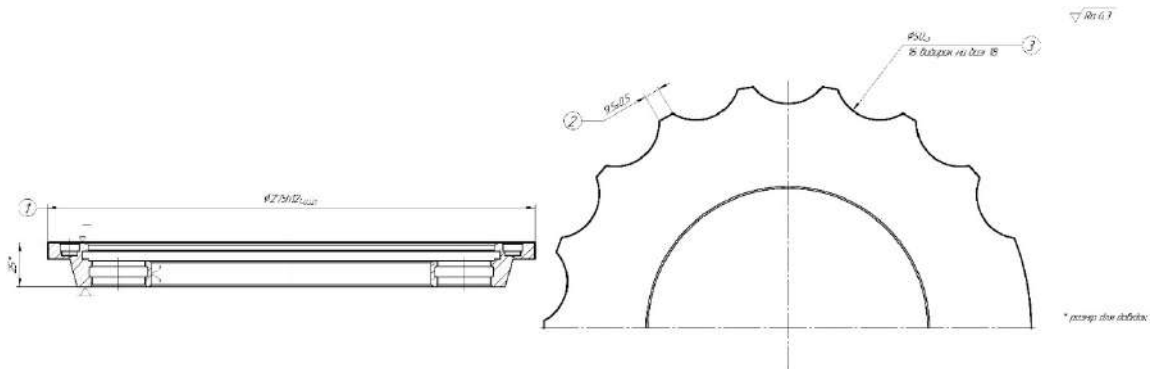


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз на фрезерну операцію з ЧПК 070

Ріжучий інструмент: Фреза кінцева Ø50 BK10 ГОСТ 17026-71

Визначаємо подачу за формулою (1.42) [4]:

$$S_Z = S_{ZT} \cdot K_{SZ} \quad (1.42)$$

де $S_Z = 0,055$ мм/зуб – табличне значення подачі [4];

K_{so} – чинник, враховуючий ряд конструктивних особливостей технологічної системи визначається за формулою (1.43) [4];

$$K_{S_Z} = K_{S_{ZH}} \cdot K_{S_{Z\Phi}} \cdot K_{S_{ZR}} \quad (1.43)$$

де $K_{S_{ZH}}$ – чинник, враховуючий матеріал інструменту, $K_{S_{ZH}} = 1$ [4];

$K_{S_{Z\Phi}}$ – чинник, враховуючий вид оброблюваної поверхні, $K_{S_{Z\Phi}} = 1$ [4];

$K_{S_{ZR}}$ – чинник, враховуючий клас чистоти, $K_{S_{ZR}} = 0,5$ [4];

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

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.44) [4]:

$$V = V_T \cdot K_V \quad (1.44)$$

де V_m – табличне значення швидкості різання $V_m = 20$ м/хв [4];

K_V – чинник, враховуючий ряд конкретних умов обробки визначається за формулою (1.45) [4]:

$$K_V = K_{V_M} \cdot K_{V_H} \cdot K_{V_O} \cdot K_{V_{\Pi}} \cdot K_{V_{\Phi}} \cdot K_{V_B} \quad (1.45)$$

де K_{V_M} – чинник, враховуючий оброблюваність матеріалу, $K_{V_M} = 0,81$ [4];

K_{V_H} – чинник, враховуючий стан поверхні, $K_{V_H} = 1$ [4];

K_{V_O} – чинник, враховуючий умови обробки, $K_{V_O} = 1$ [4];

$K_{V_{\Phi}}$ – чинник, враховуючий вид обробки, $K_{V_{\Phi}} = 1$ [4];

K_{V_H} – чинник, враховуючий матеріал інструменту, $K_{V_H} = 1$ [4];

K_{V_B} – чинник, враховуючий ширину фрезерування, $K_{V_B} = 1$ [4].

$$V = 20 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 16,2 \text{ м/хв}$$

Обороти визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 16,2}{3,14 \times 50} = 103,2 \text{ об/хв}$$

Коригуємо обертання шпинделя по паспорту верстата $n = 100$ об/хв.

Знаходимо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \times 100 \times 50}{1000} = 15,7 \text{ м/хв}$$

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.46) [4]:

$$S_{\text{хв}} = S_Z \times z \times n_D, \text{ мм/хв} \quad (1.46)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,0275 \times 4 \times 100 = 11 \text{ мм/хв}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.47):

$$N_{\text{рез}} = N_H \cdot K_M \cdot K_K \cdot K_W \cdot K_\beta = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (1.47)$$

де $N_H=0,8 \text{ кВт}$ потужність необхідна на різання [6];

$K_M=1$ – поправочний чинник, залежний від оброблюваного матеріалу [4];

$K_W=1,64$ – поправочний чинник, залежний від кількості осьових переміщень [4];

$K_K=1,1$ – поправочний чинник, залежний від кількості заходів фрези [4];

$K_\beta=1$ – поправочний чинник, залежний від кута нахилу зубів коліс [4];

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

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

Визначаємо машинний час за формулою (1.48):

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.48)$$

де, l – довжина оброблюваної поверхні, $l=421 \text{ мм}$;

y – величина врізання, $y=3 \text{ мм}$;

Z – число зубів фрези, $z=4$.

$$T_o = \frac{421 + 3}{100 \times 0,0275 \times 4} = 38,5 \text{ хв}$$

Результати розрахунків режимів різання за іншими операціями обробки різанням заносимо в таблицю 1.6.

Таблиця 1.6 – Таблиця режимів різання

N Опер.	Найменування операції		t, мм	S _o , мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	T _o , хв
015	Токарна з ЧПУ		1,5	0,2	62,72	70	2,1
020	Токарна з ЧПУ		1,5	0,1	89,49	100	5,35
025	Токарна з ЧПУ	1	1,0	0,14	80	600	5,09
		2	1,0	0,14	400	800	
030	Токарна с ЧПУ		1	0,15	57,2	500	8,31
035	Токарна с ЧПУ	1	0,4	0,06	345,4	400	3,66
		2	0,5	0,1	188,1	400	
040	Токарна с ЧПУ	1	1,5	0,1	172,7	200	8,49
		2	1,5	0,1	140,67	200	
		3	1,5	0,1	140,67	200	
045	Свердлильна з ЧПУ		5,5	0,1	1,6	50	39,6
050	Фрезерна з ЧПУ	1	3	0,5	41,3	600	20,1
		2	2	0,5	41,3	600	
055	Фрезерна з ЧПУ	1	10	0,15	18,84	400	58,1
		2	15	0,2	31,4	500	
060	Зубообробна		2	0,2мм/подв хід			45,3
065	Електроерозійна з ЧПУ		2	0,05	-	-	4,2
070	Фрезерна з ЧПУ		-	0,0275	6,72	50	77,09
075	Шліфувальна		0,08	0,008	36,11	2300	0,22
080	Шліфувальна		0,05	0,002	36,11	2300	0,11
070	Шліфувальна		0,1	0,01	36,11	2300	0,1

1.7 Розрахунок технічної норми часу

Нормування операції токарна з ЧПУ №20: $t_o=5,35$ хв

Допоміжний час визначаємо за формулою (1.49) [10]:

$$t_{всп.} = t_{в.у} + t_{м.в.} \quad (1.49)$$

де, $t_{в.у.} = 0,35$ хв – час на установку і зняття деталі в патроні [10];

$t_{м.в.} = 0,39$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [10]

$$t_{всп} = 0,35 + 0,39 = 0,74 \text{хв}$$

Час роботи верстата дорівнює неповному оперативному часу роботи верстата визначається за формулою (1.50) [10]:

$$t_{п.у.} = t_o. + t_{м.в.} \quad (1.50)$$

$$t_{п.у.} = 5,35 + 0,74 = 6,09 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначається за формулою (1.51) [10]:

$$t_{обс} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.51)$$

$$t_{обс} = 0,1 \cdot 6,09 = 0,61 \text{хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначається за формулою (1.52) [10]:

$$t_{п} = 10\% \cdot t_{п.у.} \quad (1.52)$$

$$t_{п} = 0,1 \cdot 6,09 = 0,61 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 6,09 + 0,61 + 0,61 = 7,31 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [6] за формулою (1.53):

$$T_{\text{п-з}} = T_{\text{п-з1}} + T_{\text{п-з2}} \quad (1.53)$$

де, $T_{\text{п-з1}} = 12$ хв – час на витрати по обслуговуванню верстата [6]

$T_{\text{п-з2}} = 5$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [6]

$$T_{\text{п-з}} = 12 + 5 = 17 \text{хв}$$

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{17}{8} + 7,31 = 9,44 \text{хв.}$$

Нормування операції свердлильна з ЧПУ №45: $t_0 = 39,6$ хв

Допоміжний час:

$t_{\text{в.у.}} = 0,3$ хв – час на установку і зняття деталі [5];

$t_{\text{м.в.}} = 0,1$ хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [6]

$$t_{\text{всп}} = 0,3 + 0,1 = 0,4 \text{хв.}$$

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

$$t_{\text{п.у.}} = 39,6 + 0,4 = 40 \text{хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою (1.54) [10]:

$$t_{\text{обс}} = 8\% \times t_{\text{п.у.}} \quad (1.54)$$

$$t_{\text{обс}} = 0,08 \times 40 = 3,2 \text{хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби за формулою (1.55) [10]:

$$t_{\text{п}} = 8\% \times t_{\text{п.у.}} \quad (1.56)$$

$$t_{\text{п}} = 0,08 \times 40 = 3,2 \text{хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 40 + 3,2 + 3,2 = 46,4 \text{хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію [6] за формулою:

$$T_{\text{п-з}} = 5 + 3 = 8 \text{хв.}$$

де, $T_{\text{п-з1}} = 5$ хв – час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [6];

$T_{\text{п-з2}} = 3$ хв – час на витрати, що враховують додаткові роботи [6].

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{8}{8} + 46,4 = 47,4 \text{хв.}$$

Нормування операції фрезерна з ЧПУ №70: $t_0 = 77,09 \text{хв}$

Визначаємо машинний час за формулою (1.57) [10]:

$$T_o = \frac{l + y}{n \cdot S_o \cdot Z} \quad (1.57)$$

де, l – довжина оброблюваної поверхні, $l=421$ мм;

y – величина врізання, мм $y=3$ мм;

Z – число зубів фрези, $z=4$.

$$T_o = \frac{421 + 3}{50 \times 0,0275 \times 4} = 77,09 \text{ хв}$$

Допоміжний час:

$t_{"0"} = 0,05$ хв - переміщення інструменту в «0» інструменту [5];

$t_{с.б.} = 0,05$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку [5];

$t_{с.б.} = 0,05$ хв - час пов'язаний зі зміною блоку [5];

$t_{в.у.} = 1,2$ хв - час на установку і зняття деталі в патроні затиском [5];

$t_{м.в.} = 0,15$ хв - час, пов'язаний з виконанням допоміжних ходів і переміщень при обробці поверхні [5]

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

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

$$t_{п.у.} = 77,09 + 1,45 = 78,54 \text{ хв.}$$

Час на обслуговування робочого місця визначаємо за формулою:

$$t_{обс} = 0,08 \times 78,54 = 6,28 \text{ хв.}$$

Час на відпочинок і природні потреби визначаємо за формулою:

$$t_{п} = 0,08 \times 78,54 = 6,28 \text{ хв.}$$

Визначаємо штучний час на операцію:

$$t_{\text{шт.}} = 78,54 + 6,28 + 6,28 = 91,1 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчо-завершальний час на операцію за формулою:

$$T_{\text{п-з}} = 13 + 18 = 31 \text{ хв.}$$

де, $T_{\text{п-з1}} = 13$ хв - час на витрати для усіх верстатів з ЧПУ [5];

$T_{\text{п-з2}} = 18$ хв - час на витрати додаткові роботи, що враховують, [5]:

Штучно-калькуляційний час на операцію, хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{31}{8} + 91,1 = 94,97 \text{ хв.}$$

Результати розрахунків технічного нормування за іншими операціями обробки різанням заносимо в таблицю 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічна норма часу за операціями

Номер операції	Найменування операції	Складові $T_{\text{шт-к}}$						
		t_o	t_v	$t_{\text{оп}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{п}}$	$t_{\text{п-з}}$	$t_{\text{шт-к}}$
015	Токарна з ЧПУ	2,1	0,33	2,43	0,19	0,19	14	3,19
020	Токарна з ЧПУ	5,35	1,33	1,48	0,12	0,12	12	9,44
025	Токарна з ЧПУ	5,09	2,03	7,12	0,57	0,57	10	8,51
030	Токарна з ЧПУ	8,31	2,41	10,72	0,86	0,86	18	12,89
035	Токарна з ЧПУ	8,72	1,7	10,42	0,83	0,83	12,5	12,39
040	Токарна з ЧПУ	0,49	1,25	1,74	0,14	0,14	18	2,47
045	Свердлильна з ЧПУ	39,6	1,1	40,7	3,53	3,53	15	47,4
050	Фрезерна з ЧПУ	20,1	2,01	22,11	1,77	1,77	12	25,95
055	Фрезерна з ЧПУ	58,1	1,48	59,58	4,77	4,77	20	69,62
060	Зубообробна	45,3	1,2	46,5	3,72	3,72	12	54,24
065	Електроерозійна з ЧПУ	4,2	0,96	5,16	0,41	0,41	12	6,28
070	Фрезерна з ЧПУ	77,09	1,07	78,16	6,25	6,25	15	94,97
075	Шліфувальна	0,22	1,45	1,67	0,13	0,13	10	2,18
080	Шліфувальна	0,11	0,68	0,79	0,06	0,06	21	1,44
085	Шліфувальна	0,1	1,08	1,18	0,09	0,09	11	1,64

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

Для автоматизованої розробки технологічної операції використовуємо модуль САМ програмного забезпечення NX. Кроки розробки завданої операції у програмному забезпеченні показано на рис. 1.9 – 1.12.

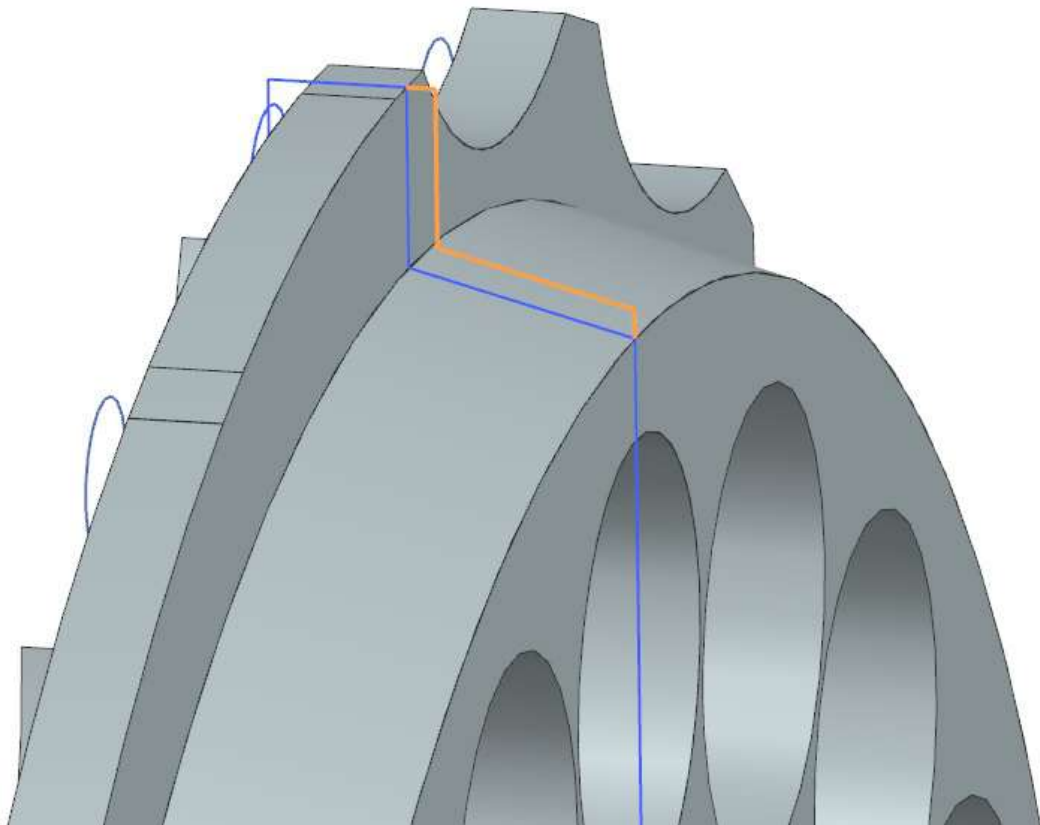


Рисунок 1.9 – 3D модель операційного ескізу

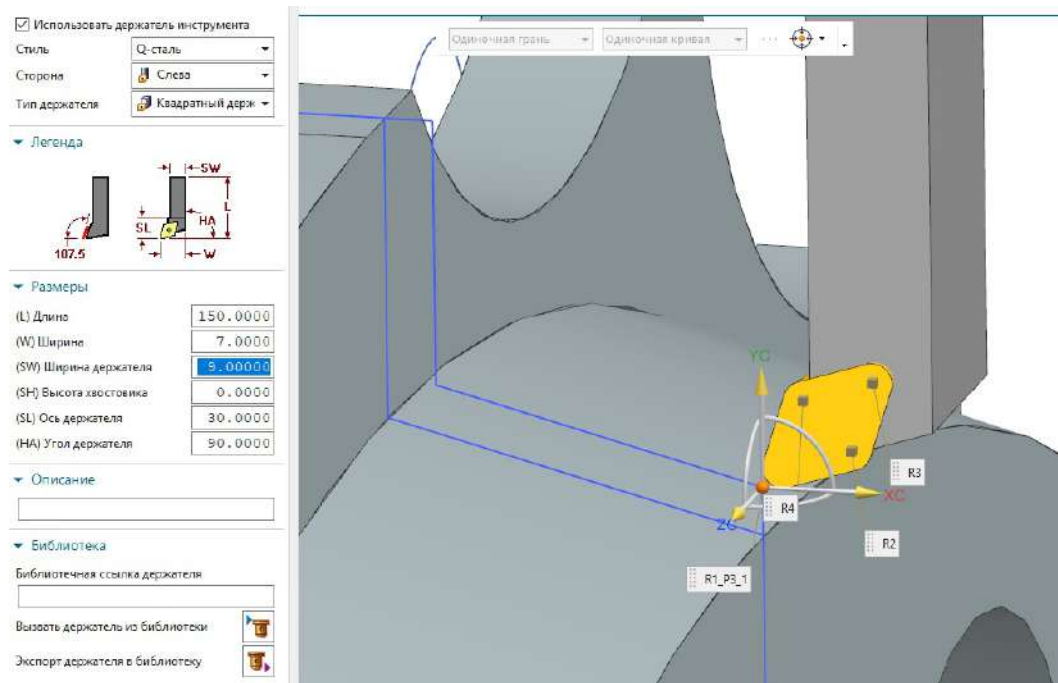


Рисунок 1.10 – Орієнтація інструменту відносно поверхні обробки

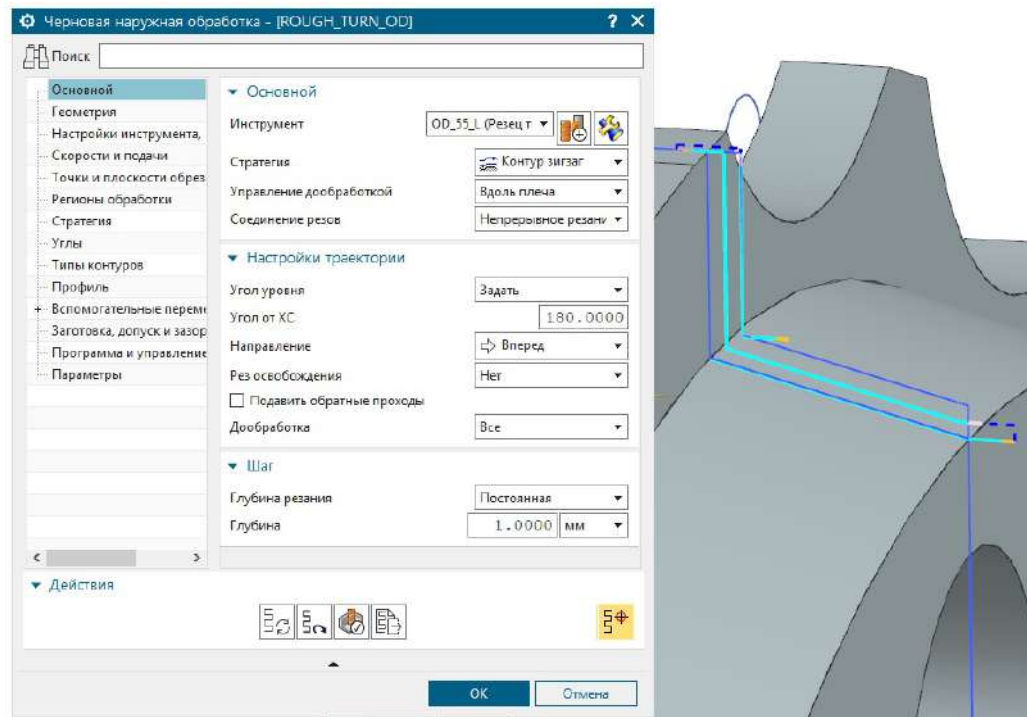


Рисунок 1.11 – Траекторія обробки поверхні на токарній операції

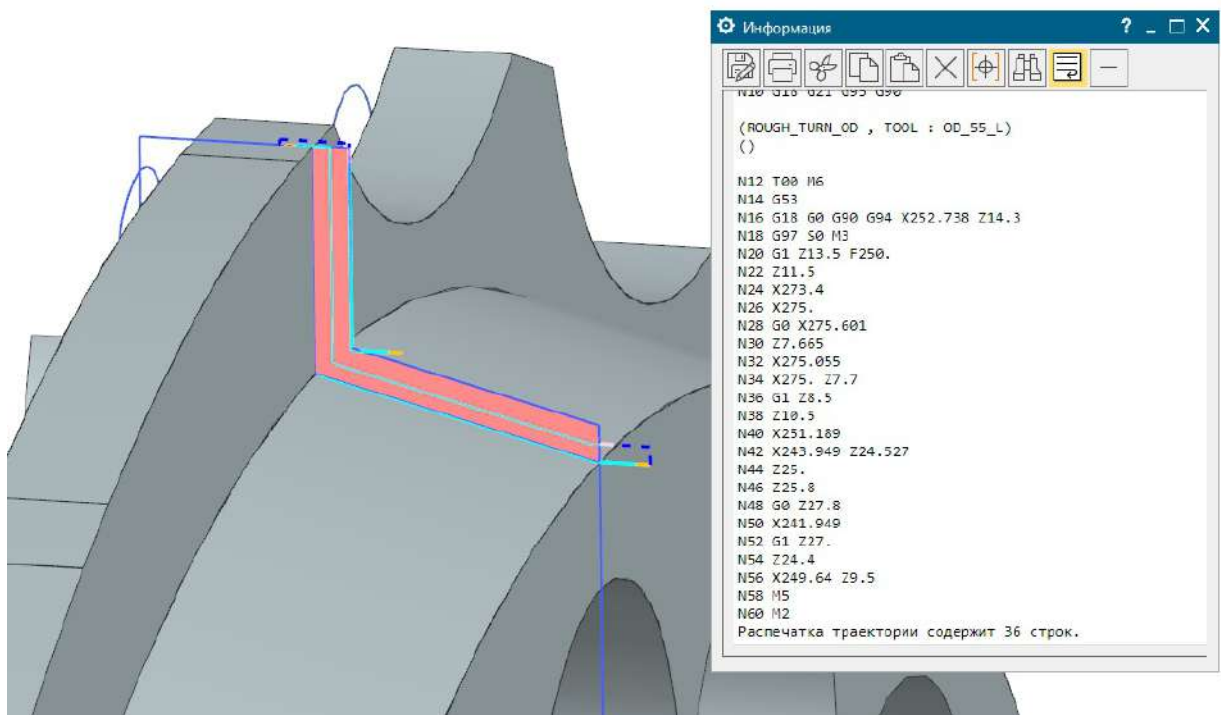


Рисунок 1.12 – Программа обработки в G кодах

1.8.2 Розробка свердлильної операції

Автоматизована розробка свердлильної операції яка виконується на оброблюючому центрі з числовим програмним управлінням виконується в програмному забезпеченні NXCAM. Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.13 – 1.16.

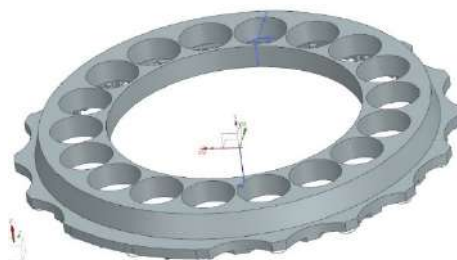


Рисунок 1.13 – 3D модель операційного ескізу

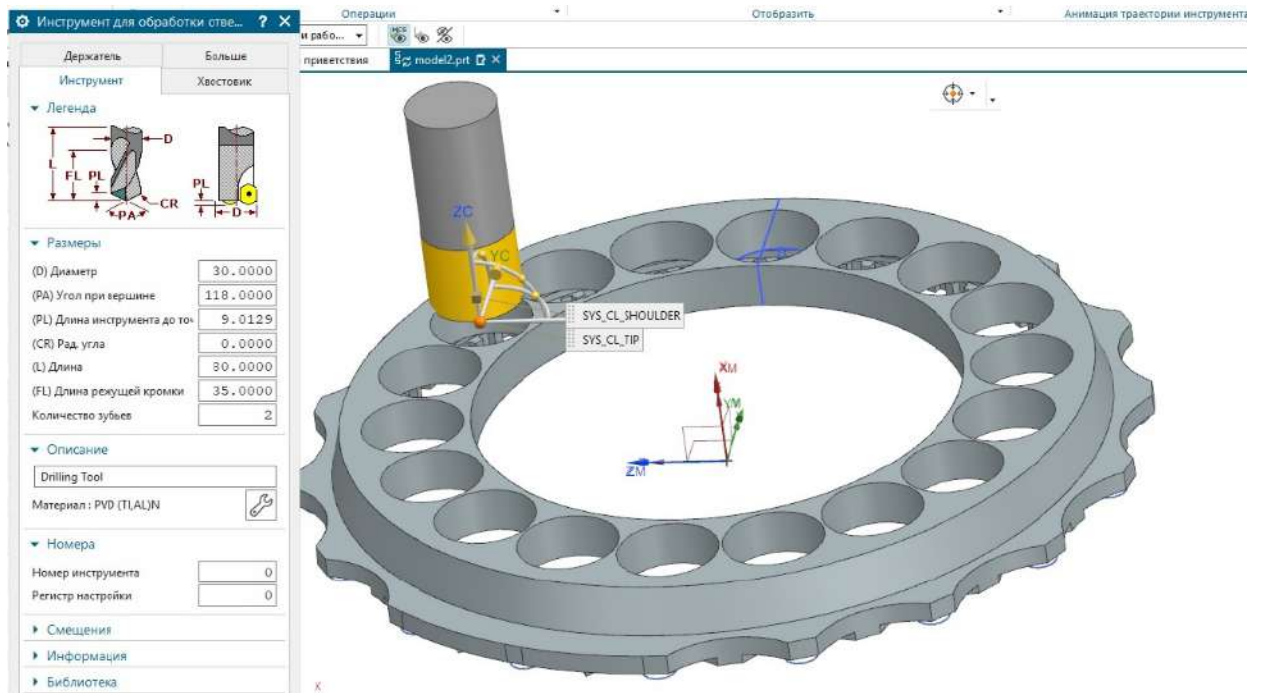


Рисунок 1.14 – Ориентация инструмента относительно поверхности обработки

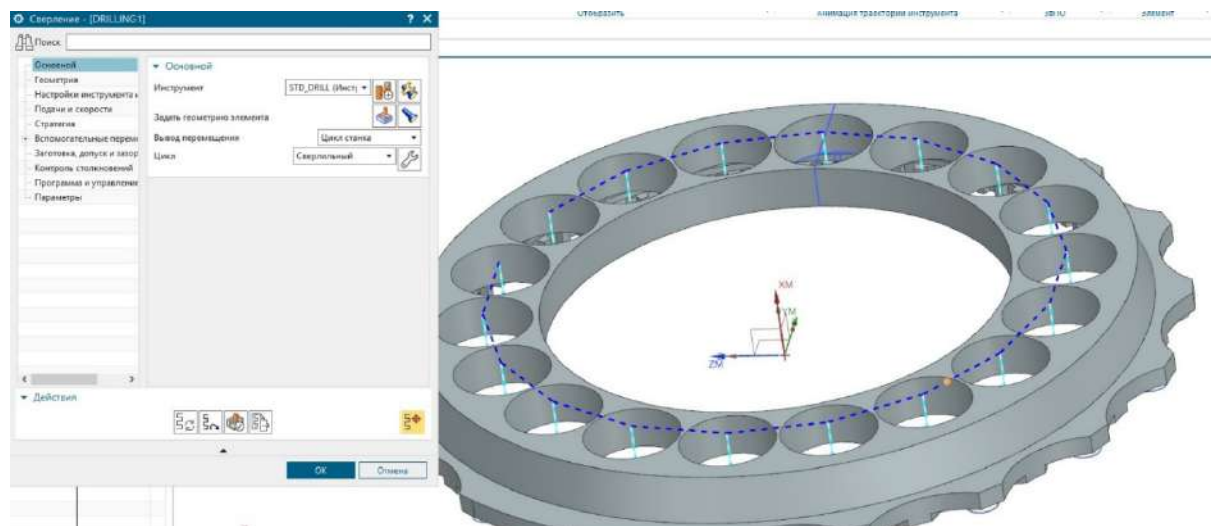


Рисунок 1.15 – Траектория обработки поверхности на свердильной операции

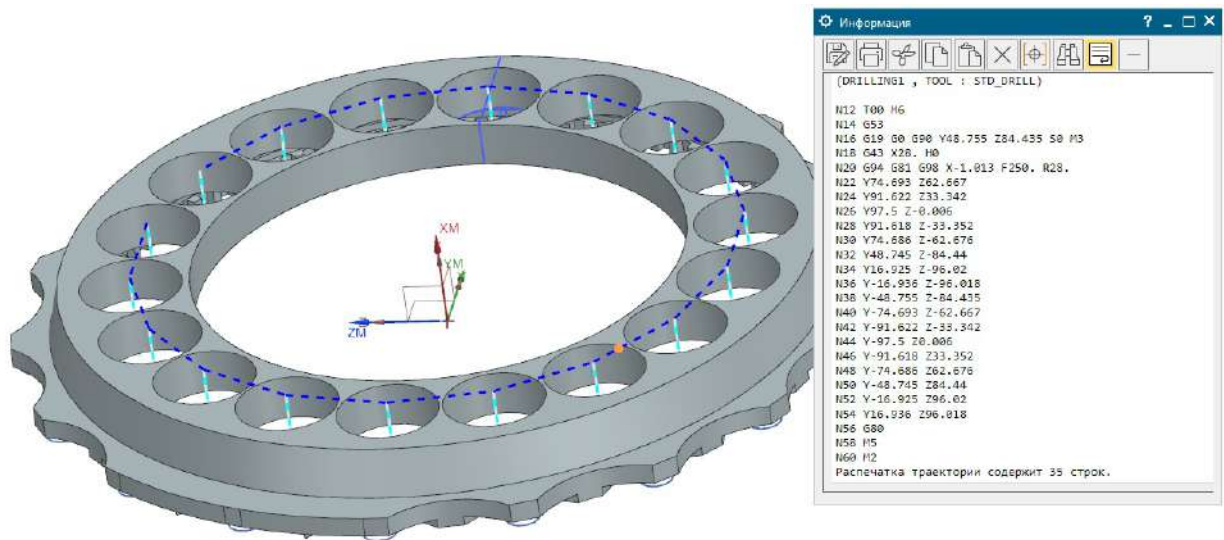


Рисунок 1.16 – Программа обработки в G кодах

1.8.3 Розробка фрезерної операції

Автоматизована розробка фрезерної операції яка виконується на оброблюючому центрі з числовим програмним управлінням виконується в програмному забезпеченні NXCAM. Етапи розробки технологічної операції показано на рис. 1.17 – 1.20.

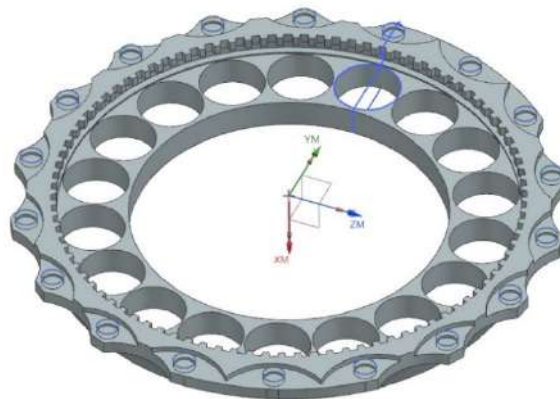


Рисунок 1.17 – 3D модель операційного ескізу

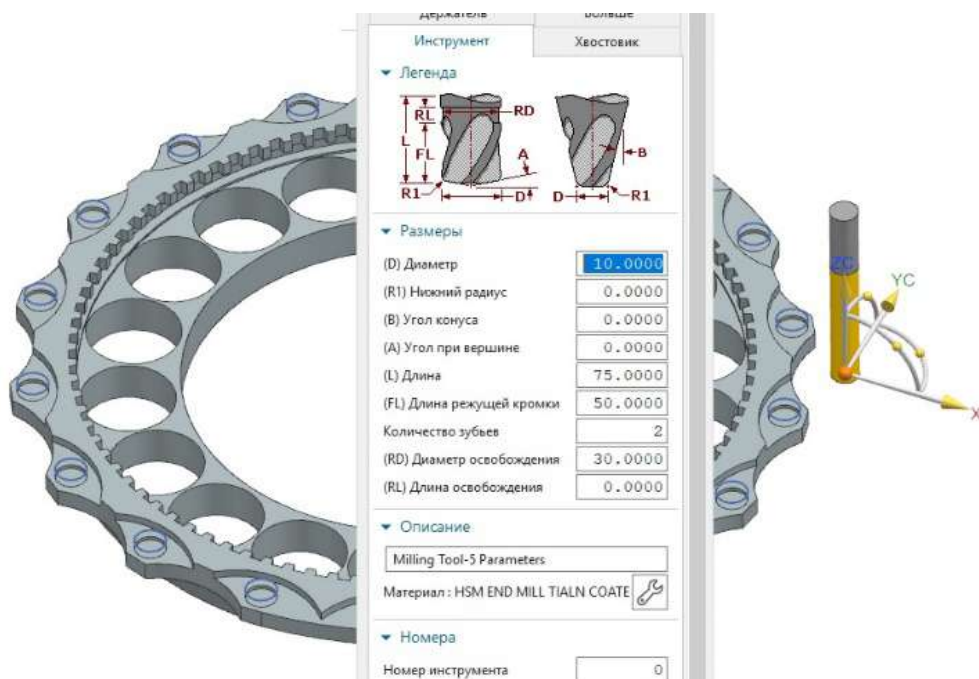


Рисунок 1.18 – Ориентация инструмента относительно поверхности обработки

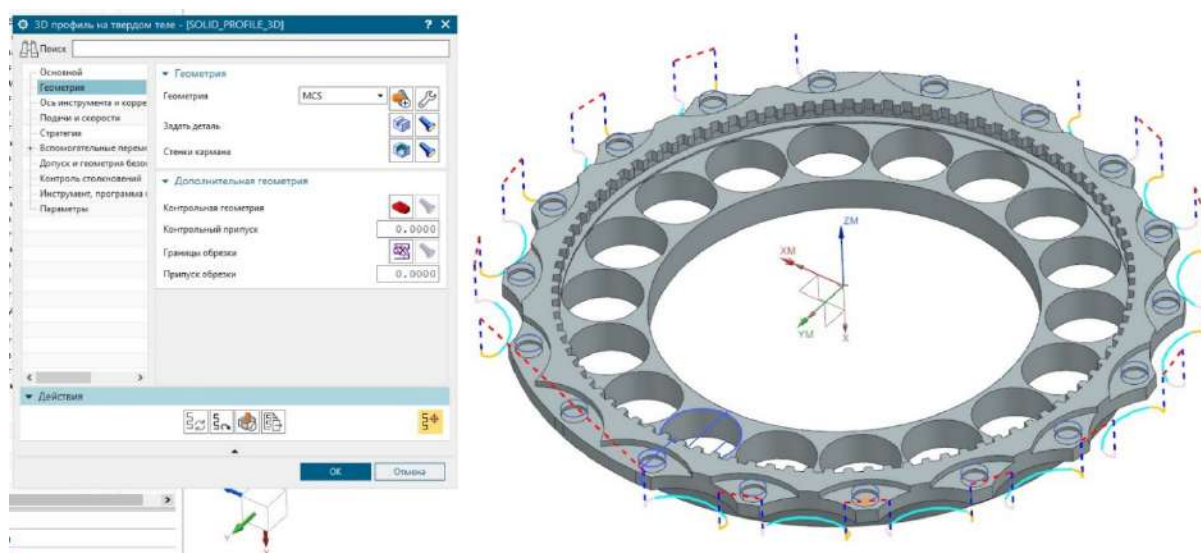


Рисунок 1.19 – Траектория обработки поверхности на фрезерной операции

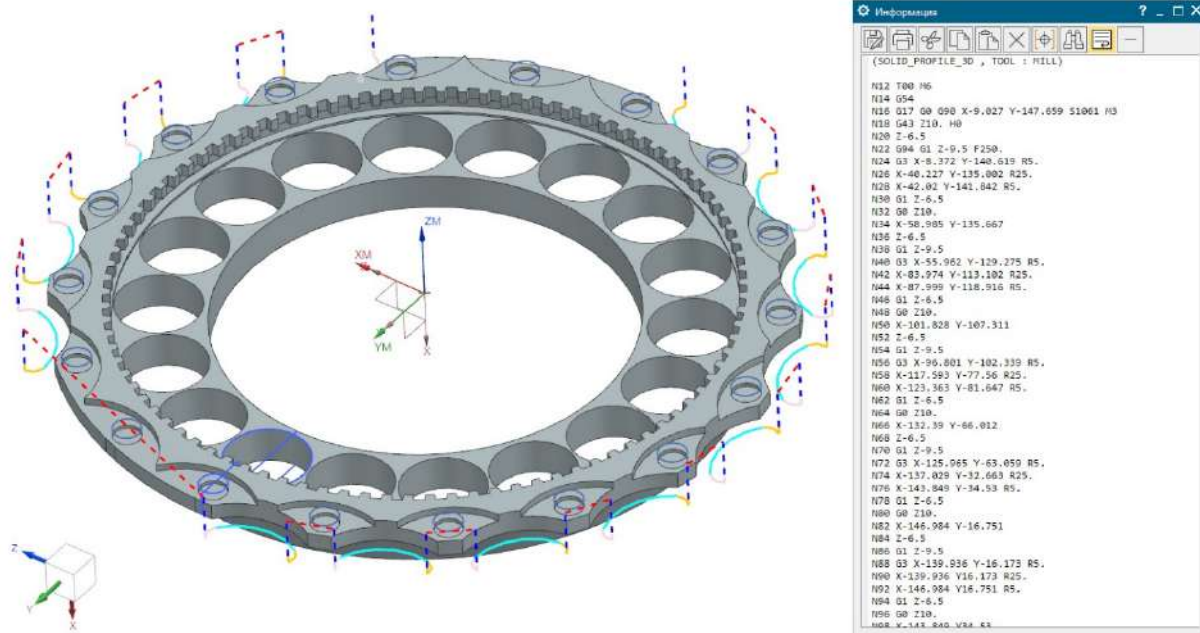


Рисунок 1.20 – Программа обработки в G кодах

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Для виконання завданої операції обрано мембранний пристрій рисунок 2.1. Пружна мембрана кріпиться до фланця патрона болтами. У деяких конструкціях мембранних патронів кулачки кріпляться до мембрани болтами.

Для установки заготовки в патрон, пневмопривод через шток тисне на мембрану і прогинає її, внаслідок чого її губки розходяться на 0,1-0,15 мм. Заготовка встановлюється в розтиснуті губки до упору торцем, після чого пневмопривод відключається, мембрана прагне повернутися у вихідний стан і затискає губками заготовку.

Заготовка утримується під час обробки силами пружності мембрани, виконаної із сталі 65Г або У7А та загартованої до твердості HRC 45-50.

Конструкція пристрою дозволяє використовувати його при обробці різних деталей за рахунок змінної мембрани.

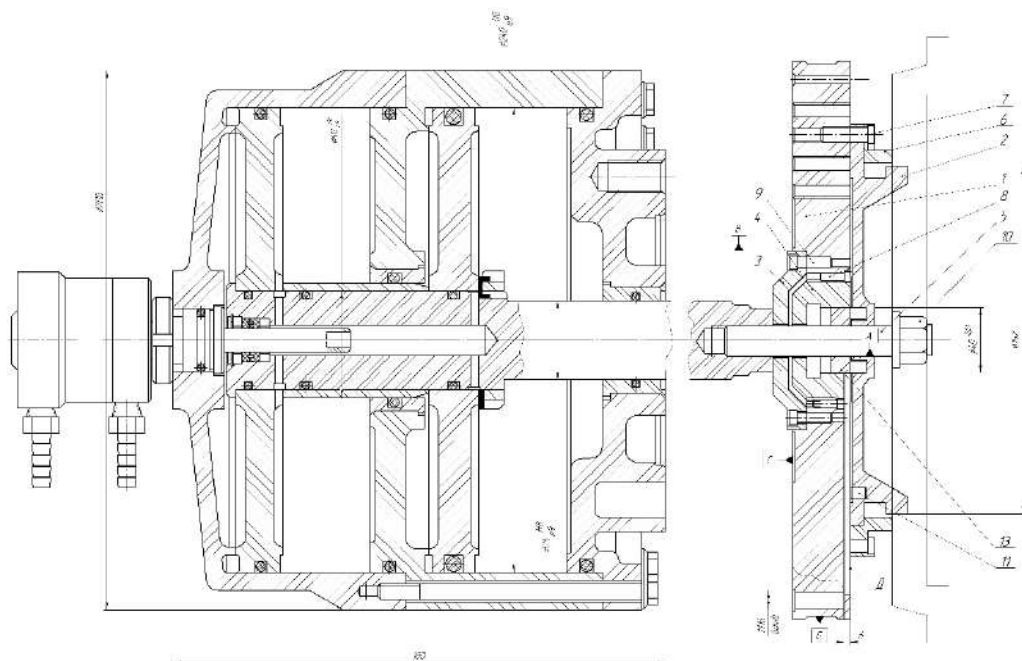


Рисунок 2.1 – Конструкція токарного пристрою

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Так як налагоджувальна та вимірювальна база співпадають то похибка базування $\varepsilon_{\delta} = 0 \text{ мм}$.

Похибка закріплення дорівнює $\varepsilon_3 = 0,02 \text{ мм}$ [6].

Таким чином, похибка установки на токарному пристрої дорівнює:

$$\varepsilon_y = \sqrt{\varepsilon_{\delta}^2 + \varepsilon_3^2} = \sqrt{0,0 + 0,02^2} = 0,02 \text{ мм}$$

Величину точності виготовлення пристосування визначаємо за спрощеною формулою [6]:

$$T_{\delta.o.} \leq T_{\delta} - (K_1 \cdot \varepsilon_{\delta} + \varepsilon_3 + K_2 \cdot \omega) \quad (2.1)$$

де: $T_{\delta.o.}$ - точність виготовлення пристосування;

T_{δ} - биття обробленої деталі, $T_{\delta} = 0,05$ [6];

$K_1 = 0,8$ [6];

$\varepsilon_{\delta} = 0$; $\varepsilon_3 = 0,02$; $K_2 = 0,2$

$\omega = 0,08$ [6].

$$T_{\delta.o.} \leq 0,05 - (0,8 \cdot 0 + 0,02 + 0,2 \cdot 0,08)$$

$$T_{\delta.o.} \leq 0,014$$

У технічних вимогах та на виготовлення мембрани має бути обумовлена умова: «Радіальне биття мембрани щодо центрів не повинно перевищувати 0,01 мм».

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Мембранні патрони для токарної обробки використовуються для виконання напівчистої або чистої обробки оскільки забезпечують більш точне базування.

На першому етапі розраховуємо радіальне зусилля на одному кулачку мембрани [6]:

$$W = \frac{K \cdot M_p}{z \cdot f \cdot r} \quad (2.2)$$

де z – кількість кулачків мембрани, $z=8$ [6];

r – радіус базової поверхні заготовки, $r=78,5\text{мм}$;

f – коефіцієнт тертя, $f=0,17$ [6];

M_p – момент різання;

K – коефіцієнт запасу міцності мембрани, $K=2,5$ [6];

Момент різання визначається за формулою [6]:

$$M = P \cdot \frac{D}{2} \quad (2.3)$$

де: P – результуюча сили різання, $P = 1.12 \cdot P_z = 1.12 \cdot 547,7 = 613,4 \text{ н}$ [6];

D – максимальний діаметр обробки, $D = 275 \text{ мм}$ [6].

$$M = 613,4 \cdot \frac{0.275}{2} = 84,34 \text{ н} \cdot \text{м}$$

$$W = \frac{2.5 \cdot 84,34}{8 \cdot 0.17 \cdot 0.078} = 1987 \text{ н.}$$

Сили W створюють момент M , що вигинає мембрану. При великій кількості $г$ кулачків момент M можна уявити рівномірно розподіленим за колом радіусом $г$ розрахунок виконується за формулою 2.4 [6]:

$$M = \frac{W \cdot l}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad (2.4)$$

де l - виліт кулачків від їх середини до середньої площини мембрани $l=0,05\text{м}$;

$$M = \frac{1987 \cdot 0,05}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,078} = 202,82 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Момент закріплення M_3 заготовки визначається залежно від відношення $t = D/d$ діаметра D мембрани до діаметра базової поверхні за формулою (2.5) [6]:

$$M_3 = M \cdot \left(1,666 - 0,94 \cdot \frac{D}{d} + 0,196 \cdot \left(\frac{D}{d} \right)^2 \right) \quad (2.5)$$

$$M_3 = 202,82 \cdot \left(1,666 - 0,94 \cdot \frac{0,15}{0,152} + 0,196 \cdot \left(\frac{0,15}{0,152} \right)^2 \right) = 189,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Діаметр пневмоциліндра розраховуємо за формулою (2.6) [6]:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W \cdot z}{\pi \cdot P_{нов} \cdot \eta_{nc}}} \quad (2.6)$$

$$(2.6)$$

де η_{nc} – ККД пневмоциліндра $\eta_{nc} = 0,9$; $P_{нов} = 0,6$ МПа

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1987 \cdot 8}{3,14 \cdot 6 \cdot 10^5 \cdot 0,9}} = 0,193 \text{ м}$$

Із стандартного ряду приймаємо $D = 200 \text{ мм}$ [6].

Перевіримо ділянку штока пневмоциліндра, що має найменший діаметр $d=0,025$ м за умовою міцності на розтягування [6]:

$$\sigma = \frac{Q_d}{\pi \cdot d^2} = \frac{15896}{3,14 \cdot 0,025^2} = 8,09 \text{ МПа}, \quad (2.7)$$

де Q_d – дійсна сила закріплення яка дорівнює силі на штоці.

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_B}{K_{np}} = \frac{800}{2,5} = 320 \text{ МПа},$$

Виходячи з даних проведених розрахунків умова міцності забезпечується та обране токарне пристосування буде працювати у

нормальному режимі.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Даний контрольний пристрій призначений для перевірки радіального биття циліндричної поверхні. Пристосування являє собою плиту 9, на якій розташована стійка зі штангою 14. Штанга 14 торкається поверхні деталі, передаючи показання, через важільний механізм, на індикаторний годинник 11. На плиті 9 встановлена легкоконусна оправлення, яку встановлюється деталь.

Радіальне биття визначається як різницю найбільшої та найменшої відстаней від точок реальної поверхні, віддалених від осі центру деталі.

При даній схемі базування похибка базування дорівнює максимальному зазор між внутрішньою поверхнею деталі і зовнішньої пальця. У цьому випадку деталь сідає на легкоконусну оправку з натягом. Зазор між елементами відсутен і, отже, похибка базування дорівнює нулю. Похибка закріплення дорівнює нулю, оскільки деталь сідає на виправлення з натягом.

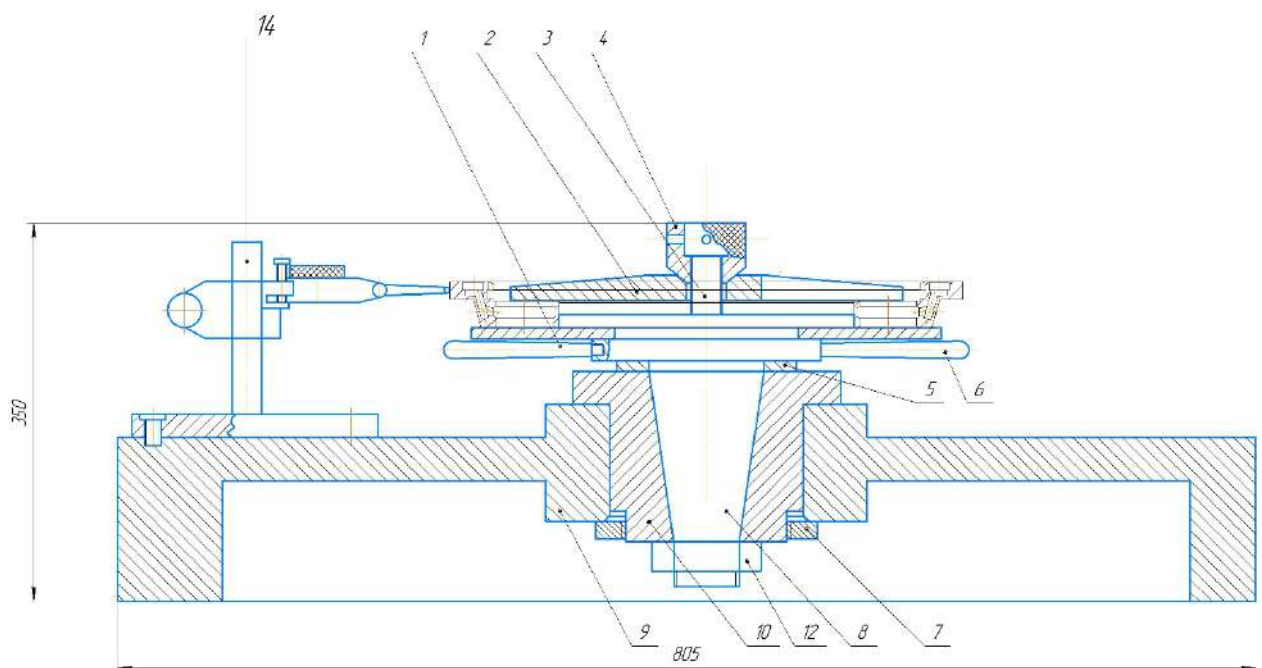


Рисунок 2.2 – Схема установки деталі в пристосуванні.

Визначимо допустиму похибку вимірювання за формулою (2.8) [6]:

$$[\varepsilon_{вим}] = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5}\right) \times T_k, \quad (2.8)$$

де $[\varepsilon_{вим}]$ – допустима похибка вимірювання [6];

T_k – допуск на поверхню яка контролюється, $T_k=0,01\text{мм}$ [6].

$$[\varepsilon_{вим}] = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{5}\right) \times 0,02 = 0,0026\text{мм} = 2,6\text{мкм}$$

Розрахунок сумарної похибки вимірювання контрольного пристосування виконуємо за формулою (2.9) [6]:

$$E_{квп} = \varepsilon + \Delta_p + \Delta_e + \Delta_{ин} + \Delta_t + \Delta_{зус}, \quad (2.9)$$

де Δ_p – похибка, яка виникає від неточності виготовлення елементів пристосування, $\Delta_p = 0,001$ [6];

Δ_e – похибка, яка виникає від контролю еталонної деталі, $\Delta_e = 0$ [6];

$\Delta_{ин}$ – похибка засобу вимірювання $\Delta_{ин}=0,5\text{мкм}$ [6];

Δ_t – похибка, від дії навколишнього середовища $\Delta_t = 0$ [6];

$\Delta_{зус}$ – похибка від дії контактних деформацій вимірювального елемента [6].

Визначимо похибку від дії контактних деформацій вимірювального елемента за формулою (2.9) [6]:

$$\Delta_{зус} = 0,43 \cdot K \cdot \sqrt[3]{\frac{P_{зус}^2}{r}} \quad (2.9)$$

де $P_{зус}$ – вимірювальне зусилля, H ($P_{зус}=2H$) [6];

r – радіус вимірювального елемента, мм ($r = 5\text{мм}$);

K – коефіцієнт, який залежить від матеріалу вимірювального елемента ($K=0,81$) [6].

$$\Delta_{yc} = 0,43 \cdot 0,81 \cdot \sqrt[3]{\frac{2^2}{5}} = 0,032_{мкм}$$

ε – похибка положення контролюємої деталі в пристосуванні.

Похибка положення контролюємої деталі в пристосуванні визначається за формулою (2.10) [6]:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\theta}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{np}^2}, \quad (2.10)$$

де ε_{θ} – похибка базування в нашому випадку дорівнює нулю;

ε_3 – похибка закріплення $\varepsilon_3 = 0$;

ε_{np} – похибка від неточності виготовлення пристосування.

Похибка від неточності виготовлення пристосування визначається за формулою (2.11) [6]:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2}, \quad (2.11)$$

де $\Delta_1=0$ – відхилення положення вісі вимірювального елемента від точки вимірювання [6];

$\Delta_2=0,5$ мкм – похибка положення вимірювального елемента в вертикальному напрямі [6];

$\Delta_3=0,5$ мкм – похибка осьового переміщення вимірювального елемента [6];

$\Delta_4 = 0$ – похибка вимірювання відхилення від паралельності переміщення вимірювального елемента відносно осі отвору в кронштейні [6].

$\Delta_5 = 0$ – похибка яка виникає від не співпадіння напрямку вимірювання та контролюємого розміру [6].

Тоді:

$$\varepsilon_{np} = \sqrt{0 + 0,5^2 + 0,5^2 + 0 + 0} = 0,707 \text{ мкм}$$

Похибка положення вимірюваної деталі у контрольному пристосуванні можна обчислити за такою формулою (2.10):

$$\varepsilon = \sqrt{0 + 0 + 0,707^2} = 0,707 \text{ мкм}$$

Підставивши знайдені значення у формулу (2.9), отримаємо фактичну сумарну похибку контрольно вимірювального пристосування:

$$\varepsilon_{квп} = 0,707 + 0 + 0 + 0,5 + 0 + 0,32 = 1,53 \text{ мкм.}$$

Порівнявши фактичну сумарну похибку $\varepsilon_{квп}$ з допустимою $|\varepsilon_{\text{вим}}| = 2,6 \text{ мкм}$, можна зробити висновок, що необхідна умова точності задовольняється.

$$\varepsilon_{квп} = 1,53 \text{ мкм} < 2,6 \text{ мкм.}$$

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ОСНАСТКИ

Безперервне підвищення вимог виробів, які пред'являються до робочих параметрів, їх якості, конструктивної зміни форм деталей та одночасно прискорення темпів освоєння виробництва призводить до зростання обсягу робіт та витрат на технологічну підготовку виробництва.

Особливо це відчутно, коли передбачено широке впровадження гнучких переналагоджуваних виробництв, машин та обладнання з вбудованими засобами мікропроцесорної техніки, багатоінтеграційних верстатів з ЧПУ, робототехнічних роторних та роторно-конвеєрних комплексів, мехатронних виробів.

Найбільш трудомістка частина технологічної підготовки виробництва це проектування та виготовлення необхідних засобів оснащення. Переважна більшість вироблених спеціальних пристроїв має ручний спосіб установки, фіксації та закріплення заготовок [14].

Проектувати та виготовляти високопродуктивні механізовані пристосування в індивідуальному порядку економічно недоцільно через високу їхню вартості. З іншого боку, підвищення продуктивності праці, поліпшення умов роботи робітників у значною мірою залежать від рівня механізації та автоматизації технологічного оснащення [14].

Одним із шляхів вирішення завдання прискорення та удосконалення технологічної підготовки виробництва та термінів освоєння нових виробів є розробка та впровадження універсально-збірної переналагоджуваного технологічного оснащення (УЗПТО) [14].

Даний вид оснащення широко застосовується у трьох напрямках виробництва:

- 1) переналагоджувальні складальні пристрої;
- 2) пристрої, які переналагоджуються, ливарної та холодно-листоштампувального виробництвах (пресформи, штампи);

3) верстатні пристосування, що переналагоджуються.

Встановлено, що у загальному виробничому циклі виготовлення виробу значну частку складає верстатні пристрої. Для цього виду виробництва розроблено комплекс технологічного оснащення, що переналагоджується, яку виготовляє низка підприємств у кооперації.

Це універсально-збірні пристрої (УЗП); універсальні налагоджувальні пристрої (УНП); спеціалізовані налагоджувальні пристрої (СНП); комплекси механізованих пристроїв (КМП) та ін [14].

Для кожного підприємства має бути підібрано оптимальні склади комплектів, враховуючи їх тип виробництва. З метою підприємств організовано спеціалізовані ділянки для зберігання та складання переналагоджуваних пристроїв. По замовленню верстатного цеху спеціально навчений слюсар-збирач збирає переналагоджувальне пристосування передає на верстат, а після виконання певного комплексу механічних робіт пристосування повертається на ділянку та розбирається його, деталі та складальні одиниці розкладається по певним осередкам [14].

Особлива увага має бути приділена витратам на механізацію та автоматизацію верстатного оснащення, це дозволить методом агрегатування механізувати УЗП, УПТО, спеціальні або спеціалізовані затискні пристрої. Після виконання певної кількості операцій пристосування має бути знято та використано для механізації іншого технологічного оснащення [14].

Підприємства з індивідуальним та малосерійним типом виробництва широко застосовують універсальні пристрої з пазами 8 мм, (УЗП-8), з пазами 12 мм, (УЗП-12) та з пазами 16 мм, (УЗП-16) [14].

Даний вид механізованого оснащення застосовують для виконання фрезерних, свердлильних, розточувальних операцій на універсальному обладнанні та верстатах з ЧПУ [14].

В основу конструкцій елементів комплектів УЗМ-8 та УЗМ-12 покладено принцип забезпечення взаємозамінності їх із стандартними елементами комплектів УЗП-8 та УЗП-12 [14].

Основним конструктивним параметром, який визначає габаритні розміри елементів УЗМ-8, УЗМ-12, а також технологічні можливості комплектів, є розмір кріпильного Т-подібного паза, який для цих комплектів встановлений 8 мм та 12 мм відповідно [14].

Елементи УЗМ-8 та УЗМ-12 за своїм призначенням утворюють такі групи: базові гідравлічні вузли, гідравлічні циліндри, швидкодіючі затискні пристрої, притискні елементи, перехідні та настановні елементи, рукави високого тиску та апаратура, пневмогідроперетворювачі, допоміжні пристрої.

Технічна характеристика комплектів УЗМ-8 та УЗМ-12 наведено у табл. 3.1.

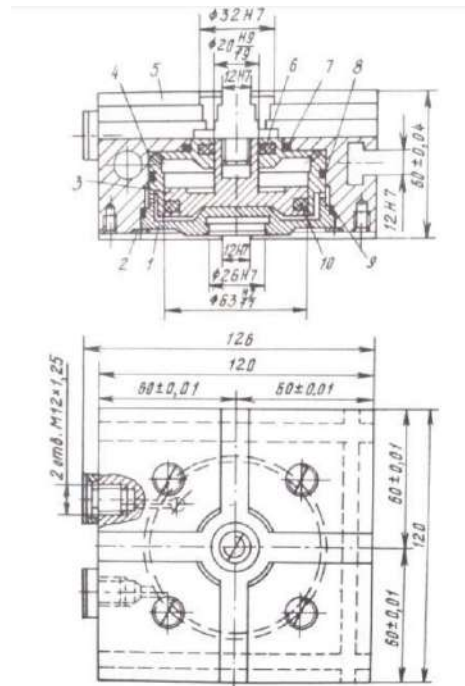
Таблиця 3.1 – Технічна характеристика УСМ-8 и УСМ-12 [15]

Найменування		УСМ-8	УСМ-12
Кількість пристосувань які збираються з елементів комплекту, шт.	одночасно	12-15	35
	на протязі року	700-800	2700
Час зборки одного механізованого пристосування, г		2-3	2-3
Діаметр основного кріплення бовта, мм		М8	М12×1,5
Час на затиск обробляємих заготовок в пристосуванні, с		2-4	2-4
Робочий тиск в гідросистемі, МПа		2,5-10	2,5-10
Зусилля на штоці гідроциліндра, Н		890-12110	27440
Строк служби комплекту, лет		10	10

Особливістю технологічної підготовки виробництва із застосуванням УЗМ-8, УЗМ-12, УЗП-8 та УЗП-12 полягає в тому, що замість проектування та виготовлення механізованих спеціальних пристроїв, останні компонуються з елементів вказаних комплектів. Після виконання певної операції пристрій розбирається, і його елементи використовуються для компонування іншого механізованого пристосування [15].

Базовою основою механізованих пристроїв служать пневмогідравлічні складальні одиниці (блоки) конструктивно вони являють собою плити (типу УЗП-8 та УЗП-12) в які вмонтовані гідравлічні циліндри [15].

На рис. 3.1 наведена конструкція гідравлічного блоку УЗМ-12 габаритами 120 мм×120 мм×60 мм та діаметром поршня 63 мм. На трьох бічних та верхній поверхнях блоку є Т-подібний паз 12 мм. На верхній поверхні виконано чотири отвори М12×1,5мм для встановлення та кріплення опорних направляючих притискних, кріпильних та інших елементів УЗП-12 або спеціальних налагоджувальних пристроїв [15].



1 – кришка; 2 – опорне кільце; 3 – поршень; 4 – склянка; 5 – корпус; 6 – ущільнення; 7-9 – кільця ущільнювачів; 10 ущільнення

Рисунок 3.1 – Гідравлічний блок УЗМ-12 [16]

У центрі блоку, на верхній поверхні отвір діаметром 32 мм для встановлення та фіксації базуючих елементів між гідроблоком та оброблюваною заготовкою. Для встановлення та фіксації блоку на столі верстата на нижній частині блоку виконано два перетинаючихся П-подібних

пази 12 мм під шпонки. Не задіяні отвори закривають пробками для захисту від стружки [16].

У корпусі 5 гідроблоку вбудований гідроциліндр двосторонньої дії, що забезпечує можливість його застосування як тягнучого або штовхаючого. Гідроциліндр складається з верстата 4, поршня 3, кришки 1, опорного кільця 2. Верстат 4 з отвором під шток поршня 3 встановлюється в гніздо, що є в корпусі 5 виконані знизу блоку. Верхня та нижня порожнини гідроциліндра мають вхід на бік гідроблоку, не має Т-подібного паза, за допомогою каналів діаметром 8 мм та різьбових отворів $M12 \times 1,5$ мм, до яких приєднуються штуцери або рукави високого тиску [16].

У штоку поршня 3 виконано різьбовий отвір $M12 \times 1,5$ мм, в яке загвинчується кріпильна шпилька для здійснення затиску, а кришці 1 виконано глухий отвір діаметром 26 мм для встановлення та фіксації гідроблоку за допомогою перехідного кільця на центральний отвір, що є на столі верстата з ЧПУ [16].

У разі, коли неможливо зібрати механізований УЗП на базі гідроблоків, застосовують гідроциліндри що дозволяють механізувати затискач заготовок, які обробляються практично у всіх компонуваннях УЗП-8 та УЗП-12, а з допомогою перехідних елементів – безпосередньо на столах металорізальних верстатів [16].

Комплект УЗМ-12 (найбільш ходовий) включає два виконання гідроциліндрів односторонньої дії чотирьох типорозмірів з діаметром поршня 32 мм, 40 мм, 50 мм та 63 мм відповідно. На рис. 3.2 наведена конструкція гідроциліндрів комплекту УЗМ-12 двох виконань, які відрізняються виконаним отвором у штоку поршня [16].

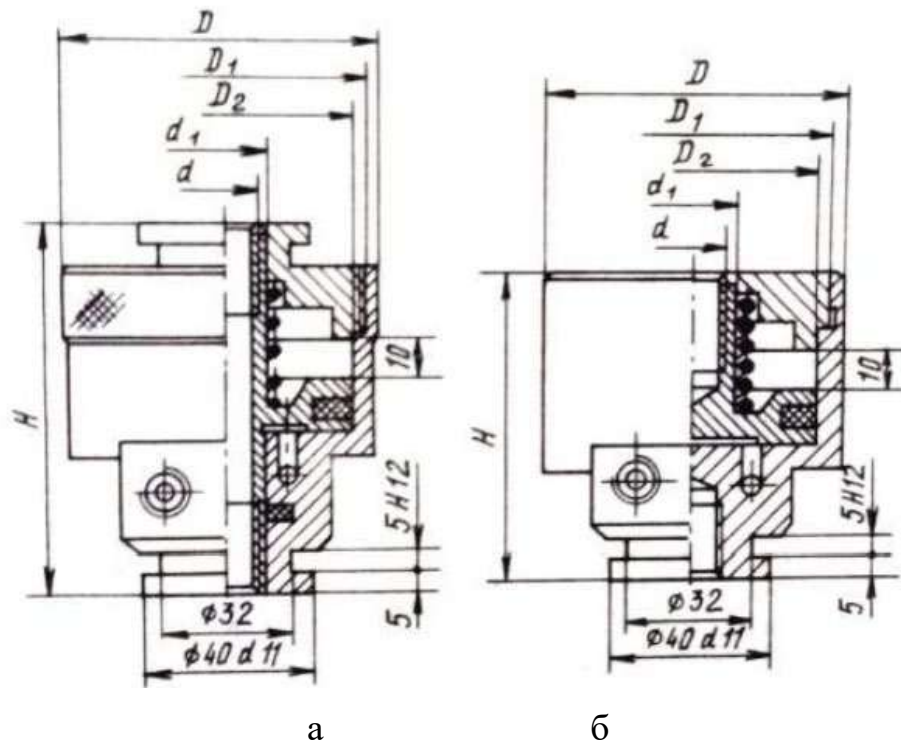
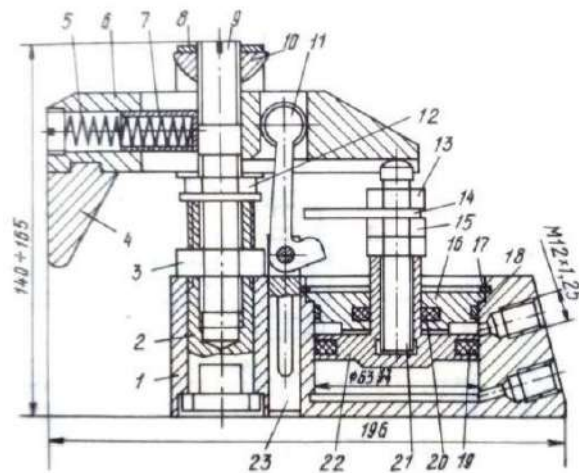


Рисунок 3.2 – Гідроциліндри комплекту УЗМ-12: а - виконання 1 (наскрізне отвір d); б - виконання 2 (глухий отвір d) [17]

Конструкція, принцип роботи, матеріал, термообробка та покриття гідроциліндрів комплектів УЗМ-12 аналогічні гідроциліндрам комплекту УЗМ-8. Відмінність полягає в наявності в штоку поршня гідроциліндрів першого виконання різьблення М16 замість різьблення М12×1,5мм, а в штоку поршня та корпусі гідроциліндрів другого виконання – різьблення М12×1,5мм замість різьблення М8. Технічна характеристика гідравлічних циліндрів УЗМ-12 при номінальному тиску 10 МПа наведено у таблиці 3.2.

Гідравлічний притиск з автоматичним підведенням та відведенням прихвату наведено на рис 3.3.



1 – корпус; 2 – стійка; 3, 12, 13, 15 – гайки; 4 – змінний притиск; 5 – пружина;
 6 - прихват; 7 – плунжер; 8 – плоска пружина; 9 – шпилька; 10 – сферична
 опора; 11 – важіль; 14 - штовхач; 16 - напрямна кришка; 17 – стопорне кільце;
 18 – ущільнювальне кільце; 19, 20 – ущільнення; 21 – опора; 22 – поршень;
 23 – вісь

Рисунок 3.3 – Гідравлічний притиск з автоматичним підведенням та відведенням прихвату [14]

Група швидкодіючих затискних пристроїв призначена для механізації закріплення оброблюваних заготовок у компонованнях УЗП-8 або УЗП-12 при виконанні свердлильних та фрезерних операцій.

До цієї групи входять гідравлічний притиск, гідравлічний притиск з автоматичним проводом прихвату, ексцентрикові та клинові затискачі. Притиск працює наступним чином. При подачі масла високого тиску від пневмогідроперетворювача (ПГП) у порожнину циліндра через нижній отвір $M12 \times 1,5$ мм поршень 22 спільно з опорою 21 штовхачів 14 переміщається у верхнє крайнє становище. При цьому звільнений від штовхача 14 важіль 11 дає можливість пружині 7 поршня та опори здійснити затиснення заготовки, що обробляється.

Таблиця 3.2 - Технічна характеристика гідравлічних циліндрів УСМ-12

Параметри	Виконання 1				Виконання 2			
	УСМ-12-1-32	УСМ-12-1-40	УСМ-12-1-50	УСМ-12-1-63	УСМ-12-2-32	УСМ-12-2-40	УСМ-12-2-50	УСМ-12-2-63
Діаметр циліндра Р, мм	45	52	62	75	47	52	62	75
Висота циліндра h, мм	75	77	85	90	64	65	65	76
Діаметр кришки D ₁ , мм	M36×1,5	M45×1,5	M56×1,5	M68×1,5	M36×1,5	M45×1,5	M56×1,5	M68×1,5
Діаметр кришки D ₂ , мм	32	40	50	63	32	40	50	63
Діаметр штока d ₁ , мм	16	20	20	20	16	20	20	20
Внутрішній діаметр штока d, мм	M12×1,5	M16	M16	M16	M12×1,5	M16	M16	M16
Зусилля на штоці Н,	5880	8350	14504	24794	7869	10976	17108	27440
Обсяг робочої порожнини циліндра, см ³	8,05	11,23	17,78	29,42	10,2	15,5	24,34	33,08
Маса, кг	1,05	1,15	1,4	1,85	0,86	0,95	1,1	1,8

Повітря, що знаходиться у верхній порожнині гідроциліндра, через верхній отвір M12×1,5мм та ПГП сягає у атмосферу. При перемиканні ПГП та подачі стисненого повітря через верхній отвір M12×1,5 гідроциліндра поршень спільно з опорою та штовхачем переміщується в нижнє крайнє становище. Штовхач натискає на важіль 11 повертає його у вихідне положення. Олія з нижньої порожнини йде в резервуар ПГП. Притиск може встановлюватись на порожнини столу верстата або елементів УЗП-12, а також на бічній поверхні елементів УЗП-12.

Для установки гідроциліндрів або гідравлічних затискних пристроїв на базові деталі УЗП або безпосередньо на столи металорізальних верстатів, застосовують перехідні та настановні деталі.

У цю групу входять різні опори, планки, косинці, стійки, шпонки та ін. Опори квадрати (рис. 3.4) двох типорозмірів призначені для встановлення окремо від гідроциліндрів у механізованих компонуваннях УЗП. Для

встановлення на плити УЗП-12 гідроциліндрів працюючих з штовхаючим зусиллям у потрібній точці незалежно від розташування Т-подібних пазів, застосовують плоскі опори (рис. 3.5).

Для встановлення гідроциліндрів працюючих з тягучим або штовхаючим зусиллям, в компонованнях УЗП, або безпосередньо на столі верстата застосовують циліндричні опори.

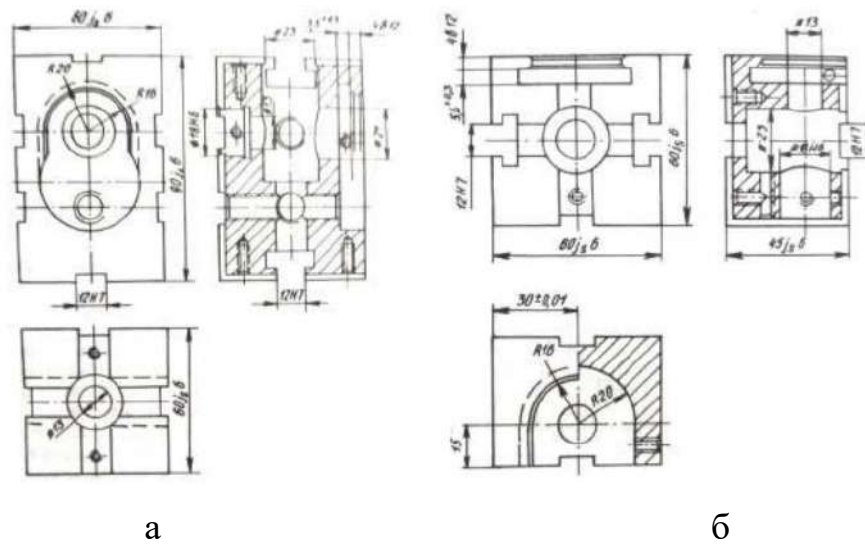


Рисунок 3.4 – Опора квадратна: а – опора габаритами 60×60×90 мм; б - опора габаритами 60×60×45 мм; [17]

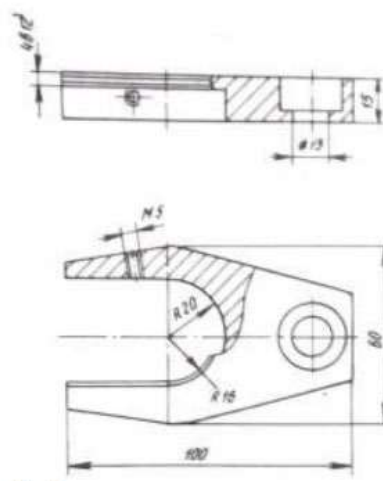


Рисунок 3.5 – Опора настановна плоска [17]

Приклад циліндричних опор наведено на рис. 3.6.

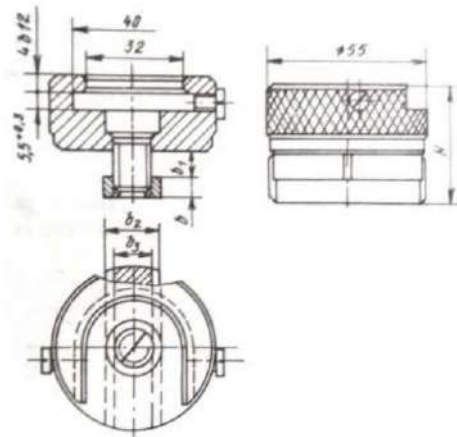


Рисунок 3.6 – Циліндрична настановна опора [17]

При складанні механізованих пристроїв у комплекті ЧЗМ-12, для встановлення гідроциліндрів, широко використовують кутники (рис. 3.7) чотирьох типорозмірів ($L \times B \times l$): 1 типорозмір – $61 \times 64 \times 25$ мм; 2 типорозмір – $69 \times 76 \times 37$ мм; 3 типорозміри – $76 \times 90 \times 51$ мм; 4 типорозміри – $86 \times 112 \times 73$ мм [17].

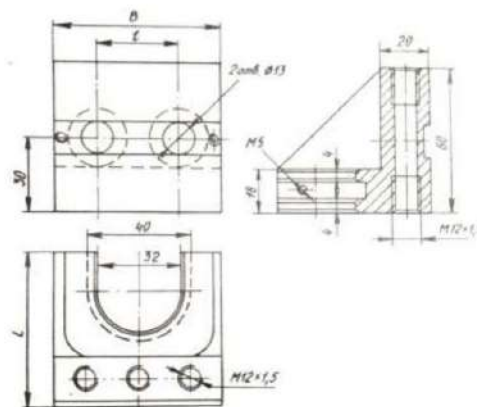
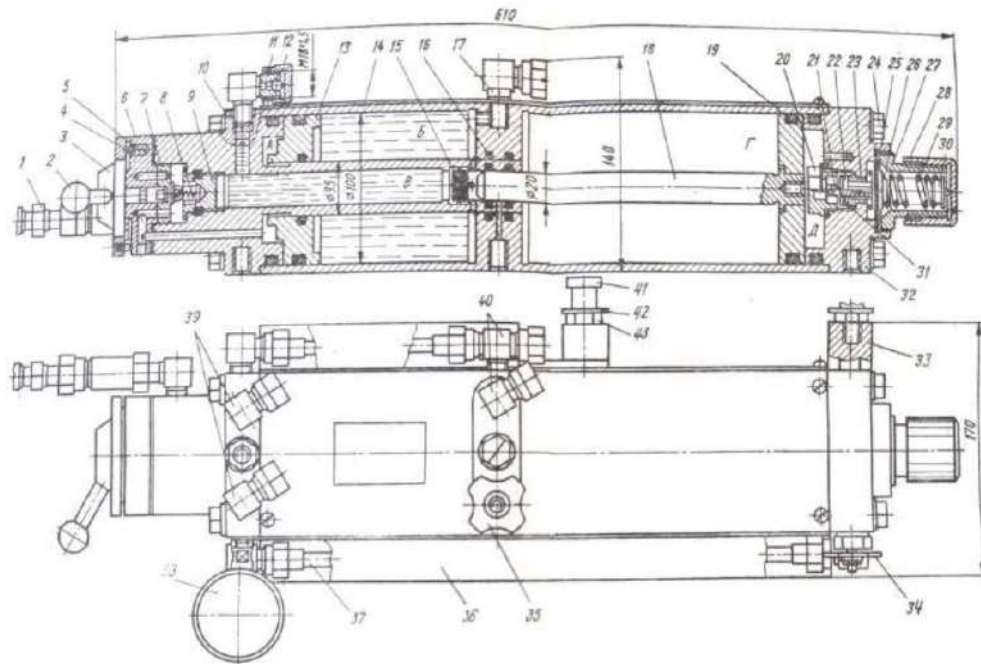


Рисунок 3.7 – Кутники настановні [17]

У гідроциліндри або прихвати встановлюють ряд гвинтових опор, які виконують роль упорів, штовхачів та ін. Одним з основних складальних

одиниць комплектів УЗМ-8 та УЗП-12 є пневмогідропідсилювач - джерело живлення гідрофікованих пристроїв (рис. 3.8) [17].



1 – штуцер підведення повітря; 2 – рукоятка управління; 3 – кран керування; 4 – кулька; 5, 8, 21, 29 – пружина; 6, 32 – кришка; 7 – золотник; 9 – пробка; 10 – втулка; 11 - штуцер високого тиску; 12, 28 - ковпак; 13 – поршень; 14 – корпус; 15, 16, 19 - кільця ущільнювачів; 17, 20 - пробка; 18 - поршень зі штоком; 22 - клапан; 23 - сідло; 24 – болт; 25 – мембрана; 26 - п'ята; 27 – корпус регулятора тиску; 30 – опора; 31 – ущільнювальні клапани; 33 – перехідник; 34 – запірний вентиль; 35 – вентиль відведення поршня; 36 – кожух; 37 – труба; 38 – манометр; 39, 40 – косинці; 41 – болт; 42 - шайба; 43- гайка

Рисунок 3.8 – Загальний вигляд пневмогідропідсилювача [17]

Кран управління має три положення. Положення рукоятки фіксується кулькою 4 з пружиною 5. З іншого торця пневмогідропідсилювача розташований механізм регулювання тиску. Повітря до нього надходить через трубку 37. Клапан 22 при цьому під дією пружини 29 відкрито і повітря

надходить у порожнину «Д». При підвищенні тиску в цій порожнині повітря впливає на мембрану 25 стискає пружину 29, і клапан 22 закривається. Зусилля забезпечується пружиною 29, регулюється обертанням клапана 28, що переміщається з різьблення корпусу 27 [17].

При попередньому затиску (положення крана «П») повітря надходить у порожнину «А» і переміщує поршень 13, який витісняє в систему масло з порожнини «Б» через порожнину «В» та косинці 39, до яких приєднуються рукави високого тиску, що подають олія в робочі циліндри пристроїв. Тиск масла при попередньому затиску дорівнює тиску стиснутого повітря, що надходить у порожнину «А» [17].

При встановленні рукоятки в положення «З» – повітря надходить у порожнину «Д» і переміщає поршень зі штоком 18 ліворуч. При цьому шток перекидає отвір, сполучні порожнини «Б» та «В». Тиск масла, заповнює порожнину «В» і з'єднані з нею робітники циліндри збільшується. Передатне відношення одно відношенню площ поперечних перерізів поршня та штоки. Тиск масла у мережі вимірюється манометром 38 [17].

Коли ручка управління встановлена в положення «О», повітря надходить у порожнину «Г» і через косинці 40 в порожнину зворотного ходу робочих циліндрів. Шток з поршнем 18 відходить вправо, тиск порожнини «В» та порожнинах прямого ходу робочих циліндрів падає, так що олія з них повертається в порожнину «Б» пневмогідропідсилювача. За допомогою болтів 41 пневмогідропідсилювач закріплюють на пристосування або стіл верстата. Для заливки олією та для виходу повітря служить пробка 17. Заповнення пневмогідропідсилювача маслом проводиться до тих пір, поки масло не заповнить отвір догори і не перестануть виділятися бульбашки повітря, при цьому поршень зі штоком 18 повинен знаходитися у крайньому правому, а поршень 13 – у крайньому лівому положенні. Це досягається тим, що в підключеному до мережі стисненого повітря пневмогідропідсилювача рукоятку встановлюють у положення "Про", а вентиль 35 відкривають. Після розведення поршнів вентиль 35 закривають. Для того, щоб б робочі циліндри

затискали деталь, коли стиснутий повітря в пневмогідропідсилювач не надходить, служить вентиль 34. Якщо не перекрити, тиск у робітників порожнинах циліндра збережеться, навіть якщо припинити подачу повітря в порожнину "Д." [17]

Для підключення гідравлічних пристроїв УЗМ-8 та УЗМ-12 до пневмогідроперетворювача, а також для з'єднання їх між собою застосовують комплект елементів, що включає рукави високого тиску, штуцери, з'єднання кутові та трійникові, швидкокороз'ємні муфти, перехідники прямі та кутові, колектори, пробки, ніпелі та гайки [17].

Агрегатні засоби механізації та автоматизації спеціальної та спеціалізованої технологічній оснащення (АЗМ) призначені для механізації закріплення оброблюваних заготовок (деталей) у спеціальних та спеціалізованих верстатних пристосуваннях, що застосовуються на верстатах свердлильно-фрезерної групи [17].

Комплекти АЗМ є наборами гідроциліндрів арматури, арматури та гнучких рукавів високого тиску, перехідних та настановних деталей, пневмогідроперетворювачів та допоміжних пристроїв [17].

Завдяки широкій універсальності конструктивних модулів та агрегування оснастки, що переналагоджуються, які визначають її мобільність і технологічну наступність при переході на нові об'єкти, усувається паралелізм у проектування та виготовлення, а також скорочується різноманіття видів, типів, основних параметрів, приєднувальних розмірів та експлуатаційних характеристик переналагоджується оснастки. Забезпечення можливості швидкої зміни, переналагодження та регулювання елементів модулів та агрегатних вузлів УЗМ та АЗМ для виконання різних операцій досягається висока маневреність та оперативність технологічної підготовки виробництва, що розширюється сфера ефективного їх використання [17].

4 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Перерізи елементів конструкції повинні бути такими, щоб протягом усього терміну експлуатації була виключена можливість руйнування та виникнення неприпустимо великих деформацій конструкції за одночасної вимоги економії матеріалу. Необхідні розміри перерізів елементів конструкції визначаються з розрахунків на міцність, жорсткість та стійкість. Розрахунок на міцність зводиться до вимоги, щоб максимальні напруги в елементі конструкції не перевищували деякої допустимої для даного матеріалу величини. Розрахунок на жорсткість зводиться до вимоги, щоби найбільші переміщення (подовження стрижнів, прогини, опади опор) не перевищували деяких допустимих величин. Розрахунок напружено-деформованого стану деталі виконуємо у NX ADVANTAGE SIMULATION. Тривимірна модель показана на рисунку 4.1.

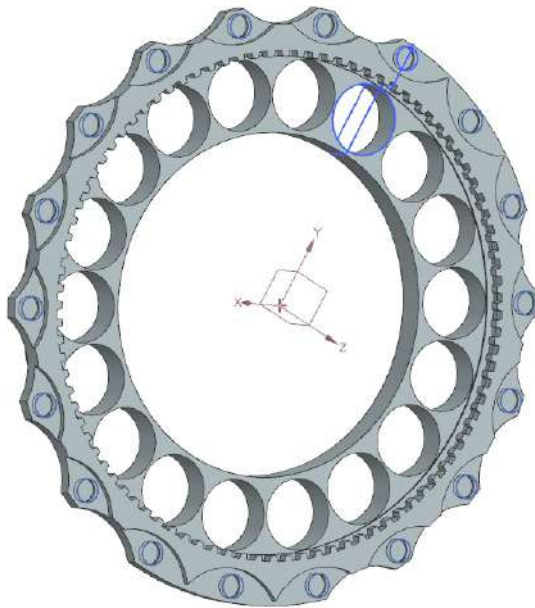


Рисунок 4.1 – Тривимірна модель завданої деталі

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі сіткою кінцевих елементів, результат показано на рисунку 4.2.

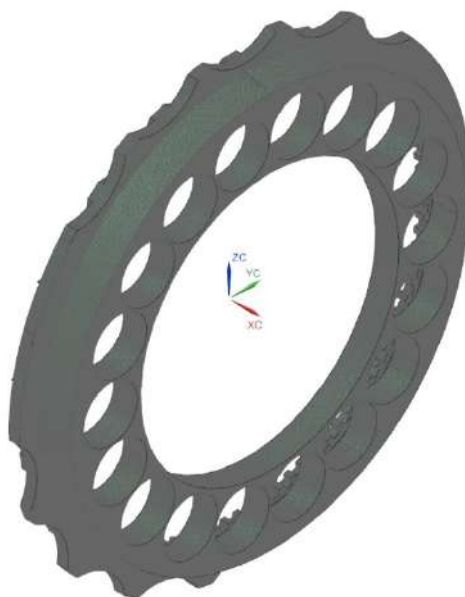


Рисунок 4.2 – Модель прохідника розбита на сітку кінцевих елементів

Другий етап виконуємо прикладення обмежень, що унеможливляють переміщення деталі у окремих напрямках (рисунки 4.3).

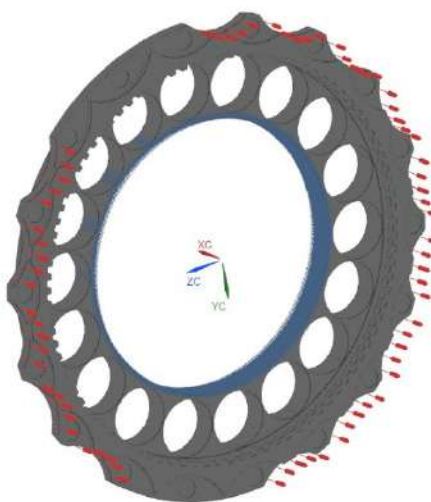


Рисунок 4.3 – Схема прикладення обмежень та навантажень

Наступним етапом виконуємо розрахунок напружено-деформованого стану (рисунок 4.4).

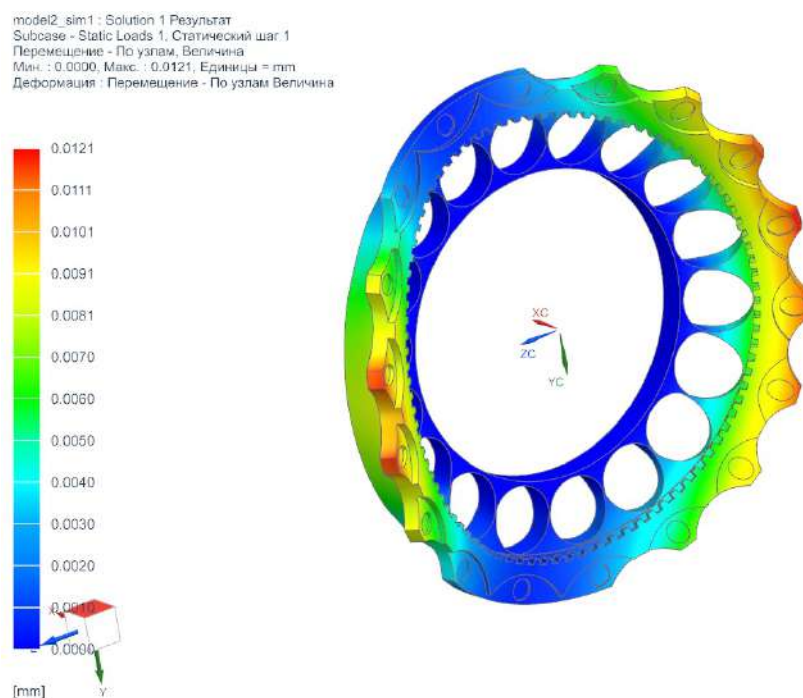


Рисунок 4.4 – Результат розрахунку напружено деформованого стану

У результаті виконаного розрахунку можна зробити висновок, що найбільш небезпечним перерізом буде зовнішня складнопрофільна поверхня, для підвищення її надійності та якісних характеристик необхідно та доцільно виконати її зміцнення або оптимізацію геометрії поверхні.

5 СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЕЛЕКТРОЕРОЗІЙНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ АВІАЦІЙНОЇ ТЕХНІКИ

Відповідно до ГОСТ 25331-82 ЕЕО полягає в зміні форми, розмірів, шорсткості властивостей поверхні заготовки під дією електричних розрядів в результаті електричної ерозії.

При описі сутності процесу ЕЕО необхідно вести наступні поняття:

- міжелектродний проміжок (МЕП) - це простір між електродом-деталлю (ЕД) і електродом-інструментом (ЕІ) при електроерозійній обробці;
- міжелектродний зазор (МЕЗ) - відстані в розглянутому місці межелектродного проміжку між поверхнями ЕІ і ЕД, перпендикулярними напрямку подачі;
- робочий імпульс - імпульсний розряд, що виробляє знімання металу внаслідок електричної ерозії [20].

Енергія імпульсу струму, розподіляючись між анодом, катодом і стовпом розряду, виділяється протягом дуже короткого часу ($10^{-6} \dots 10^{-7}$ с) при високій щільності. У результаті цього відбувається видалення металу з оброблюваної поверхні, зміна структури властивостей поверхневого шару, утворення внутрішніх напружень та інші фізичні явища.

Протягом імпульсів металелектроду-інструменту та електрода-деталі видаляється в основному в рідкому і газоподібному станах. Робоча рідина, що оточує канал розряду, випаровується, утворюючи газову порожнину. Початковий момент швидкість руху кордонів газової порожнини (рис. 5.1 - фронтударної хвилі) досягає 200 м / с, а тиск в порожнині – сотен атмосфер. У результаті оброблюваний матеріал відчуває значний механічний тиск. Після закінчення імпульсу току газова порожнина по інерції продовжує розширюватися, що наряду з конденсацією парів металу призводить до швидкого падіння тиску в ній, аж до тиску нижче атмосферного. В момент, коли розміри газової порожнини наближаються до найбільшим, відгалуження в ній до найменшого, перегрітий метал, який знаходиться в лунці, що

утворилася, скипаєтів викидається знов. Реактивним струменем парів металу залишився в лунці рідкий метал видавлюється з неї і, застигаючи, утворює каймляющийся валик (рис. 5.1) [20].

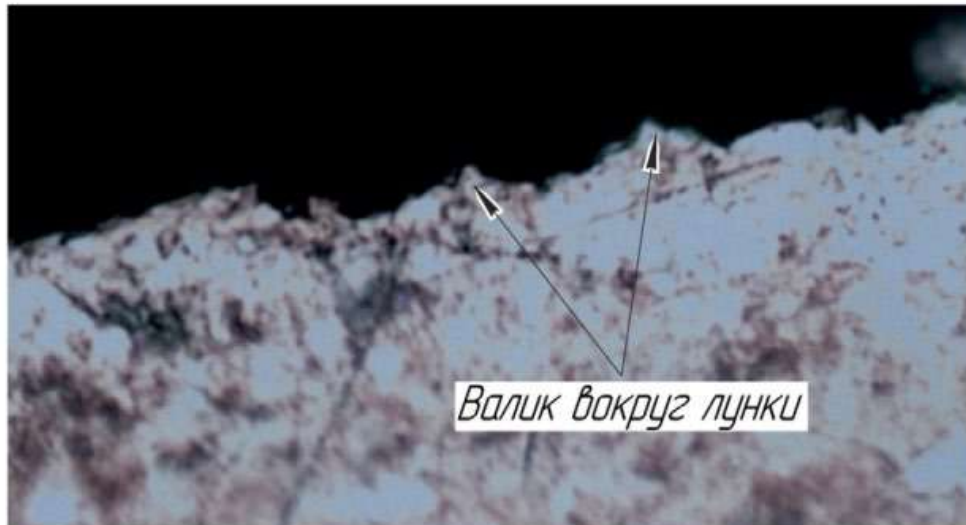


Рисунок 5.1 – Лунка на поверхні ЕД зі збільшенням $\times 1000$

В результаті ЕЕО утворюється поверхня, що представляє собою сукупність великої кількості лунок. Структура та властивості поверхневого шару обробленого матеріалу після ЕЕО показали, що вони близькі до одержуваних після термічної обробки. Таким чином, для отримання якісної поверхні після ЕЕ-обробки необхідно враховувати умови нагрівання та охолодження поверхні одиничної лунки.

При нагріванні поверхневого шару у процесі ЕЕО його властивості будуть визначатися величиною внутрішніх напружень, що виникають внаслідок значної різниці температур. За певних умов напруги можуть перевищувати межу міцності оброблюваного матеріалу, що призведе до утворення сітки мікротріщин [20].

При охолодженні поверхневого шару заготовки у процесі ЕЕО істотно змінюються його структура та властивості. Можливості впливу на якість

поверхні при цьому порівняно широкі та визначаються підбором складу робочої рідини, а також режимами ЕЕО.

На рис. 5.2 показано характер зміни температури поверхні лунки при впливі на поверхню електричного імпульсу тривалістю t .

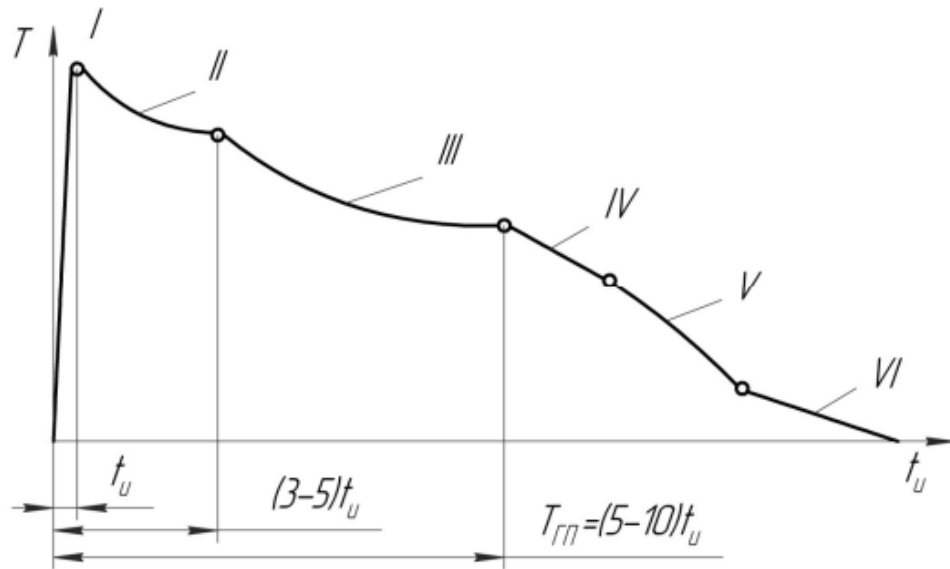


Рисунок 5.2 – Діаграма зміни температури поверхні лунки [20]

Тепловий режим I (рис. 5.2) пов'язаний з утворенням плоского миттєвого джерела тепла, що діє протягом $t \leq t_i$. За цей час відбувається інтенсивне нагрівання поверхневих шарів електродів аж до їх розплавлення та випаровування. Тепловий режим II охоплює час $t_i t = (3-5) t_i$, тобто. з моменту закінчення імпульсу струму до моменту додаткового викиду металу із лунки. В цей період поверхню лунки покрита перегрітим металом з температурою, що перевищує його температуру плавлення.

Тепловий режим III починається після додаткового викиду металу з лунки і закінчується, як можна умовно вважати, при $t = T_{ГП} = (5-10) t_i$, тобто. одночасно з початком ліквідації газової порожнини ($T_{ГП}$ – час існування газової порожнини). Температура поверхні лунки близька до температури

плавлення оброблюваної заготовки. У цей час зберігається значний градієнт температур в поверхневому шарі заготовки [21].

Прискорений процес охолодження поверхні лунки (тепловий режим IV) починається з $t > T_{\text{гп}}$, тобто після закінчення додаткового викиду металу з лунки, і особливо у момент, коли діаметр газової порожнини наближається до мінімальної. В цей час газова порожнина поступово зменшується, та її межа переміщається до центру лунки. Потім настає момент, коли межа газової порожнини, представляє собою парорідкісну суміш, доторкнеться до периферійної частини поверхні лунки, що має високу температуру. В результаті частина робочої рідини газової порожнини перетворюється на пару. Поява бульбашок пари призводить до пульсації розмірів газової порожнини.

Шорсткість поверхні надає значний вплив на експлуатаційні властивості деталей

Після електроерозійної обробки поверхня ЕД має якусь шорсткість, утворену шляхом великої кількості лунок, що взаємно перетинаються. Параметри шорсткості визначаються розмірами та геометрією двох груп нерівностей, отриманих внаслідок взаємного перетину лунок і утворених у результаті спотворення профілю лунки. Перша група нерівностей значною мірою визначатиметься розмірами лунок.

З використанням даних факторів стає можливим визначення параметрів шорсткості. Друга група нерівностей повністю визначається випадковими факторами, визначення яких практично неможливо. Таким чином, реальний профіль шорсткості можна розділити на дві складові: систематичну та випадкову. Випадкова складова профілю шорсткості становить приблизно 10-15% від систематичної.

Чим вище електроерозійна оброблюваність матеріалу, тим більшу висоту мікронерівностей має оброблена поверхня. Варто відзначити, що параметри шорсткості поверхні, обробленої електроерозійним способом, істотно відрізняються від параметрів поверхонь, оброблених різанням та віброобкатуванням.

На рис. 5.3 представлені загальна схема формування параметрів шорсткості та реальний профіль обробленої поверхні.

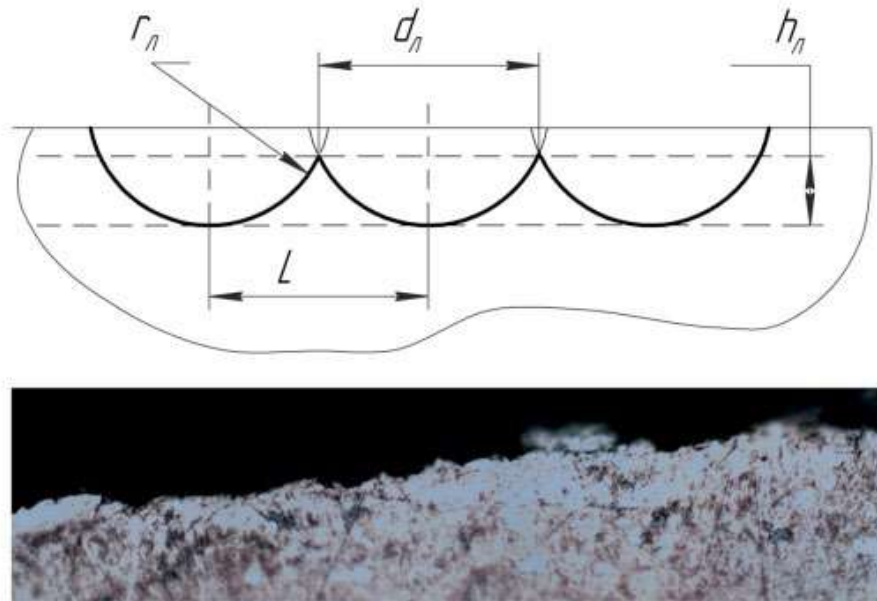


Рисунок 5.3 – Схема формування параметрів шорсткості та реальний профіль обробленої поверхні [22]

Зі збільшенням енергії імпульсу шорсткість обробленої поверхні зростає. Це пояснюється тим, що зі збільшенням енергії імпульсу буде виділятися більша кількість теплоти протягом одного імпульсу, отже, спостерігатиметься більше проплавлення металу, що, у свою чергу, призведе до збільшення радіусу лунки і, як наслідок, коефіцієнта перекриття. Таким чином, для отримання менших значень параметрів шорсткості необхідно правильно підбирати режим обробки.

На рис. 5.4 показано номограму режимів та технологічних характеристик при обробці сталі мідним ЕІ на частоті 400 ім/с (режим струму до 600 А). З використанням номограми режим обробки вибирається так: при розрахунковій площі обробки $F_p = 100 \text{ см}^2$ піднімаються від точки 100 см^2 нижньої шкали по вертикалі до перетину з похилою прямою, потім по горизонталі переміщуються вліво до перетину зі шкалою струму і визначають

$I_{\text{ср}} = 270 \text{ А}$. Дотримуючись горизонталі, за правою шкалою знаходимо продуктивність $Q = 4300 \text{ мм}^3/\text{хв}$. На верхній шкалі показана висота нерівностей R_z , яка для аналізованого приклад дорівнює $0,5 \text{ мм}$. Умовно режими ЕЕ обробки ділять на чистову, чорнову і довідковий, але можливе й інший поділ, наприклад на жорсткі, середні, м'які. Ще одним важливим фактором, що впливає на параметри шорсткості деталі, що обробляється, є знос електрода інструменту.

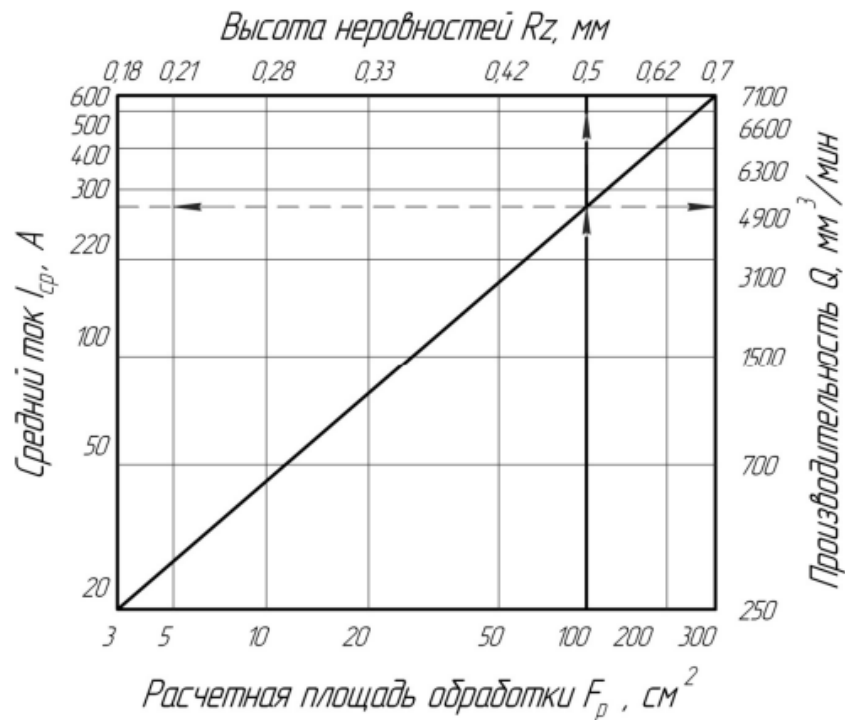


Рисунок 5.4 – Номограма режимів та технологічних характеристик

У роботі досліджувався процес зміни властивостей ЕД та ЕІ при дротяно-вирізній електроерозійній обробці. Встановлено, що зі збільшенням середньої сили струму (отже і збільшенням W_i) при обробці сталі 40Х відбувається руйнування електрода-інструменту (рис. 5.5), що істотно відбивається на величиною R_z [22].

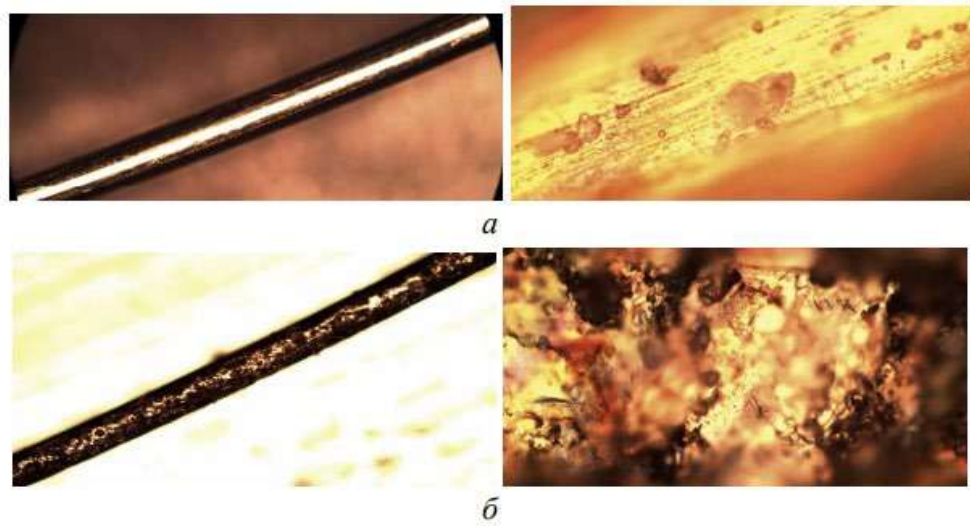


Рисунок 5.5 – Руйнування електрода-інструменту: а – новий ЕІ (100, 1000); б – ЕІ після чорнової обробки ($\times 100$, $\times 1000$)

Знос ЕІ істотно впливає на точність деталі, що виготовляється. Він обумовлений багатьма факторами, основними з яких є режим обробки, матеріал та розміри ЕІ. При цьому випадкова похибка Δi визначається не середньою експериментально встановленою величиною зносу, яке коливаннями при обробці заготовок у рівних умовах, обумовленими нестабільністю режиму обробки, структури матеріалу ЕІ та ЕД та поруч інших причин.

Для досягнення заданої точності обробки є кілька методів. Перший спосіб полягає у проведенні обробки в кілька етапів із заміною зношеного ЕІ на новий. Цей спосіб застосовується у разі об'ємного електроерозійного копіювання. Зазвичай використовується два ЕІ. Заміна ЕІ на новий відбувається при його зносі на величину, що дорівнює або перевищує задану точність. При цьому способі зростають витрати на обробку через необхідність використання додаткових ЕІ. Також при заміні зношеного ЕІ на новий може виникнути похибка за рахунок неточності його встановлення.

Другий спосіб полягає в компенсації зносу ЕІ під час обробки. Цей спосіб застосовується у разі використання ЕІ простий форми.

Для випадку ЕЕО дисковим електродом, що обертається, розроблена модель, що дозволяє передбачати форму обробленої поверхні при відомих траєкторії руху ЕІ і початкової формі поверхні заготовки [1]. На рис. 5.6 показано зміну форми обробленої поверхні внаслідок зносу ЕІ.

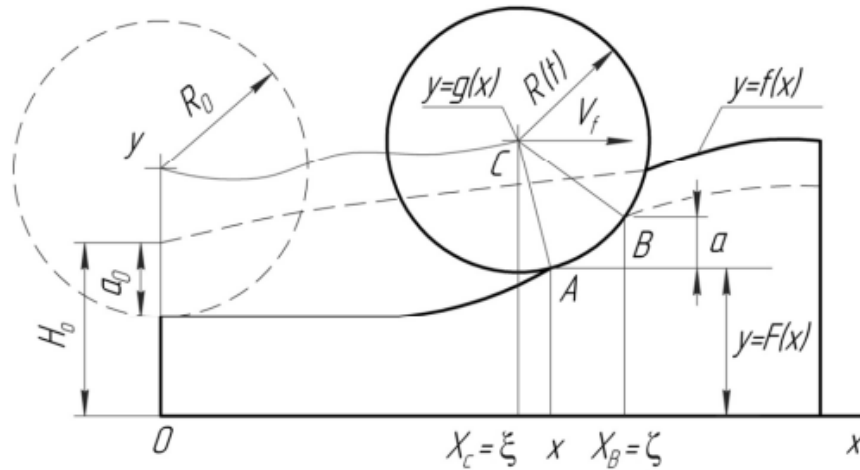


Рисунок 5.6 – Зміна форми обробленої поверхні внаслідок зносу ЕІ

Деформації ЕІ впливають на точність обробки у разі, коли він має малу жорсткість. Це переважно стосується операції електроерозійного вирізування. При ЕЕВ як інструменту використовується дріт діаметром 0,3-0,03 мм, що виготовляється, як правило, з латуні. Під впливом сили, що виникає в МЕЗ при пробі, дріт починає вібрувати і прогинатися на деяку величину. Сили від розрядів впливають як на фронтальну поверхню дроту, так і на бічні поверхні, внаслідок чого виникає геометрична похибка обробки.

У процесі різання на ЕІ дріт діють фронтальні та бічні розряди, причому у початковий момент різання кут дуги розряду (Q) мінімальний і в процесі різання досягне 180° (рис. 5.7). У зв'язку з нерівномірністю розподілу розрядів дія сил від цих розрядів також не рівномірно розподіляється. Таким чином, сумарна сила від дії фронтальних розрядів (F_ϕ) спрямована проти руху подачі (S) та має постійний напрямок. Сумарна сила від дії бічних розрядів (F_6) не має постійного спрямування та змінюється в залежності від кута Q [22].

При зміні напрямку траєкторії руху змінюється кут Q , внаслідок чого змінюватиметься напрямок впливу сумарних бічних та фронтальних сил. В результаті цього явища виникатиме округлення оброблених кутів. Також варто відзначити, що при обробці криволінійних контурів геометрична похибка накопичуватиметься, і оброблений профіль деталі не збігатимуться з профілем заданим по керуючій програмі.

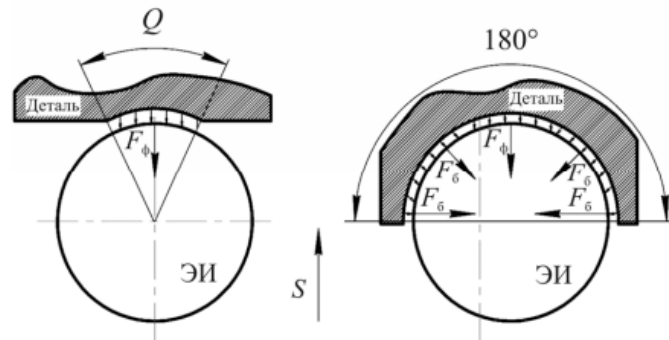


Рисунок 5.8 – Розподіл сил при електроерозійній обробці

Вібрація та деформація ЕІ дроту при електроерозійному вирізанні вносить найбільшу похибку при обробці кутів. Дослідження геометричної похибки показали, що в результаті вібрації дроту, а також збільшення пластичної деформації при обробці кутів відбувається округлення їх (рис. 5.9).

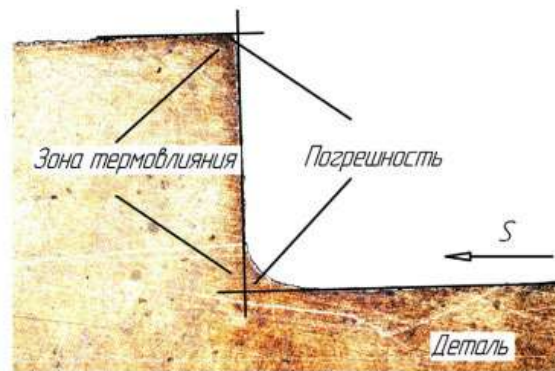


Рисунок 5.9 – Геометрична похибка обробки

Залежно від використовуваного електрода-інструменту (ЕІ) електроерозійні верстати можна розділити на дотяно-вирізні (ЕІ – дріт) та копіювально-прошивні (ЕІ – об'ємний) профільний елемент). Окрему групу представляють верстати для електроконтактної обробки на повітрі та установки для зміцнення та легування.

Копіювально-прошивальні верстати призначені для отримання в заготовках отворів, порожнин та поглиблень різної форми. Крім обробки порожнин та отримання отворів різної форми, копіювально-прошивальні верстати використовуються для нанесення на заготовки різних написів.

У копіювально-прошивальних верстатах об'ємному профільному ЕІ надається поступальний рух зі швидкістю V_z у напрямку ЕД (рис. 5.10, а).

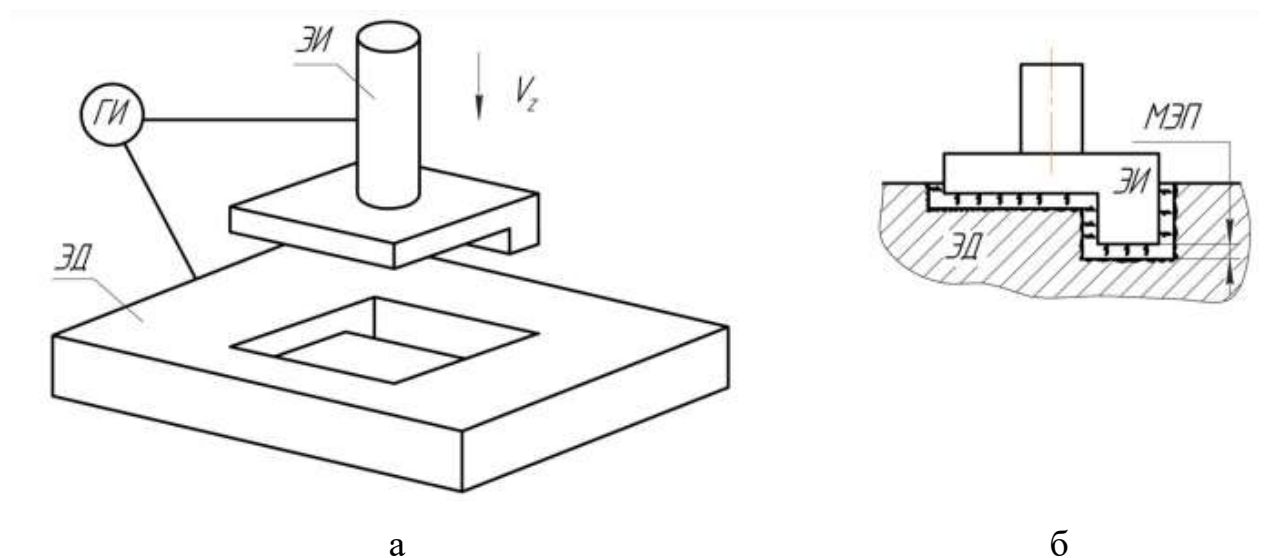


Рисунок 5.10 – Схема копіювально-прошивної обробки

Від генератора ГІ до електрода-інструменту та заготовки (ЕД) подаються електричні імпульси. Між ЕІ і заготівлею при ЕЕО завжди існує проміжок - міжелектродний проміжок (рис. 5.10, б).

У різних місцях МЭП між поверхнями електрода-інструменту і електрода-деталі є найменші відстані (перпендикулярні до напрямку подачі)

між виступами мікронерівностей профілю поверхонь ЕІ та ЕД. Ці відстані у розглянутому місці і визначають як міжелектродний зазор (МЕЗ), оскільки між цими виступами відбувається розряд імпульсу струму і в зоні виступів видаляється матеріал.

Спеціальні верстати для електроерозійної обробки отворів малого діаметра звуться «Супердрелі». Принцип обробки – це електроерозійна прошивка, в якій електродом служать латунні трубки діаметром від 0,080 до 6 мм (рис. 5.11 а).

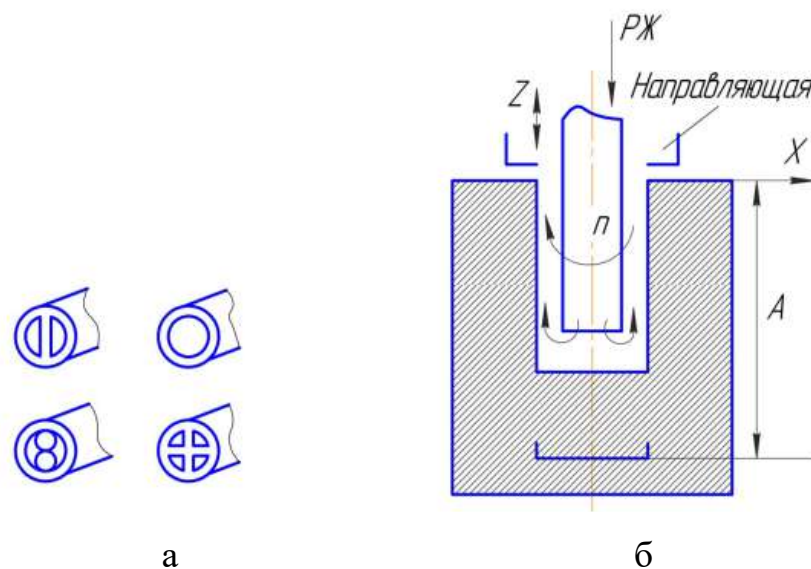


Рисунок 5.11 – Електроерозійна обробка отворів на верстатах «Супердріль»:

а – електроди; б - схема обробки

Профіль перерізу залежить від діаметра трубки. Через електродтрубку під час роботи під тиском (до 80 МПа) прокачується спеціальна РЖ (або негорючий діелектрик на водяній основі або вуглеводнева РШ). Електроду при обробці надається обертання та осьова подача (рис. 5.11, б). «Супердрелі» дозволяють отримувати отвори значно швидше за традиційні методи, а також «свердлити» там, де отримання отворів у твердих металах механічними способами практично неможливо.

В даний час виробництвом електроерозійного обладнання займаються фірми різних країн світу. Найбільш розвиненим ринком ЕЕ-обладнання по праву вважається Японія [14]. Біля половини електроерозійних верстатів, що випускаються у світі, припадає на цю країну, де їх виготовленням займаються такі фірми, як FANUC, MAKINO, MITSUBISHI, HITACHI, SEIBU, Sodic.

В Азії нарощують власне виробництво фірми Тайваню (Sure First, MAXIMART CO та ін.), Індії (Electronica Machine Tools Ltd). Заводи з виробництва ЕЕ-верстатів відомих фірм виникли та розвиваються в Таїланді, Малайзії, Китаї. У Європі найбільш відомі фірми AGIE та CHARMILLES TECHNOLOGIES – група концерну GEORGE FISHER (Швейцарія), HERBERT WALTER, INGERSOLL та ELOTHERM (Німеччина), ONA (Іспанія).

Сучасні супердрілі дозволяють виконувати прошивку отворів малого діаметру у тонкостінних криволінійних поверхнях. Типовим представником є електроерозійна супердріль MAX SEE S46 CNC (рис. 5.12) [23]. Вона дозволяє виконувати комп'ютерне керування шістьма осями (X, Y, Z, U, B, A); обробку одного та декількох отворів, простий метод введення даних, має функцію обробки з копіюванням робочих параметрів, дає можливість обробки металевих сплавів високої твердості, можливість обробки профілю неправильної форми, сфер та кривих під час одного технологічного переходу, має функцію пошуку кромки та позиціонування.



Рисунок 5.12 - Електроерозійна супердріль MAX SEE S46 CNC [23]

Але слід зазначити, що подібне обладнання має високу вартість та його використання є доцільним при високих обсягах виробництва та складних випадках обробки, при яких неможливо застосування звичайного обладнання.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ

При проектуванні технологічного процесу виготовлення циліндру було застосовано заміну операції свердління отворів на п'ятикоординатному верстаті на операцію електроерозійного прожигу отворів на електроерозійному верстаті з ЧПУ профільованим електродом.

Було замінено Haas VF5, Micron VCE1250W на електроерозійний верстат з ЧПУ CM A53C.

Визначимо такт випуску:

$$\tau = \frac{F_d \cdot 60}{\Pi} = \frac{4015 \cdot 60}{1000} = 240,9 \text{хв};$$

Визначимо необхідну кількість обладнання за обома варіантами:

$$\eta_{VF5} = \frac{t_{шт.к}}{\tau} = \frac{55,3}{240,9} = 0,23 \approx 1$$

$$\eta_{CM A53C} = \frac{t_{шт.к}}{\tau} = \frac{32,1}{240,9} = 0,13 \approx 1$$

Визначимо норми витрат по статтях собівартості [24]. Приймаємо розряд робочого 5-й $З_T=1,293$. Приймемо коефіцієнт перевиконання норми $K=1,2$ грн/хв і одержимо $З_p=З_T \times K_n=1,36 \times 1,2=1,62$ грн/хв [25].

Витрати на електроенергію Haas VF5, Micron VCE1250W $N=22,4$ кВт, CM A53C $N=5$ кВт. Для серійного виробництва коефіцієнт з потужності $K_1=0,7$ та по часу роботи $K_2=0,7$. Вартість 1 кВт електроенергії приймаємо $C_e=1,68$ грн [26].

$$E_{VF5} = \frac{22,4 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,31 \text{грн};$$

$$E_{\text{CM A53C}} = \frac{5 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1,68}{60} = 0,07 \text{ грн}$$

Витрати на амортизацію обладнання, ціна верстату Haas VF5 Ц=20000грн, ціна верстату VF5 Ц=5000грн.

$$\begin{aligned} \sum A_{\text{VF5}} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 20000}{100} = 3450 \text{ грн} \\ A_{\text{VF5}} &= \frac{3450 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 1,43 \text{ грн} \\ \sum A_{\text{CM A53C}} &= \frac{15 \cdot 1,15 \cdot 5000}{100} = 862,5 \text{ грн} \\ A_{\text{CM A53C}} &= \frac{862,5 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,36 \text{ грн} \end{aligned}$$

Витрати на обслуговування

$$\begin{aligned} \sum O_{\text{VF5}} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 20000}{100} = 115 \text{ грн} \\ O_{\text{VF5}} &= \frac{115 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,05 \text{ грн} \\ \sum O_{\text{CM A53C}} &= \frac{0,5 \cdot 1,15 \cdot 5000}{100} = 28,75 \text{ грн} \\ O_{\text{CM A53C}} &= \frac{28,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,01 \text{ грн} \end{aligned}$$

Витрати на ремонт обладнання

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{VF5}} &= \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 20000}{100} = 1035 \text{ грн} \\ P_{\text{VF5}} &= \frac{1035 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,43 \text{ грн} \end{aligned}$$

$$\sum P_{\text{см А53С}} = \frac{4,5 \cdot 1,15 \cdot 5000}{100} = 258,75 \text{ грн}$$

$$P_{\text{см А53С}} = \frac{258,75 \cdot 100}{4015 \cdot 60} = 0,11 \text{ грн}$$

Визначимо технологічну собівартість для кожного з варіантів

$$C_{\text{VF5}} = 1,62 + 0,31 + 1,43 + 0,05 + 0,43 = 3,84 \text{ грн}$$

$$C_{\text{см А53С}} = 1,62 + 0,07 + 0,36 + 0,01 + 0,11 = 2,17 \text{ грн}$$

Розрахуємо економічний ефект

$$\mathcal{E} = (C_{\text{VF5}} - C_{\text{см А53С}}) \cdot \Pi = (3,84 - 2,17) \cdot 1000 = 1670 \text{ грн}$$

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Однією із проблем, що виникають під час організації виробничого процесу – забезпечити максимальну безпеку фахівцям в процесі роботи. Складність зазначеної проблеми полягає в необхідності передбачити усі потенційні небезпеки, що можуть виникнути при виконанні технологічного процесу. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники зазначені ГОСТом 12.0.003-74 (1999) "ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Класифікація". Проаналізуємо основні потенційні небезпеки, що можуть виникнути в механічному цеху.

1. Внаслідок порушення організаційних вимог найчастіше виникають різноманітні механічні травми, наприклад, у випадку:

а) при недостатньому просторі навколо робочого місця, біля верстата чи між верстатами;

б) внаслідок захаращення проходів в умовах відсутності достатньої кількості шаф, полиць, стелажів;

в) застосування слизького взутті або на слизькій підлозі чи сходах після вологого прибирання;

г) недостатнє освітлення в коридорах може ускладнювати переміщення працюючих, а іноді навіть привести до травмування.

2. Поразка електрострумом, у зв'язку з невиконанням правил техніки безпеки при використанні електроустаткування, відсутності захисного заземлення. Ступінь ураження людини залежить від багатьох факторів: її фізичного стомлення, індивідуального опору впливу електричного струму, частоти струму, часу впливу, шляху проходження через тіло людини, від зовнішніх факторів, наприклад вологості у приміщенні [27].

3. Кістково-м'язові порушення, у зв'язку з довгим статичним навантаженням, яке призводить до стомлення, збільшенню помилок, травм.

4. Підвищена роздратованість, в наслідок виконання роботи в умовах дефіциту інформації та часу, призводять з часом до захворювань серцево-судинної системи, крім того це впливає на загальну поведінку працюючих та погіршує професійні відносини.

5. Санітарно-гігієнічні причини, порушення яких може впливати на здоров'я працюючих, є наступні:

а) підвищений рівень шуму, що супроводжує роботу багатьох верстатів, може привести до дратівливості робітників та збільшенню помилок під час аналізу виробничого завдання та виконання технологічних операцій;

б) втома очей виникає внаслідок пульсації світлового потоку від ламп типу ДРЛ, яка впливає на погіршення зору при управлінні технологічним процесом і устаткуванням;

в) незадовільне освітлення виробничих приміщень і робочих місць, у зв'язку з виходом з ладу освітлювального устаткування, може привести до втоми очей,

г) в умовах холодного періоду року та зниження температури ззовні і у приміщенні можливе охолодження і переохолодження організму. Це призводить до погіршення імунітету, збільшенню частоти простудних захворювань, виникає загроза захворіти на ковід.

6. Вірогідність пожежі у зв'язку з несправністю електричного устаткування, не дотримання або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом.

7. Неправильні дії персоналу, паніка в умовах надзвичайних ситуацій, що може привести до травмування і загибелі людей.

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Для забезпечення безпеки працюючих в процесі виконання виробничих обов'язків необхідним є дотримання виробничої дисципліни і правил внутрішнього розпорядку, дотримання виробничих інструкцій та інструкцій

на робочому місці, при необхідності застосування індивідуальних засобів захисту та інших принципів самобезпеки.

Для всіх працівників необхідним є проходження навчання відповідно вимог, що зазначено в НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». В залежності від виду та часу проведення інструктажі поділяються на вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий. Вступний інструктаж проводить спеціаліст служби охорони праці проводить у разі прийняття працівників на роботу. Безпосередній керівник робіт проводить первинний інструктаж перед початком роботи на робочому місці з урахуванням усіх специфічних особливостей, а також зо всіма працівниками 1 раз на півроку (або 1 раз в квартал при роботі з підвищеною небезпекою) - повторний інструктаж; у випадку застосування нового обладнання, змін технологічного процесу, після нещасних випадків та аварій - позаплановий інструктаж. [28].

При розробці технологічного процесу передбачено застосування обладнання, що відповідає вимогам «Технічного регламенту безпеки». Згідно «Технічного регламенту безпеки» обладнання не повинно створювати небезпеки для людей під час встановлення, налагодження, експлуатації та обслуговування згідно з передбачуваними умовами та технологічними вимогами. Крім того, протягом усього строку експлуатації не створювати небезпеки через дію вологи, сонячної радіації, механічних коливань, високих та низьких тисків і температур, агресивних речовин. [29].

Для уникнення можливих травм при контакті з рухомими частинами верстатів передбачені захисні огорожі згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

Згідно статистичних даних травмування на території цеху чи підприємства може виникнути внаслідок неправильно спланованого робочого простору, захащення робочих місць або у зв'язку з недостатньою увагою персоналу. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди.

Будинки адміністративного та побутового призначення», відстань між верстатами залежить від розміру верстатів і становить не менше – 0,9...1,5 м, що забезпечує безпеку в процесі трудової діяльності та можливість швидко перемішувати заготовки, деталі від операції на іншу операцію або на контроль якості. Ширина проїзду на дільниці - 4.5 метрів, ширина проходів становить 2-2.5метри. [30].

Плануванням безпосередньо біля робочого місця передбачені місця для зберігання тари із заготовками і готовою продукцією, стелажі для зберігання технологічної документації і інструменту. Для роботи сидячи робоче місце оператора має стілець з регульованим нахилом спинки і заввишки сидіння. [30].

В адміністративних приміщеннях організація робочих місць нормується ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» в залежності від наявності та необхідності застосування персональних комп'ютерів для розробки технологічних процесів. Відповідно зазначених документів відстань між робочими столами становить не менше 2 метрів, а відстань між боковими поверхнями моніторів - не менше 1,2 метра. Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці, площа на одне робоче місце повинна становити не менше 6 м^2 , а об'єм – не менше 20 м^3 . Відповідно рекомендаціям розміри столу для робочого місця становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» екран відео монітора знаходиться від очей користувача на відстані 600-700 мм [30, 31].

Приклад раціонального розміщення робочих місць в технологічному бюро наведено на рис. 7.1. Для забезпечення виробничого процесу необхідним є застосування 11 комп'ютерів.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням наступних вимог:

- робочі місця з ПК розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни з вікнами;
- відстань між бічними поверхнями ПК має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ПК та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м (приймаємо 1.2).
- площа на одне робоче місце технолога, що обладнане комп'ютером повинна становити не менше $6,0 \text{ м}^2$.
- об'єм - не менше $20,0 \text{ м}^3$, з урахуванням максимальної кількості фахівців, що одночасно працюють у тех.бюро.

Врахуємо також розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу. Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм. Найкращим є розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Враховуючи, що в приміщенні 11 робочих місць технологів, що оснащені комп'ютерами (рис. 7.1), то найкраще комп'ютеризовані робочі місця розмістити в три ряди по чотири штуки, відстань між робочими місцями становить 2.3 метри, що більше ніж відстань зазначена нормативом.

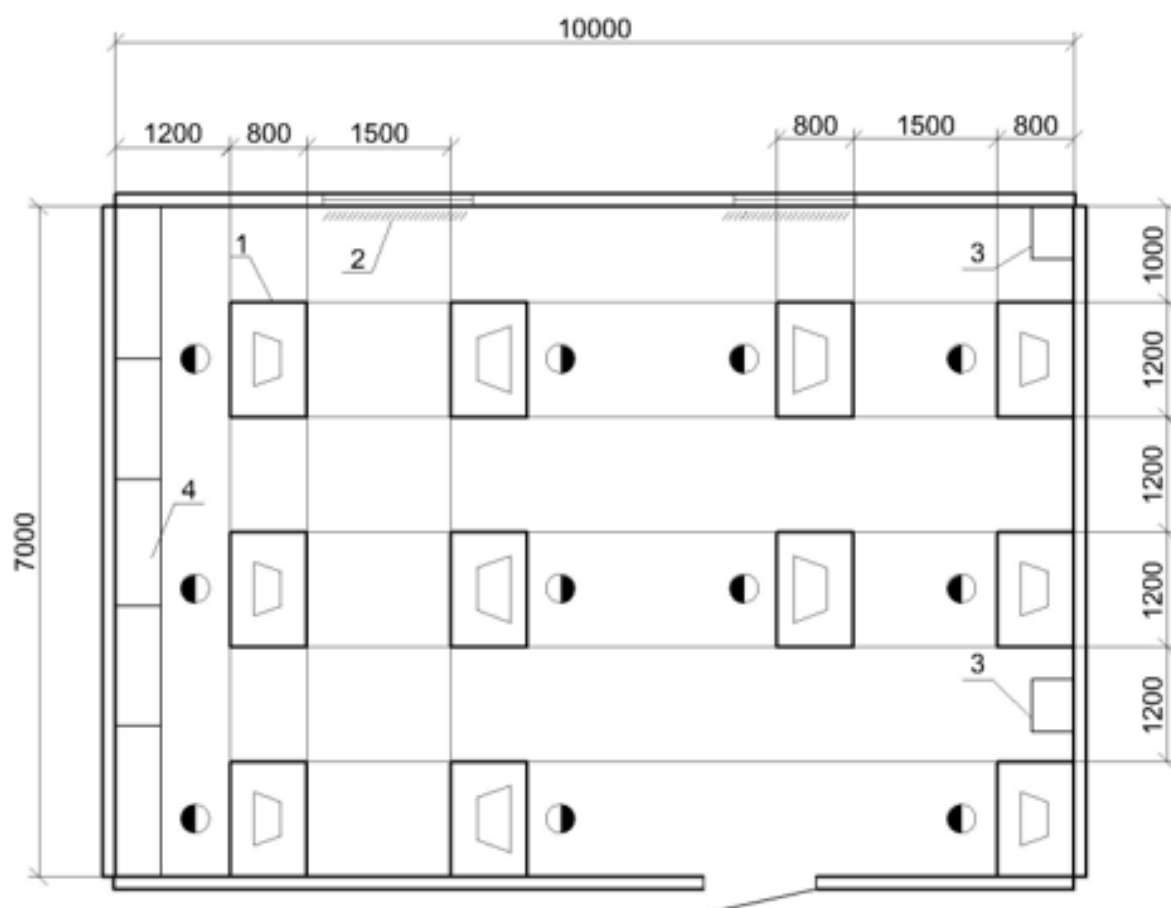


Рисунок 7.1 – План приміщення робочих місць, що оснащені комп'ютером:

1 - комп'ютеризоване робоче місце; 2 - сонцезахисні жалюзі; 3 – шафи; 4 - шафи для зберігання документації та технологій.

Для запобігання ураження електричним струмом, згідно вимог глави 1.7 «ПУЕ» та ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление», величина опору контуру захисного заземлення електрообладнання механічної дільниці з у будь-яку пору року не перевищує – 4 Ом.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Метеорологічні умови на механічній дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають

встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» [32, 33].

Роботи на ділянці належать до категорії Па – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 18-20°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с;

- у теплий період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання». Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в приміщенні може призвести до негативних впливів на здоров'я працівників у вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо.

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення. Природне освітлення має важливе фізіолого-гігієнічне значення для працюючих, в умовах підвищеного навантаження на орган зору. Воно сприятливо впливає на органи зору, стимулює фізіологічні процеси, підвищує обмін речовин та покращує розвиток організму в цілому. На рівень освітленості приміщення при природному освітленні впливають наступні чинники: світловий клімат; площа та орієнтація світлових отворів; ступінь чистоти скла в світлових отворах; пофарбування стін та стелі приміщення;

глибина приміщеннях; наявність предметів, що заступають вікно, як зсередини так і з зовні приміщення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. [34].

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочий поверхні становить 200-300 лк. Як джерела штучного освітлення в конструкторському бюро та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО. Для забезпечення нормованого освітлення на ділянці механічного цеху застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ. Лампи мають високу ефективність, економічні, надійні, строк експлуатації понад 8000-14000 годин. [34].

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги».

Для зменшення негативного впливу вібрації (спазми судин, порушення кровообігу та терморегуляції, біль в суглобах, тремор кінцівок) під час роботи з ручним механічним, електричним та пневматичним інструментом застосовуються засоби індивідуального захисту (НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 19.12.2013 року № 966. Під час роботи в умовах загальної вібрації застосовується спеціальне взуття.

7.5 Заходи з пожежної безпеки

Заходи по пожежній безпеці виконані відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». На випадок виникнення пожежі в цеху забезпечена можливість безпечної евакуації людей

через евакуаційні виходи. Двері, призначені для евакуації, відкриваються в сторони виходу з будівлі. Переходи, проїзди, евакуаційні виходи передбачені відповідно до вимог згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [35].

Для миття і знежирення устаткування, виробів і деталей, застосовуються негорючі технічні миючі засоби, а також безпечні в пожежному відношенні установки і способи. Механізми для самозакривання протипожежних дверей утримуються в справному стані. Вогнеперегоржувачі пристрої після закінчення робочого дня закриваються. Регулярно перевіряється справність вогнеперегоржувачів і робиться чистка їх вогнегасячих насадок, а також справність мембранних хлипаків. Терміни перевірки вказані в цеховій інструкції.

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної небезпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані. [36].

Згідно вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» механічний цех має II ступінь вогнестійкості. [9].

Клас пожежонебезпечної зони відповідно до ПОЕ – клас II-III. При розміщенні в приміщеннях або на відкритому повітрі поодинокого пожежонебезпечного технологічного устаткування, якщо спеціальні заходи проти поширення пожежі не передбачені, зона в межах до 3м по горизонталі і вертикалі від цього устаткування вважається пожежонебезпечною.

На дільниці встановлені три пожежні крани з рукавами і брансбойтами. На території цеху передбачені пожежні щити (з розрахунку – один щит на площу 5000 м²), в нім розміщені: вогнегасники ОУ- 5 – 3 шт; ящик з піском –

1 шт; покривало з теплоізолюючого матеріалу, що не згорає – 1 шт; багри – 3 шт; лопати – 2 шт; сокири – 2 шт; лом – 2 шт.

В механічному цеху передбачено застосування порошкових вогнегасників, а вуглекислотний вогнегасник призначений тільки для гасіння електроустановок. [37]. У електроустановках передбачені наступні заходи пожежної безпеки:

- усі іскристі частини устаткування вкладені в пилонепроникні ковпаки;
- силова розводка виконана схованою в трубах;
- силова апаратура забезпечена захистом від короткого замикання.

У складському господарстві передбачаються наступні заходи пожежної безпеки :

- чітка організація зберігання матеріальних цінностей, забезпечення вільного доступу до стелажів;
- суворе дотримання правил спільного зберігання матеріалів, хімікатів;
- оснащення складів пожежною сигналізацією і засобами індивідуальної пожежогасінні.

Проектом передбачено облаштування пожежної сигналізації на механічних дільницях і в допоміжних приміщеннях цеху, з урахуванням 1 оповісник на 65 м² площі, який замикається на приймальну станцію пожежної сигналізації типу Т10Л-10/100.

Для захисту від блискавок передбачені громовідводи. З метою захисту від статичної електрики на ділянках промивання передбачені заземлення неструмопровідних електропровідних частин устаткування. Металеві повітропроводи встановлюються через кожні 40-50 м. Застосовують також зволоження повітря до 60-70%, що дозволяє понизити електризацію матеріалу. [37].

7.6 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

Вимоги до організації навчання працюючого та непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях визначені у главі 10, статтях 39-42. «Кодексу цивільного захисту (ЦЗ) України. [38].

Навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях здійснюється:

- за місцем роботи - працюючого населення;
- за місцем навчання - дітей дошкільного віку, учнів та студентів;
- за місцем проживання - непрацюючого населення.

Організація навчання діям у надзвичайних ситуаціях покладається:

- працюючого та непрацюючого населення - на центральний орган виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, Раду міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування, які розробляють і затверджують відповідні організаційно-методичні вказівки та програми з підготовки населення до таких дій;

- дітей дошкільного віку, учнів та студентів - на центральний орган виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, який розробляє та затверджує навчальні програми з вивчення заходів безпеки, способів захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних надзвичайними ситуаціями, з надання домедичної допомоги за погодженням з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту. [38].

Стандартами професійно-технічної та вищої освіти передбачається набуття знань у сфері цивільного захисту.

Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях встановлюється Кабінетом Міністрів України.

Громадські організації та позашкільні навчальні заклади здійснюють навчання діям у надзвичайних ситуаціях відповідно до своїх статутів.

Навчання працюючого населення

Навчання працюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях є обов'язковим і здійснюється в робочий час за рахунок коштів роботодавця за програмами підготовки населення діям у надзвичайних ситуаціях, а також під час проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту. [38].

Порядок організації та проведення спеціальних об'єктових навчань і тренувань з питань цивільного захисту визначається центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Для отримання працівниками відомостей про конкретні дії у надзвичайних ситуаціях з урахуванням особливостей виробничої діяльності суб'єкта господарювання у кожному суб'єкті господарювання обладнується інформаційно-довідковий куточок з питань цивільного захисту.

Особи під час прийняття на роботу та працівники щороку за місцем роботи проходять інструктаж з питань цивільного захисту, пожежної безпеки та дій у надзвичайних ситуаціях.

Особи, яких приймають на роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою, мають попередньо пройти спеціальне навчання (пожежно-технічний мінімум). Працівники, зайняті на роботах з підвищеною пожежною небезпекою, один раз на рік проходять перевірку знань відповідних нормативних актів з пожежної безпеки, а посадові особи до початку виконання своїх обов'язків і періодично (один раз на три роки) проходять навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

Допуск до роботи осіб, які не пройшли навчання, інструктаж і перевірку знань з питань цивільного захисту, зокрема з пожежної безпеки, забороняється.

Програми навчання з питань пожежної безпеки погоджуються з центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту.

Формування культури безпеки життєдіяльності населення. Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку.

Культура безпеки життєдіяльності населення - це сукупність цінностей, стандартів, моральних норм і норм поведінки, спрямованих на підтримання самодисципліни як способу підвищення рівня безпеки.

Популяризація культури безпеки життєдіяльності серед дітей та молоді організовується і здійснюється центральним органом виконавчої влади, який забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері цивільного захисту, спільно з центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування та реалізує державну політику у сфері освіти і науки, громадськими організаціями шляхом:

- проведення шкільних, районних (міських), обласних та всеукраїнських змагань з безпеки життєдіяльності;
- проведення навчально-тренувальних зборів і польових таборів;
- участі команд - переможниць у заходах міжнародного рівня з цих питань.

Навчання учнів, студентів та дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та правилам пожежної безпеки є обов'язковим і здійснюється під час навчально-виховного процесу за рахунок коштів, передбачених на фінансування навчальних закладів.

Навчання дітей дошкільного віку діям у надзвичайних ситуаціях та запобігання пожежам від дитячих пустощів з вогнем проводиться шляхом формування у них поведінки, відповідної віку дитини, щодо власного захисту та рятування.

Непрацююче населення самостійно вивчає пам'ятки та інший інформаційно-довідковий матеріал з питань цивільного захисту, правила пожежної безпеки у побуті та громадських місцях та має право отримувати від органів державної влади, органів місцевого самоврядування, через засоби масової інформації іншу наочну продукцію, відомості про надзвичайні ситуації, у зоні яких або у зоні можливого ураження від яких може опинитися

місце проживання непрацюючих громадян, а також про способи захисту від впливу небезпечних факторів, викликаних такими надзвичайними ситуаціями. [38].

Таким чином, для технологічного процесу передбачено комплекс заходів по забезпеченню безпеки, виробничої санітарії, гігієни праці і пожежної безпеки забезпечує безпечні та комфортні умови праці персоналу.

Передбачені заходи по організація навчання працюючого населення, дітей дошкільного віку, учнів та студентів, непрацюючого населення діям у надзвичайних ситуаціях відповідно «Кодексу цивільного захисту (ЦЗ) України».

ВИСНОВОК

Детально розроблений технологічний процес виготовлення циліндру. Обрано і економічно обґрунтований метод отримання заготовки. Призначено припуски на заготовку. Режими різання і технічні норми часу призначені і визначені за рекомендаціями нормативних документів авіаційної промисловості. Розроблено розрахунково-технологічні карти обробки деталей на верстатах з ЧПУ.

Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій. Спроектвані верстатні пристосування дозволяють швидко і надійно закріплювати заготовку під час обробки, що в умовах великосерійного виробництва дуже важливо.

Виконано спеціальне завдання на тему застосування систем САПР для оптимізації обробки на верстатах з ЧПУ.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки деталей з точки зору безпеки проведення робіт, наведені методика дій при виникненні надзвичайних ситуацій.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення циліндру.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. <https://msk-metall.com/marki-stali/zharostoykie-i-zharo-prochnye-stali-i-splavy/splavy-na-nikelevoy-osnove/hn73mbtyu-ei698.html>
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. Баранчиков В.И. и др. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов / Баранчиков В.И., Жаринов А.В., Юдина Н.В., Садыхов А.И. Справочник. М. Машиностроение, 1990г. 400с. ил.
5. Должностная инструкция. СТП 549.00.200.1 – 2004 г.
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. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін “Технологія машинобудування» (розділ проектування зубообробних операцій) для студентів спеціальностей: 8.090202, 8.090203, 7.090260, усіх форм навчання./Укл. В.Д. Хорошков.-Запоріжжя: ЗНТУ, 2003. - 93 с.
9. 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.
10. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика. М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
11. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.

12. Справочник инструментальщика/ И.А. Ординарцев, Г.В. Филипов, А.Н. Шевченко и др.; Под общ. ред. И.А. Ординарцева. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.: ил.
13. Режимы резания труднообрабатываемых материалов: Справочник/ Я. Л. Гуревич, М. В. Горохов, В. И. Захаров 2 – е изд. Перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. - 240 с.
14. Роменский В.И., Переналаживаемая технологическая оснастка для ускоренной технологической подготовки производства в приборостроении / В.И. Роменский, С.И. Теслюк // Технология приборостроения. – Х.: 2019. – №1. С. 43-48.
15. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: Підручник. – Кривий Ріг: КК НАУ, 2017. – 444 с. 3. Жабин А.И., Универсально-сборная и переналаживаемая оснастка / А.И. Жабин, Г.П. Холод, В.А. Здор и др. – К.: Техника, 1982. – 263 с.
16. Световой О.И., Унифицированные средства механизации переналаживаемой и специальной оснастки / О.И. Световой, А.С. Кобзев, Мовшович И.Я. – М.: – ЦНИИ информ., 1982.–215 с.
17. Ряховский А.В. Научные основы конструирования технологической оснастки для автоматизированных производств / А.В. Ряховский // Высокие технологии в машиностроении: сб. науч. тр. Нац. техн. ун-та «ХПИ». – Вып. 1. – Х., 2005. – С. 3-6.
18. Невлюдов І.Ш. Технічні засоби автоматизації: Підручник / І.Ш. Невлюдов, А.О. Андрусевич, О.І. Филипенко, Н.П. Демська, С.П. Новоселов. – КК НАУ, 2019 р. – 366 с.
19. Роменский В.И., Технологические методы повышения надежности сборочно-сварочной оснастки при производстве изделий радиоэлектронного приборостроения / В. И. Роменский, В. В. Невлюдова, Е. Ю. Персиянова // Innovative technologies and scientific solutions for industries. 2019. С. 120- 133.
20. Абляз Т. Р., Ханов А. М., Хурматуллин О. Г. Современные подходы к технологии электроэрозионной обработки материалов. – 2012.

21. <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=5236>
22. <https://erozia-stanki.ru/teoriya/tekhnologiya-lektro-rozionnoy-obrabotki/>
23. <http://www.zenitech.ua/elektroerozionnye/elektroerozionnye-superdrelj/elektroerozionnye-superdrelj-max-see-seriya-cnc-26-36-46>
24. Методичні вказівки до дипломного проектування з технології машинобудування для студентів спеціальностей «Технологія машинобудування» (8.090202) та «Технологія будування авіаційних двигунів» (7.090260) усіх форм навчання. / Склали: Яценко В.К., Ципак В.І., Коренівський Є.Я., Хорошков В.Д., Кононов В.В., Смирнов О.С., Сахно О.Г., Зінкевич К.В., Гончар Н.В. Пухальська Г.В., Алексеєнко О.В., Каліуш В.І., Савчук Н.О. – Запоріжжя, ЗНТУ, 2003. 245с.
25. <http://www.zarplata.co.ua/?p=6920>
26. http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/control/publish/article?art_id=245583544#:~:text=%D0%94%D0%BB%D1%8F%2080%25%20%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%20%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8%20%D1%82%D0%B0%D1%80%D0%B8%D1%84,%D0%B3%D1%80%D0%BD%20%D0%B7%D0%B0%20%D0%B2%D0%B5%D1%81%D1%8C%20%D0%BE%D0%B1%D1%81%D1%8F%D0%B3%20%D1%81%D0%BF%D0%BE%D0%B6%D0%B8%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F
27. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках.- М.: Энергоатомиздат, 1985.-376с. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.
28. НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці).

21. Технічний регламент безпеки машин [Електронний ресурс] – Чинний від 2013-08-12. : станом на 11.07.2018 р. – К. : КМ України, 2013. – 76 с. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-п> – (Постанова)
22. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.
23. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>. (Нормативно-правовий акт охорони праці).
24. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.
25. ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны».
26. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.
27. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с. (Державні будівельні норми)
28. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)
29. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)
30. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс] - Чинний від 2012-11-21.: станом на 01.01.2020 р. – К.: Відомості Верховної

22. Ради України, 2013. – Режим доступу:
<http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>. – (Закон України)

[illegible]

