

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Віталій ІВАНОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня «бакалавр»

(бакалавр/магістр)

зі спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код та назва)

освітньо-професійної програми «Технології машинобудування»

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

на тему: Проектування технологічного процесу виготовлення

кільця 15.01.12.08.

Здобувача (ки) групи ТМ-01/1

(шифр групи)

Басова Андрія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Андрій БАСОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник

доцент, к.т.н., доцент Павло КУШНІРОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

Нормоконтролер

доцент, к.т.н., доцент Артем ЄВТУХОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

(підпис)

ЗАКЛАД ВИЩОЇ ОСВІТИ УКРАЇНИ
«Сумський державний університет»

Інститут, факультет Кафедра	<u>TeSET</u> <u>технології машинобудування, верстатів та</u> <u>інструментів</u>
Освітньо-науковий рівень	<u>перший (бакалаврський)</u> (назва)
Спеціальність	<u>131 «Прикладна механіка»</u> (шифр і назва)
Освітня програма	<u>«Технології машинобудування»</u> (назва освітньої програми, за наявності)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри технології
машинобудування, верстатів та
інструментів

_____ *Віталій ІВАНОВ*

«___» _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ (ПРОЄКТУ) ЗДОБУВАЧА

Басов Андрій Сергійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Проектування технологічного процесу виготовлення
кільця 15.01.12.08.

керівник проєкту Кушніров Павло Висильович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 29.04. 2024 року № 0454-VI

2. Строк подання студентом роботи (проєкту) 10. 06. 2024 року

3. Вихідні дані до роботи (проєкту) _____

3.1 Робоче креслення деталі «Кільце 15.01.12.08»

3.2 Базовий технологічний процес виготовлення «Кільця 15.01.12.08»

3.3 Річний обсяг випуску деталей – 300 шт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити)

4.1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі

4.2 Аналіз технічних вимог на виготовлення деталі

4.3 Визначення типу виробництва та форми організації робіт

4.4 Аналіз технологічності конструкції деталі

4.5 Вибір способу отримання вихідної заготовки, розроблення технічних вимог на її виготовлення

4.6 Аналіз базового технологічного процесу виготовлення деталі

4.7 Проектування спеціального верстатного пристрою

4.8 Інженерне дослідження

5. Зміст графічної частини (перелік креслень, які потрібно розробити)

5.1 Креслення заготовки

5.2 Креслення маршрутного технологічного процесу виготовлення деталі

5.3 Креслення операційного налагодження

5.4 Креслення верстатного пристрою для установлення заготовки

6. Інша конструкторська та технологічна документація

Комплект документів на технологічний процес виготовлення

«Кільця 15.01.12.08»

5. Консультанти розділів роботи (проєкту)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання «08» квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.05.2024	
2	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	20.05.2024	
3	Оформлення пояснювальної записки	25.05.2024	
4	Оформлення комплекту технологічної документації	30.05.2024	
5	Оформлення креслень та презентації	10.06.2024	

Здобувач

_____ (підпис)

Андрій БАСОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівники роботи (проєкту)

_____ (підпис)

Павло КУШНІРОВ

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

_____ (ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра технології машинобудування, верстатів та інструментів

(повна назва кафедри)

Завідувачу кафедри

Віталію ІВАНОВУ

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

здобувача (ки) групи **ТМ-01/1**

(шифр групи)

Андрія БАСОВА

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

ЗАЯВА

Прошу затвердити мені тему кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня **«бакалавр»** зі спеціальності **131 «Прикладна механіка»**

(бакалавр/магістр)

(код та назва)

освітньо-професійної програми **«Технології машинобудування» :**

(освітньо-професійної/освітньо-наукової)

(назва програми)

Проектування технологічного процесу виготовлення

кільця 15.01.12.08.

(дата та підпис здобувача)

ПОГОДЖЕНО:

Керівник кваліфікаційної роботи:

Павло КУШНІРОВ

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Записка: 71 с., 11 рис., 13 таб., 7 джерел посилань.

Об'єкт розробки: деталь «Кільце 15.01.12.08»

Мета роботи: проектування технологічного процесу виготовлення деталі «Кільце 15.01.12.08».

В кваліфікаційній роботі бакалавра було досліджено службове призначення виробу – Кондиціонер наземного базування , а саме деталі – «Кільце 15.01.12.08». Проаналізовані існуючі технічні вимоги на виготовлення деталі. Розраховано тип виробництва – дрібносерійний та визначено умови організації праці. Для отримання заготовки було вибрано метод – лиття під тиском. Проаналізовані свердлильна та токарна з ЧПК операції, обґрунтовані вибори схем базування, металорізального обладнання та технологічної оснастки. Також виконані розрахунки режимів різання для даних операцій та їх технічне нормування.

КОНДИЦІОНЕР, ТРУБОПРОВІД, КІЛЬЦЕ, МАРШРУТ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ.

ЗМІСТ

Реферат	5
Вступ.....	7
1 Аналіз службового призначення машини, вузла, деталі. Опис конструктивних особливостей деталі та умов її експлуатації	8
2 Аналіз технічних вимог та виявлення технологічних задач при виготовленні деталі	14
3 Визначення типу та форми організації виробництва.....	17
4 Аналіз технологічності конструкції деталі	22
5 Вибір способу отримання заготовки та розроблення технічних вимог до неї.....	23
6 Аналіз існуючого технологічного процесу виготовлення деталі	29
6.1 Розрахунок припусків на механічну обробку	29
6.2 Аналіз та обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки	31
6.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів	34
6.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів	37
6.5 Розрахунки режимів різання.....	39
6.6 Технічне нормування операцій.....	46
7 Проектування верстатного пристрою.....	50
Висновки	56
Список використаної літератури	57
Додаток А - Креслення заготовки.....
Додаток Б - Маршрутний технологічний процес.....
Додаток В - Креслення наладки.....
Додаток Г - Креслення спеціального пристрою.....
Додаток Д - Специфікація
Додаток Е - Креслення деталі
Додаток Ж - Розрахунок припусків
Додаток К - Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....

					ТМ 20510010 - ПЗ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата				
Разраб.		Басов			Проектування технологічного процесу виготовлення кільця 15.01.12.08	Лит.	Лист	Листов
Провер.		Кушніров				КРБ	6	71
Реценз.						СумДУ, ТМ-01/1		
Н. Контр.		Євтухов						
Утверд.		Іванов						

ВСТУП

Промисловість є ключовою галуззю економіки, яка тісно пов'язана з науково-технічним прогресом і визначає рівень розвитку суспільства. Ця галузь включає в себе сукупність підприємств, таких як фабрики, заводи, електростанції, шахти, які виробляють різноманітні продукти для самої промисловості та інших галузей господарства. Вона також відіграє ключову роль у видобутку сировини, виробництві енергії, обробці продукції та виготовленні знарядь праці.

Незважаючи на важливість промисловості в Україні, їй доводиться стикатися з різноманітними викликами. Серед них - проблеми корупції, технологічних відставань та нестабільність на ринках. Фактори політичного та економічного характеру можуть впливати на динаміку розвитку цієї галузі.

У контексті машинобудування в Україні, виробництво літаків, вертольотів та військового устаткування є важливою складовою. Певні підприємства спеціалізуються на виробництві компонентів для авіаційної промисловості. Національна авіаційна промисловість відома своїми досягненнями, зокрема, виробництвом великих та потужних транспортних літаків, таких як Ан-124 "Руслан" і Ан-225 "Мрія".

Однак у зв'язку з війною, промисловість в Україні втратила частину своїх можливостей, і багато компаній, які змогли, вибрали переїхати. Такі події ставлять під сумнів стабільність та потенціал подальшого розвитку машинобудування в країні.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

1 АНАЛІЗ СЛУЖБОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ МАШИНИ, ВУЗЛА, ДЕТАЛІ. ОПИС КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ДЕТАЛІ ТА УМОВ ЇЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

«Кільце 15.01.12.08» входить до складу кондиціонеру В64D13/02.

Кільце необхідне для з'єднання трубопроводу кондиціонера. Кондиціонер В64D13/02 необхідний здебільшого для індивідуальної вентиляції одягу льотчиків. Система складається з джерела повітряного тиску, такого як балон зі стисненим повітрям, редуктора, вихід якого підключений до входу турбохолодильника, і розподільчого трубопроводу. З метою підвищення продуктивності, вихід охолоджуючого контуру турбохолодильника з'єднаний з вхідним соплом інжектора, розташованим у центральній частині ежекційної камери. Ежектоване повітря подається з трубопроводу, з'єданого через вентиль з атмосферою і вентиляторним контуром турбохолодильника, що також підключений до атмосфери на вході. Вихідний патрубок ежекційної камери з'єднаний з розподільчим трубопроводом, оснащеним нагрівачем, наприклад, електричного типу. Основні характеристики кондиціонера приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики наземного кондиціонера

Продуктивність, млн. МПа/добу	55
Температура вхідного повітря, °С	500
Тиск вхідного повітря, МПа	1,6
Інтервал температури, °С	0°С - +28°С
Потужність, КВт	5

Для належного функціонування необхідно забезпечити щільність і герметичність стиків трубопроводу, досягаючи це завдяки точній формі та розташуванню поверхонь, а також високій якості обробки поверхонь (потрібної шорсткості) складових елементів трубопроводу.

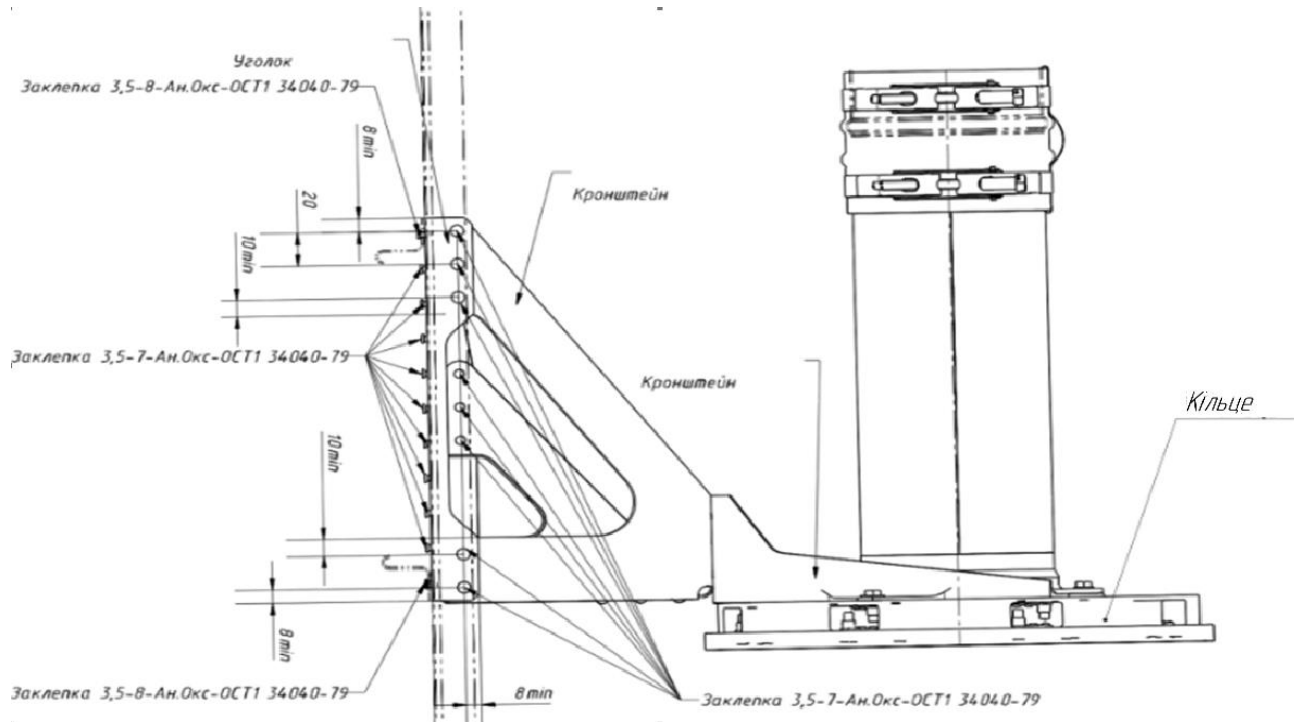


Рисунок 1.1 - Будова вузла

Після аналізу загальних характеристик робимо висновок, що об'єктом дослідження є агрегат кондиціонера, призначений для життєзабезпечення пасажирів та екіпажу літака.

						ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			9

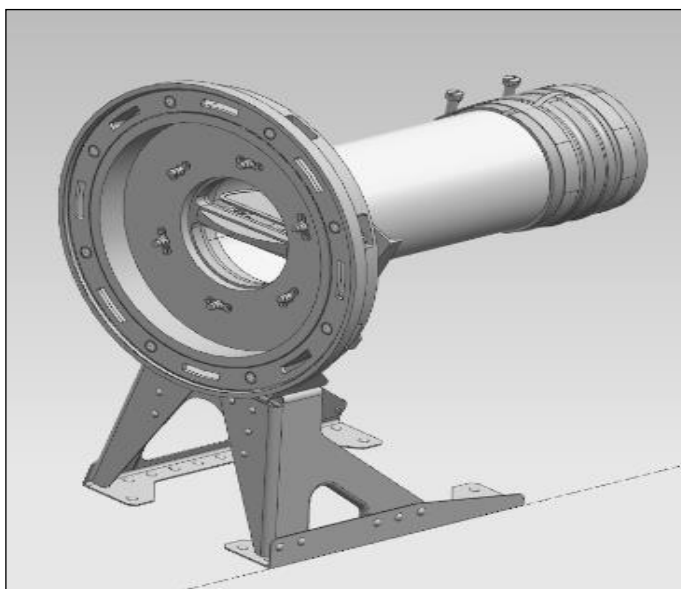


Рисунок 1.2 – Трубопровід кондиціонера

Принцип роботи:

Система працює за допомогою повітря, яке відбирається від компресорів, що входять до складу авіаційних двигунів. Температура цього повітря досягає 500 °С і вище, а тиск становить 1,6 МПа. Процес передбачає розділення повітря на два потоки. Перший потік, відомий як "холодна лінія", проходить через систему охолодження і далі спрямовується до змішувача. Другий потік надходить безпосередньо до змішувача. У змішувачі обидва потоки з'єднуються, після чого повітря надходить у гермокабіну. Важливо зазначити, що в літаках гаряче повітря використовується як частина системи проти заledenіння. Воно проходить через труби, розташовані під обшивкою літального апарату, обігриваючи поверхню для запобігання утворенню льоду. Розглянемо безпосередньо саму деталь, службове призначення деталі «Кільце 15.01.12.08».

На деталі «Кільце» можна виділити такі поверхні рисунок 1.3.

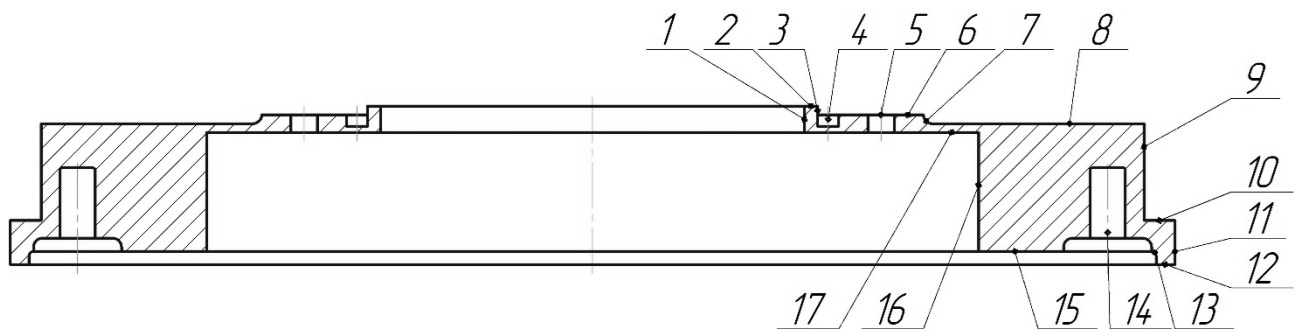


Рисунок 1.3 – Поверхні деталі «Кільце»

Розглянемо службове призначення кожної поверхні деталі:

- основні конструкторські (поверхні для базування у вузлі) – 5,8,14 ;
- допоміжні конструкторські (поверхні, по яких відбувається базування інших деталей по відношенню до даної) – 2,3,4,6,7,9,12,13,15,16,17;
- виконавчі (поверхні, якими деталь виконує своє призначення) – 1;
- вільні поверхні (служать для створення конфігурації , посилення конструкції деталі, технологічно/конструктивні елементи) – 10,11.

Розглядаючи «Кільце» у вузлі є можливість стверджувати, що деталь позбавлена шести ступенів вільності, рисунок 1.4, таблиця 1.2 та 1.3.

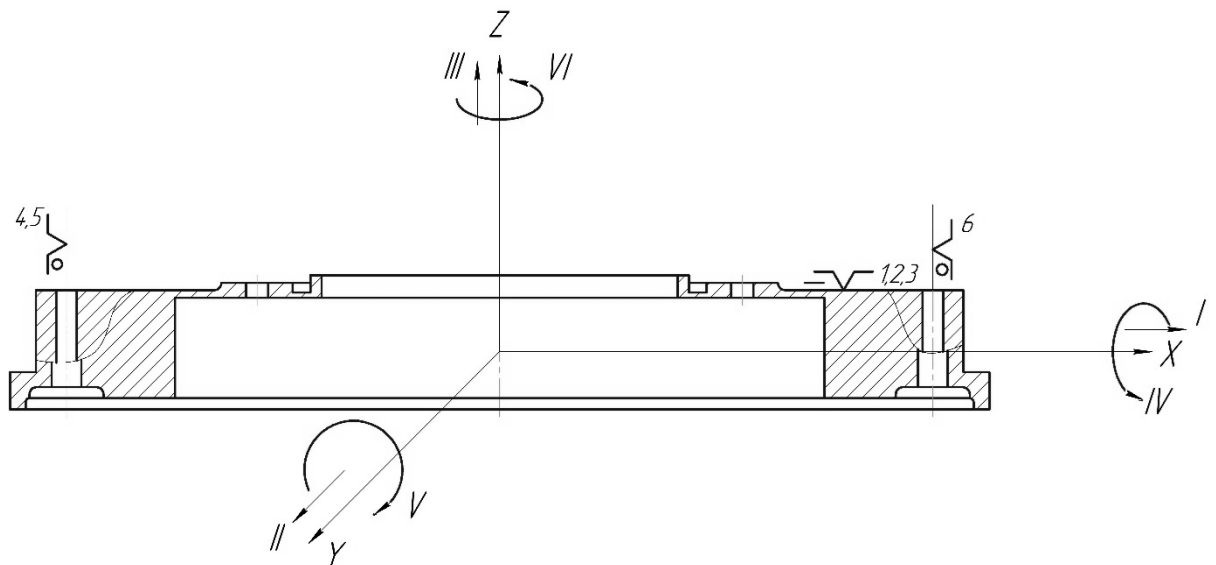


Рисунок 1.4 – Базування деталі в вузлі

						ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			11

Таблиця 1.2 - Таблиця відповідності

Зв'язки	Ступені вільності	Назви баз
1,2,3	III, IV, V	Встановлювальна
4,5	I, II	Подвійна опорна
6	VI	Опорна

Таблиця 1.3 – Матриця зв'язків

X,y,z/l, α	X	Y	Z	Назви баз
l	0	0	1	Встановлювальна
α	1	1	0	
l	1	1	0	Подвійна опорна
α	0	0	0	
l	0	0	0	Опорна
α	0	0	1	

Проаналізувавши матриці робимо висновок про те, що деталь в вузлі буде позбавлена п'яти ступенів вільності, $\Sigma=3+2+1=6$ ступенів.

Таблиця 1.4 – Характеристика поверхонь деталі «Кільце»

Номер поверхні	Опис поверхні
1	Циліндрична внутрішня поверхня, яка виконує функціональне призначення прохідного каналу.
10, 11	Вільна поверхня
2, 6, 8, 12, 15, 17	Тореці деталі, слугують для базування інших деталей, Ra=6,3мкм ДКБ
3, 16,	Циліндричні поверхні, ОКБ, по даних поверхнях базується труба, Ra=6,3 мкм.
4	Карман, ДКБ, з допомогою цієї поверхні деталь базується в трубі, Ra=6,3 мкм.
5	Отвір Ø5,5 мм для базування кільця у вузлі, Ra=3,2 мкм, ОКБ
7	Зовнішня поверхня, для базування труби, Ra=6,3 мкм, ДКБ

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата	ТМ 20510010 - ПЗ					

Продовження таблиці 1.4

Номер поверхні	Опис поверхні
9	Циліндрична базова поверхня, ОКБ, по даній поверхні базується вилка опори, Ra=50 мкм.
13	Внутрішня циліндрична поверхня, слугує для базування інших деталей.ДКБ, Ra=50 мкм

Поверхні 10,11 - вільні, і відповідно до технічних вимог деталі допуски на дану категорію розмірів призначаються за 14-го квалітету точності (ДСТУ ISO 286-2:2002) та виконані з шорсткістю Ra = 50 мкм.

Висновок: Кондиціонер необхідний для життєзабезпечення людей на борту літака. Кільце входить до складу трубопроводу та необхідне для з'єднання магістралі кондиціонеру.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Підпись	Дата		13

2 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ТА ВИЯВЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗАДАЧ ПРИ ВИГОТОВЛЕНІ ДЕТАЛІ

Технічні вимоги для виготовлення деталі визначаються її функціональним та службовим призначенням. Згідно з аналізом робочого креслення є можливість стверджувати, що наявних перетинів і проєкцій в досталь, вони розміщені відповідно до існуючих стандартів. На всіх поверхнях зазначені вихідні дані: розміри, їх точність і шорсткість, а також вказані необхідні технічні вимоги для виготовлення деталі.

Очевидно, що креслення виконане, згідно, ЕСКД і повністю відповідає чинним стандартам.

Деталь «Кільце» є типовим представником деталей типу кільце, виготовляється з алюмінієвого сплаву Д16Т ДСТУ ISO 209-1:2002

Відповідно до ДСТУ ISO 209-1:2002 хімічний склад, механічні та фізичні властивості представлені в таблиці 2.1 та 2.2.

Матеріали замітники: алюмінієвого сплаву АЛ9 ДСТУ 2839-94.

Таблиця 2.1 – Хімічний склад сплаву Д16Т ДСТУ ISO 209-1:2002, у відсотках

Fe	Si	Mn	Cr	Ti	Al	Cu	Mg	Zn	Добавок
до 0,5	до 0,5	0,3-0,9	до 0,1	до 0,15	90,9-94,7	3,8-4,9	1,2-1,8	До 0,25	0,15

Таблиця 2.2 – Механічні властивості сплаву Д16Т ДСТУ ISO 209-1:2002

Сортамент	Размер	σ_b	σ_T	δ_5	ψ	КСУ
-	мм	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²
Плита, ГОСТ 17232-99	Ø 8-300	390-410	275-295	8-10	40	420

Після аналізу деталі за застосованим матеріалом важливо відзначити, що сплав Д16Т демонструє задовільну оброблюваність. Використання більш дорогого матеріалу не є доцільним, оскільки це призведе до збільшення вартості виготовлення деталі. Основною причиною руйнування матеріалу для даної деталі є постійні змінні навантаження. Тому використаний матеріал, що має відповідні механічні властивості, є обґрунтованим для умов експлуатації.

Д16Т - матеріал, котрий не підлягає корозії тому агресивна робоча среда, котра діє на деталь, не призведе до негативних наслідків

Технічні вимоги, які пред'являються конструктором до деталі «Кільце», піддаються аналізу

Матеріал заміник: АЛ9 ДСТУ 2839-94. Оскільки дана деталь має велику відповідальність і піддаватиметься навантаженням під час роботи, конструктор передбачив використання конкретного матеріалу. Цей матеріал повинен відповідати заданим механічним властивостям і вимогам, оскільки його невідповідність може призвести до руйнування будь-якого іншого матеріала. Порівняно з основною сталлю можна зазначити, що вони мають приблизно однакові механічні характеристики, що робить їх взаємозамінними.

Аналізуючи точність та якість поверхонь даної деталі, можемо прийти до висновку, що її функціональне призначення прямо пов'язане з якістю основних поверхонь. Ці поверхні витримують навантаження або виступають як безпосередньо виконавчі поверхні.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Аналіз додаткових технічних вимог, пред'явлені конструктором до деталі «Кільце»:

- Не зазначені зовнішні радіуси скруглення для лиття $R=2\text{мм}$.
- Не зазначені на кресленні граничні відхилення розмірів оброблюваних поверхонь по ОСТ1 00022-80, що відповідає ДСТУ 2.307:2013.
- Маркувати та клеймувати по ОПИ 63-06, призначений для ідентифікації деталі.
- *- Розмір для довідок;
- ** - Розмір забезпечується інструментом.

Висновок:

Після аналізу креслення деталі, технічних вимог поданих конструктором, створили висновок, що до деталі пред'явлені високі вимоги як по точності, якості, допусків форми та розміщення поверхонь .

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

3 ВИЗНАЧЕННЯ ТИПУ ТА ФОРМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИРОБНИЦТВА

При проектуванні й аналізі технологічного процесу механічної обробки деталі "Кільце" важливо враховувати тип виробництва. Згідно з ГОСТ 3.1108-74, тип виробництва визначається коефіцієнтом закріплення операцій $K_{з.о}$, який відображає відношення операцій, що виконуються підвіділом протягом місяця, до числа робочих місць. Розрахунки коефіцієнта закріплення операцій проводяться відповідно до заводських норм штучно-калькуляційного часу, специфічних для операцій механічної обробки деталі, з використанням відповідних методик.

1. Визначимо кількість потрібного устаткування:

$$m_p = \frac{N_p \cdot T_{шт}}{60 \cdot F_d \cdot \eta_{з.н}}, \quad (3.1)$$

де $N_p = 300$ шт. – річний обсяг випуску деталей відповідно до завдання на проектування;

$T_{шт}$ – штучний час операції, хв.;

$F_d = 4015$ годин – дійсний річний фонд часу роботи устаткування;

$\eta_{з.н} = 0,8$ – табличний коефіцієнт завантаження устаткування (для дрібносерійного виробництва).

Проміжні розрахунки зручно представити у вигляді таблиці 3.1.

Технологічний процес виготовлення деталі «Кільце» включає 5 механічних операцій.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

Таблиця 3.1 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій

№ операції	Найменування операції	T _{ш-к} , хв	m _p , шт.	P, шт.	η _{з.ф.}	О
015	Фрезерна	27,61	0,04	1	0,04	21
020	Токарна з ЧПК	37,9	0,05	1	0,05	16
030	Фрезерна з ЧПК	21,8	0,03	1	0,03	27
045	Токарна з ЧПК	17,5	0,02	1	0,02	40
050	Комплексна на оброблювальних центрах з ЧПУ	6,75	0,01	1	0,01	80
		111,56	-	5	-	184

Визначимо кількість необхідного устаткування для операцій за вище зазначеною формулою. Так, для токарної операції №1 маємо:

$$m_p = \frac{300 \cdot 27,61}{60 \cdot 4015 \cdot 0,8} = 0,0429$$

Округливши вираховане значення до цілих маємо – P = 1 верстат.

Так само визначаємо кількість потрібного обладнання для інших операцій.

2. Для всіх операцій обчислюємо значення фактичних коефіцієнтів завантаження робочих місць за формулою [2]:

$$\eta_{з.ф} = \frac{m_p}{P}. \quad (3.2)$$

Для операції №1 маємо: $\eta_{з.ф} = 0,0429 / 1 = 0,0429$.

3. Кількість операцій, виконуваних на робочому місці, визначимо за формулою [2]:

$$O = \frac{\eta_{з.н.}}{\eta_{з.ф.}} \quad (3.3)$$

Для операції №1 маємо – $O = 0,8 / 0,043 \approx 18,6$.

4. Обчислюємо суми значень Р і О по всіх механічних операціях, обчислюємо значення коефіцієнт закріплення операцій [2]:

$$K_{з.о} = \Sigma O / \Sigma P = 111,56 / 5 \approx 22,312.$$

Розраховане значення коефіцієнта ($20 < K_{з.о} < 40$) відповідає дрібносерійному типу виробництва.

Коротка характеристика обраного типу виробництва.

При дрібносерійному виробництві вироби виготовляються партіями або дрібними серіями, що складаються з однотипних, однакових за конструкцією та розмірами виробів, які запускаються у виробництво одночасно. Основною ідеєю цього типу виробництва є виготовлення всієї партії (серії) цілком як у процесі обробки, так і на етапі збірки.

Дрібносерійний тип виробництва визначається обмеженою номенклатурою виробів, які виготовляються періодично повторюваними партіями та мають великий обсяг випуску. Коефіцієнт закріплення операцій у цьому типі виробництва знаходиться в діапазоні від 20 до 40.

Для реалізації дрібносерійного виробництва використовується різноманітне обладнання, таке як універсальні та спеціалізовані верстати. Також широко застосовуються верстати з числовим програмуванням (ЧПУ), оброблювальні центри та гнучкі автоматизовані системи, які базуються на

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

верстатах із ЧПУ та пов'язаних транспортних пристроях, що керуються електронними обчислювальними системами. Розташування обладнання визначається технологічними групами з урахуванням основних вантажопотоків в цеху та специфіки окремих робочих зон.

Технологічна оснастка в основному є універсальною, а велике поширення має універсально-збірна, що дозволяє значно підвищити коефіцієнт оснащеності дрібносерійного виробництва.

У якості вихідних заготовок використовують гарячий і холодний прокат, лиття в землю і під тиском, точне лиття, поковки і точні штамповки. Точність досягається за допомогою автоматизованих методів вимірювання розмірів та пробних проходів з частковим застосуванням розмітки для складних корпусних деталей.

Рівень кваліфікації робітників у дрібносерійному виробництві вище, ніж у масовому, але нижче, ніж у одиночному. Окрім робітників-універсалістів і наладчиків, які працюють на складному універсальному обладнанні, також використовуються робітники-оператори, які працюють на настроєних верстатах.

Дрібносерійне виробництво є найбільш поширеним видом виробництва в загальному і середньому машинобудуванні. До цього виду виробництва відносяться:

- верстатобудування;
- насособудування;
- виробництво компресорів;
- виробництво устаткування для лісової промисловості;
- виробництво обладнання для комунального господарства;
- транспорту і т.д.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
						20
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Як видно дана галузь присутня в переліку і вибір типу виробництва даної деталі цілком обумовлюється.

Дрібносерійне виробництво характерне тим, що за всіма робочими місцями відповідно до ДСТУ 3.1128:2014 закріплено від 21 до 40 операцій. Кількість деталей в партії для одночасного запуску допускається визначати спрощеним способом за формулою [2]:

$$N_n = \frac{N_p \cdot a}{259}, \quad (3.4)$$

де a – періодичність запуску у днях.

Рекомендується така періодичність запуску виробів: 3, 6, 12, 24 дні. Обираємо $a = 24$ дні.

$$N_n = \frac{300 \cdot 24}{259} = 27,79 \text{ шт.},$$

приймаємо $n_{\text{зап}} = 28$ шт.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

4 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОСТІ КОНСТРУКЦІЇ ДЕТАЛІ

Показники технологічності можна поділити на якісні і кількісні. Якісні показники оцінюють технологічність деталі загалом на основі досвіду виконавця. До цих показників відносяться: матеріал деталі, допуски щодо форми та розміщення, геометрична форма, установка в верстаті (базування та закріплення), розміщення розмірів, можливість застосування передових методів обробки поверхонь.

Наприклад, деталь "Кільце" виготовлена з алюмінієвого сплаву Д16Т, який, однак, не є широко використовуваним в машинобудуванні, тому вибір цього матеріалу може не бути оптимальним з точки зору технологічності. «Кільце» має 17 поверхонь (рисунок 4.1).

Загальною деталлю є технологічною, але також є і нетехнологічні елементи, такі як:

- 1) перепади діаметрів, найбільший діаметр 264 мм, а найменший 102 мм;
- 2) між поверхнями 17 та 8 товщина стінки становить 3мм;
- 3) позиційний допуск розташування отворів 5;

Допуски форми розташування поверхонь деталі «Кільце»:

співвісність та циліндричність, перпендикулярність, симетричності, що роблять її не технологічною.

Найточнішими поверхнями деталі є $\text{Ø}102\text{e}8$, $\text{Ø}111,6\text{H}11$, $2,6\text{H}11$. Найменша шорсткість на поверхні 5 вона має шорсткість Ra 3,2, та поверхні 3,4,6,7,8,12,15,16 та 17 мають шорсткість Ra 6,3.

Деталь технологічна та має оцінку «задовільно».

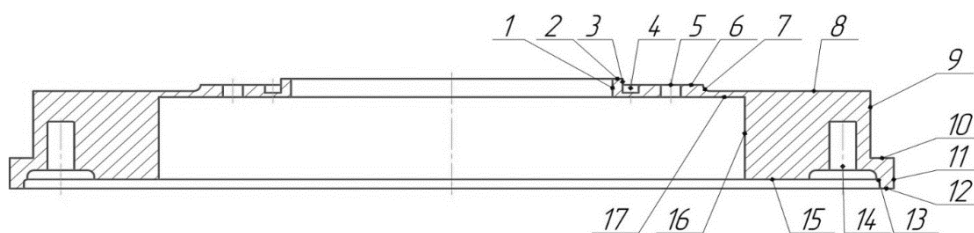


Рисунок 4.1 – Поверхні деталі «Кільце»

						ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			22

5 ВИБІР СПОСОБУ ОТРИМАННЯ ЗАГОТОВКИ ТА РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО НЕЇ

Для зменшення витрат матеріалів та трудомісткості механічної обробки, заготовка повинна максимально відповідати конфігурації деталі. Такий підхід знижує трудомісткість виготовлення і загальну собівартість. Заготовка повинна мати форму, що дозволяє проводити обробку за допомогою мінімальної кількості установок і ріжучого інструменту. Матеріал заготовки має бути без тріщин, рихлостей або розшарувань.

Для виготовлення даної деталі рекомендується розглянути такі методи:

- лиття в піщано-глинисту форму;
- лиття під тиском.

Основаючись на конфігурації та технічних вимогах креслення, використання лиття під тиском є доцільним варіантом.

Вихідні дані для розрахунку припусків:

- матеріал заготовки - алюмінієвий сплав Д16Т ДСТУ ISO 209-1:2002;
- маса деталі - 1,68 кг.

Призначаємо припуски і граничні відхилення згідно ДСТУ 8981:2020:

- Ø96 мм - розмір заготовки Ø95,1±0,36 мм;
- Ø197 мм - розмір заготовки Ø196,1±0,36 мм;
- Ø264 мм - розмір заготовки Ø265±0,5 мм;
- L25 мм - розмір заготовки 24,3±0,2 мм;
- L32 мм - розмір заготовки 32,8±0,28 мм.

Коефіцієнт використання заготовки:

$$K_3 = \frac{m_d}{m_3} \geq 0,7, \quad (5.1)$$

де $m_d = 1,68$ - маса деталі, кг;

$m_3 = 2,82$ - маса заготовки, кг;

0,7 - рівень технологічності ЄСТПВ.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

$$K_3 = \frac{1,68}{2,82} = 0,6$$

$K_3 \leq 0,7$ - технологічно можемо пояснити це тим, що заготовка виготовляється доволі точним способом - лиття під тиском.

Таблиця 5.1- Розрахунок розмірів виливка

Номинальний розмір елемента деталі, мм	Припуск на сторону, мм	Допустимі відхилення розмірів заготовки, мм	Остаточний розмір елемента заготовки, мм
Ø96	0,9	±0,36	Ø95,1±0,36
Ø197	0,9	±0,36	Ø196,1±0,36
Ø264	1,0	±0,5	Ø265±0,5
24	0,7	±0,2	24,3±0,2
32	0,8	±0,28	32,8±0,28

Згідно всього вище перерахованого - заготовку отримуємо литтям під тиском, так як цей метод лиття дозволить зменшити собівартість заготовки та дотримаємося технічних вимог до заготовки.

Технічні вимоги:

1. Лиття під тиском матеріалу Д16Т Т4 ОСТ1 90021-92, група контролю 2.
2. Незазначені зовнішні радіуси R2 мм.
3. Незазначені радіуси сполучення R3 мм.
4. Незазначені зовнішні ухили за ДСТУ 8981:2020, клас точності Лт-6.
5. Маркувати і таврувати на бірці за ОПІ 63-06.

Метод лиття під тиском - заливання розплавленого матеріалу в металеву форму з підвищеним тиском від 30 до 100 МПа (макс. 490 МПа) прес-поршня, що переміщається в камері пресування, заповненої розплавом та має такі характерні особливості:

- сфера застосування це серійне виробництво;
- сфера використання виготовлення відливок кольорових металів складної конфігурації з тонкими стінками масою до 45 кг;
- матеріал заготовки – алюмінієвий сплав Д16Т;
- висока якість поверхні (Ra (0,8 - 3,2) мкм для алюмінієвих сплавів) ;
- висока точність розмірів вилівка (3-7 класи точності) ;
- маса від декількох грам до 30 кг;
- типові деталі - шестерні, корпуси, деталі авто (карбюратор), сантехнічне обладнання, флянці, кільця, деталі літаків, ДВЗ, побутових приладів, комп'ютерів;

Переваги:

- самий високопродуктивний спосіб;
- можливість отримання складних виливків з малою товщиною (до 1 мм) ;
- низька шорсткість поверхні, отже, зменшується механічна обробка виливків на 90-95%;
- висока точність геометричних розмірів;
- дрібнозерниста структура;
- можлива повна автоматизація процесу виготовлення заготовок;
- багаторазове використання прес-форм;
- повне виключення формувальних матеріалів;

Недоліки:

- обмеження номенклатури отримання виливків за розмірами і масою;
- обмежена товщина вилівки (розплав рівномірний твердий, якщо виріб тонкий) ;

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

- висока вартість прес-форми, складність її виготовлення;
- наявність газоповітряної пористості;
- обмежена складність конфігурації виливки;

Розраховуємо собівартість лиття під тиском за формулою:

$$S_{ЗАГ} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_m \cdot K_c \cdot K \cdot K_B \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000}, \quad (5.2)$$

де $C_i = 145000$ грн – базова вартість однієї тони матеріалу, грн.

$Q = 2,80$ кг – маса заготовки;

$q = 1,67$ кг – маса готової деталі;

$K_t = 1$ – коефіцієнт враховуючий точність способу лиття;

$K_m = 5.1$ - коефіцієнт враховуючий властивості матеріалу;

$K_{II} = 1$ - коефіцієнт враховуючий групу серійності;

$K_H = 0,89$ - коефіцієнт враховуючий групу складності;

$K_B = 1$ - коефіцієнт враховуючий масу виливка;

$S_{отх} = 40000$ грн – ціна однієї тони відходів.

$$S_{заг} = \left(\frac{145000}{1000} \cdot 2,8 \cdot 1,2 \cdot 5,1 \cdot 0,89 \cdot 1 \cdot 1 \right) - (2,8 - 1,67) \cdot \frac{40000}{1000} = 2166 \text{ (грн)}$$

Собівартість заготовки лиття в піщано-глинисту форму розраховуємо за формулою:

$$S_{ЗАГ} = \left(\frac{C_i}{1000} \cdot Q \cdot K_t \cdot K_m \cdot K_c \cdot K \cdot K_B \right) - (Q - q) \cdot \frac{S_{отх}}{1000}$$

де $C_i = 145000$ (грн) – базова вартість однієї тони матеріалу, (грн).

$Q = 4,20$ кг – маса заготовки;

										Лист
										27
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$q = 1,67$ кг – маса готової деталі;

$K_T = 1,2$ – коефіцієнт враховуючий точність способу лиття;

$K_M = 5,1$ - коефіцієнт враховуючий властивості матеріалу;

$K_{II} = 1$ - коефіцієнт враховуючий групу серійності;

$K_H = 0,89$ - коефіцієнт враховуючий групу складності;

$K_B = 1,1$ - коефіцієнт враховуючий масу вилівка;

$S_{отх} = 40000$ (грн) – ціна однієї тони відходів.

$$S_{заг} = \left(\frac{14500}{1000} \cdot 4,2 \cdot 1,2 \cdot 5,1 \cdot 0,89 \cdot 1,1 \cdot 1 \right) - (2,8 - 1,67) \frac{40000}{1000} = 3600 \text{ (грн)}$$

Собівартість лиття в піщано-глинисту форму вища, тому вибираємо заготовку – лиття під тиском.

Річна економія одного методу в порівнянні з іншим:

$$E = (3600 - 2166) \cdot 300 = 430\,200 \text{ (грн)}$$

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

6 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ

6.1 Розрахунок припусків на механічну обробку

Здійснено розрахунки припусків і визначимо між операційні розміри мінімального припуску під час обробки поверхні $\varnothing 102e8(-0,072/-0,126)$

Поверхня $\varnothing 102e8(-0,072/-0,126)$ була оброблена на таких операціях:

- Лиття під тиском
- Токарна напівчистова
- Токарна чистова
- Токарна тонка

Вихідні дані й розрахунок проведений на ЕОМ наведений у додатку Б.

Розрахункова формула для знаходження припуску зовнішньої циліндричної поверхні має вигляд:

$$2z_{\min} = 2(R_{z_{i-1}} + T_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}), \quad (6.1)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – величина мікро нерівностей поверхні отриманої на попередній операції (переході);

T_{i-1} – глибина дефектного шару поверхні отриманої на попередній операції (переході);

ρ_{i-1} - величина просторового відхилення форми поверхні отриманої на попередній операції (переході);

ε_i - похибка на виконуваний операції (переході).

Перераховані показники є величинами табличними окрім ρ_{i-1} , яка розраховується як:

$$\rho_{\text{заг}} = 500 \text{ мкм};$$

ρ_{i-1} знаходиться в процентному відношенні від $\rho_{\text{заг}}$ тоді

									Лист
									29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

(6.2)

$$\rho_{\text{напч}} = \rho_{\text{заг}} \cdot k_y$$

де $k_y=0,04-0,06$, в залежності від переходу.

$$\rho_{\text{напч}} = 500 \cdot 0,06 = 30 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{чист}} = 500 \cdot 0,05 = 25 \text{ мкм};$$

$$\rho_{\text{тонк}} = 500 \cdot 0,04 = 20 \text{ мкм};$$

Схема розміщення припусків та допусків зображена (рисунку 6.1).

Схема графічного розміщення припусків та допусків на обробку діаметрального розміру $\phi 102e8$

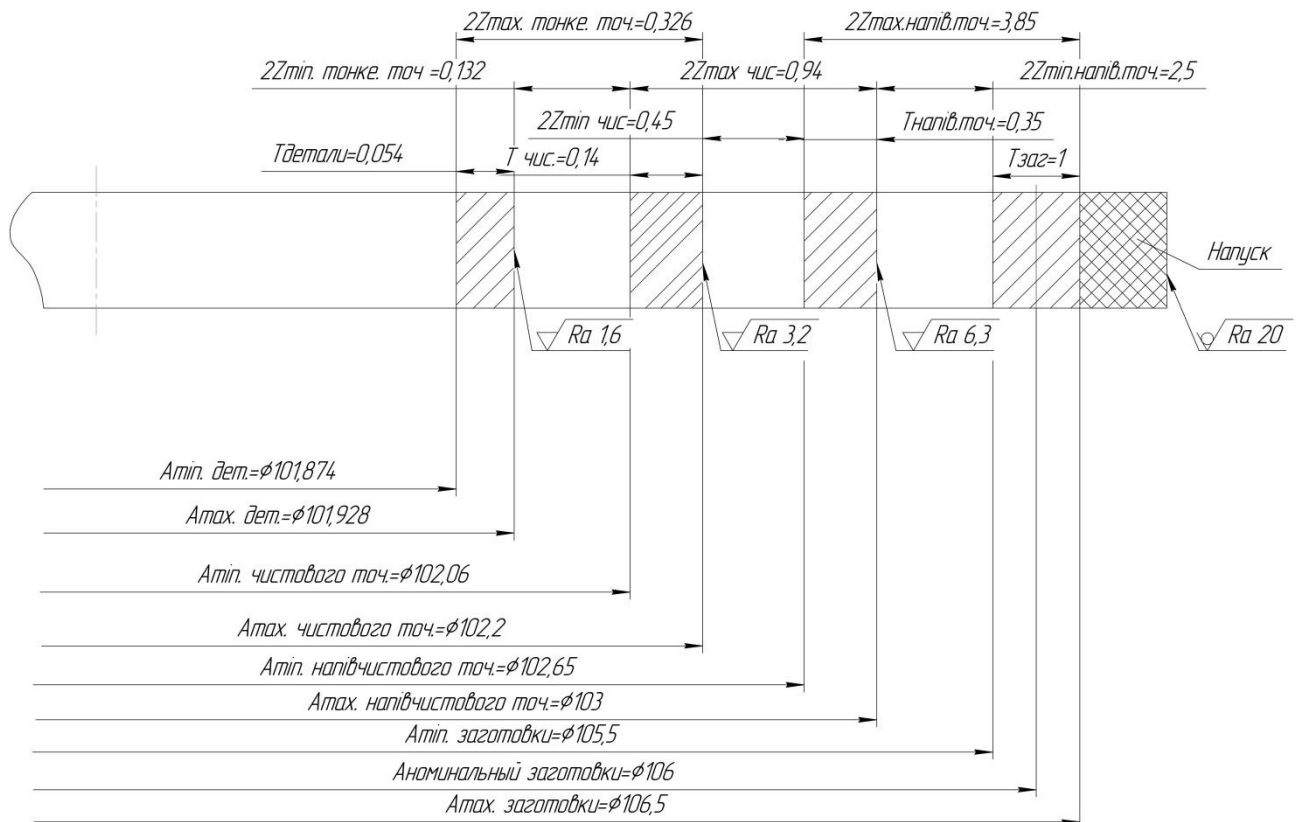


Рисунок 6.1 – Схема розміщення припусків на обробку діаметрального розміру $\phi 102e8(-0,072, -0,126)$ мм

6.2 Аналіз та обґрунтування схеми базування і закріплення заготовки

Токарна з ЧПК операція.

Обробка заготовки виконується з одного установу.

Оптимальною схемою базування є використання трьохкулачкового самоцентруючого патрона (див. рисунок 6.2). Ця схема дозволяє залишити п'ять ступенів свободи, при цьому зберігається лише один ступінь вільності - обертання навколо власної осі. За такої схеми базування заготовка має подвійну направляючу та опорну бази.

Похибка базування за лінійними розмірами дорівнює нулю, оскільки вимірювальна і технологічна бази збігаються - лівий установчий торець. Похибка базування для діаметральних розмірів також дорівнює нулю, $E_b = 0$, оскільки вісь фланцю співпадає з віссю патрону.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		31

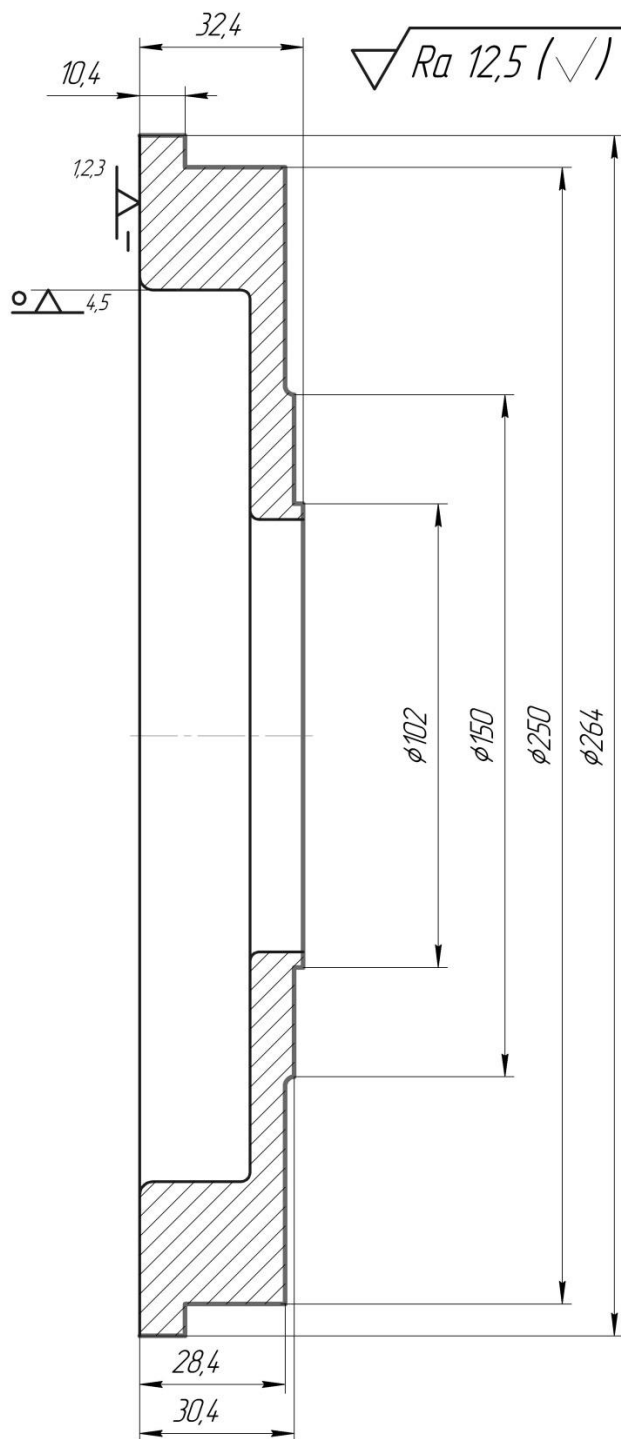


Рисунок 6.2 – Схема базування на токарній операції

Так як похибки на лінійні та діаметральні розміри рівні нулю, доцільним є використовувати саме таку схему базування.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ТМ 20510010 - ПЗ

Лист

32

Комплексна операція на вертикально оброблювальному центрі з ЧПК

Під час операції виконуємо свердління наскрізних отворів $\varnothing 5,5$ мм одним установом. Розглянемо базування на оправці, (рисунок 6.3).

Ця схема надає встановлювальну та подвійну опорні бази, «Кільце» буде полишене п'яти ступенів вільності, вілиним лишається один зв'язок обертання навколо власної вісі заготовки.

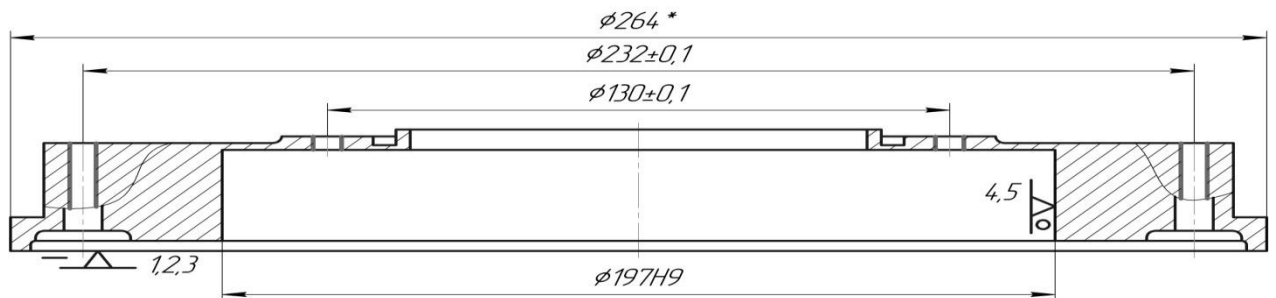


Рисунок 6.3 – Схема базування заготовки на жорсткій оправці

Похибка базування на глибину отворів рівна нулю, тому що всі отвори свердляться наскрізь з перебігом інструмента в осьовому напрямку напрямку ($E_6=0$).

Похибка базування для розміру $\varnothing 130$ та $\varnothing 232$ мм буде залежати від максимального зазору посадки з зазором, тоді:

$$E_{6\circ 0,2} = \varnothing_{197h11} + \varnothing_{197H12} + 2\Delta = 0,2 + 0,21 + 0,065 = 0,475 \text{ мм} \quad (6.3)$$

де $\Delta = S_{\min}$ – мінімальний зазор посадки H12/h11

\varnothing_{197h11} – допуск на розмір $\varnothing 197h11$

\varnothing_{197H12} – допуск на розмір $\varnothing 197H12$

Дослідимо базування «Кільця» на оправці (подвійна опорна база) (рисунок 6.4), де схема містить рівноцінну до попередньої подвійну опорну базу, але різні встановлювальні бази. Похибка базування будуть аналогічними до першої схеми базування.

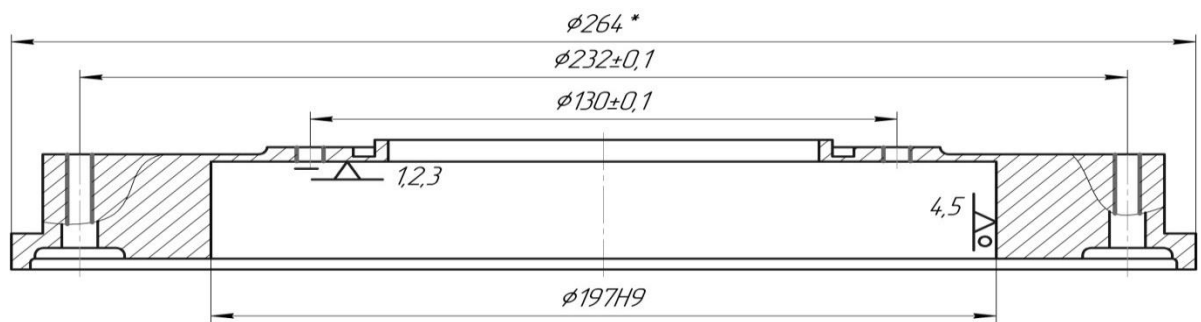


Рисунок 6.4 – Схема базування заготовки на жорсткій оправці

Розглядаючи дані схеми надамо перевагу другій схемі (рисунок 6.4) базування.

6.3 Обґрунтування вибору металорізальних верстатів

Токарна з ЧПУ

На операції з одного установу оброблюють заготовку.

Порівнявши верстати моделей 16К20Т2 та CHL -2140 обираємо той що підходить за таким технологічним характеристиками:

- технологічні методи обробки поверхонь - при обробці поверхонь було розглянуто перелік верстатів, виконавши аналіз, був обраний токарний верстат з ЧПУ моделі CHL-2140, так як він має переваги в продуктивності та технологічності.

Характеристика верстата CHL-2140 наведені у таблиці 6.1

Таблиця 6.1 - Основні технічні характеристики токарний верстат з ЧПУ моделі CHL-2140

Характеристика	Значення
Найбільший діаметр оброблюваний над станиною, мм	533 мм
Найбільший діаметр оброблюваний над супортом, мм	305 мм
Найбільша довжина оброблюваної заготовки, мм	620 мм
Число швидкостей шпинделя	22
Максимальна частота обертання шпинделя	2000 об/хв
Кількість встановлювальних інструментів	4
Прискорене переміщення по осі X, м/хв	5
Розмір інструмента для зовнішньої обробки, мм	25x25
Прискорене переміщення по осі Z, м/хв	7,5
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	7,5
Габаритні розміри, мм	2950x2200x2240

Комплексна операція на вертикально оброблювальному центрі з ЧПУ

Для обробки отворів розглядались два вертикальні оброблювальні центри - VMC 550 і MCFV 1060S. Після аналізу був обраний вертикальний оброблювальний центр моделі MCFV-1060S. Основні моменти вибору включають більшу робочу поверхню столу цього верстата і наявність системи ЧПУ. Використання цього обладнання дозволить значно зменшити час обробки і, відповідно, знизити собівартість деталі. Також важливою перевагою є можливість уникнути людського фактору завдяки автоматизованому виведенню ріжучого інструменту у вихідні точки, що усуває потребу в попередніх розмічувальних операціях.

Вибір обладнання був зроблений з урахуванням таких технологічних ознак:

- потужність двигуна: верстат даної моделі оснащений 10 кВт двигуном, якого достатньо для свердління отворів;
- габарити робочого простору: дане обладнання має стіл 1270x590x760 мм, що цілком задовольняє наші потреби;

В таблиці 6.2 наведені порівняння технічних характеристик верстатів.

Таблиця 6.2 - Порівняння технічних характеристик верстатів

<i>Характеристика</i>	<i>Значення</i>	
	MCFV-1060S	VMC 550
Робоча зона, мм	1270x590x760	300x800x300
Потужність двигуна, кВт	10	5,5
Кількість осей, шт	4	3
Точність позиціювання, мм	0,01	0,01
Максимальна подача, мм/хв	40000	10000
Максимальна робоча подача, мм/хв	15000	10000
Частота обертів шпинделя, об/хв	10000	8000
Живлення, В	380	380
Маса верстату, кг	6700	3000
Габаритні розміри верстата, мм	2750x2120 x3150	2100x1950 x2200

6.4 Обґрунтування вибору верстатних пристроїв, металорізального та вимірювального інструментів

Токарна з ЧПУ

Під час токарної операції буде виконуватися обробка заготовки одним установом.

При токарній обробці буде використовуватись:

- самоцентруючийся трьохкулачковий патрон JN10, котрий надає можливості реалізувати схему базування.
- обираємо токарний прохідний різець DDJNR2525M15 з пластиною із твердого сплаву та захисним покриттям, який є загально прийнятим закордонним аналогом швидкорізальної сталі P6M5 DCMT 070202-FT виробництва SAU, який виконує обробку як циліндричних поверхонь так і торців. Розмір державки 25x25.

При виборі контрольно-вимірювальних інструментів важливими є трудомісткість та точність вимірювань, тип виробництва. У дрібносерійному виробництві пріоритет слід віддати універсальним вимірювальним засобам;

- для замірювання точності обробки діаметральних та лінійних розмірів використаємо штангенциркуль ШЦ-I-300-0,05, ДСТУ EN ISO 13385-1:2018;
- зразки шорсткості по ГОСТ 9378-93.

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТМ 20510010 - ПЗ					

6.5 Розрахунки режимів різання

Токарна з ЧПУ

Розрахуємо точіння $\varnothing 250$ мм.

Вихідні дані:

- оброблюваний матеріал – алюмінієвий сплав Д16Т з $\sigma_B=400$ МПа, заготовка - виливок, обробка різцем з пластинкою Р6М5. Модель верстата СНЛ-2140, вимірювальний інструмент – штангенциркуль ШЦ-І-300-0,05, ДСТУ EN ISO 13385-1:2018.

Глибина різання рівна:

$$t = \frac{D - d}{2} = \frac{265 - 250}{2} = 15 \text{ мм},$$

приймаємо п'ять проходів $t = 3$ мм .

Подача складатиме $S = 0,5$ мм/об (з урахуванням поправочних коефіцієнтів)

$K_{SY} = 0,9$ – схема установки;

$K_{SP} = 0,9$ – стан поверхні;

$K_{Sd} = 0,9$ – перетин державки;

$K_{S\phi} = 1,0$ – геометрія різця;

$K_{SN} = 1,0$ – міцність різальної частини;

$K_{SM} = 2,0$ – механічні властивості оброблюваного матеріалу.

$$S = S_{\text{доп}} \cdot K_{Sd} \cdot K_{SN} \cdot K_{SM} \cdot K_{SY} \cdot K_{SP} \cdot K_{S\phi} = 0,5 \cdot 0,9 \cdot 1,0 \cdot 2,0 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 1,0 = 0,73 \text{ мм/об},$$

Вибираємо $S=0,73$ мм/об .

Стійкість ріжучого інструменту $T=25$ хв.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

Рахуємо швидкість різання за формулою:

$$V = \frac{C_v}{T^{m_t} \cdot s^x \cdot y} K_v, \quad (6.4)$$

де $C_v=485$, $x=0,12$, $y=0,50$, $m=0,28$, $K_v=0,8$ – коефіцієнти і показники у формулі швидкості різання;

З урахуванням показників рахуємо швидкість різання:

$$V = \frac{485}{25^{0,28} \cdot 3^{0,12} \cdot 0,73^{0,28}} 0,8 = 150 \text{ м/хв.}$$

Обчислюємо частоту обертання шпинделя по формулі:

$$n_{ш} = \frac{1000V}{\pi \cdot D} \quad (6.5)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 150}{3,14 \cdot 264} = 225 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо значення обертання шпинделя $n = 225$ об/хв.

Обчислимо силу різання за формулою:

$$P_z = 10C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot K_p \quad (6.6)$$

де $C_p = 40$, $x = 1,0$, $y = 0,75$, $n = 0$ - значення коефіцієнтів й показників у формулі сили різання при точінні;

$K_p=1$ - коефіцієнт враховуючий фактичні умови обробки,

$$P_z = 10 \cdot 40 \cdot 3^{1,0} \cdot 0,73^{0,75} \cdot 150^0 \cdot 1,0 = 947,7 \text{ Н.}$$

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Потужність різання рахуємо за формулою:

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{947,7 \cdot 188,5}{1020 \cdot 60} = 2,92 \text{ кВт.}$$

Потужність різання менше потужності верстата з урахуванням ККД (0,8) (2,92 < 7,5 • 0,85 = 6,4 кВт), згідно розрахунків обробка можлива.

Розраховуємо основний час по формулі:

$$T_o = \frac{L}{n \cdot S} \cdot i \quad (6.7)$$

де $L = 32 + 5 = 37$ мм - довжина обробки з урахуванням врізання;

$n = 225$ об/хв - частота обертання шпинделя;

$S_m = 0,73$ мм/об - подача;

$i = 5$ – кількість проходів,

$$T_o = \frac{37}{225 \cdot 0,73} \cdot 5 = 1,12 \text{ хв.}$$

Для інших переходів режими різання заносимо до таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Параметри режимів обробки при точінні

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки					L,	T _o ,	Вид режиму
	t, мм	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i			
Точити ø264	0,5	0,73	225	187	1	37	0,22	аналітичний
Точити ø250	3	0,73	180	150	5	37	1,4	аналітичний
Точити ø150	1,5	0,73	200	164	17	7	1,77	аналітичний
Всього							3,39	

Комплексна операція на вертикально оброблювальному центрі з ЧПУ
Виконаємо розрахунки аналітичним методом свердління отвору Ø5,5 мм.

Вихідні данні:

- оброблюваний матеріал сплав алюмінієвий Д16Т $\sigma_B=400$ МПа, матеріал ріжучої частини свердла Р6М5, ЗОР – емульсія, заготовка попередньо оброблена, верстат – вертикально оброблювальний центр NCFV 1060S

1. Глибина різання рівна $t = \frac{5,5}{2} = 2,75$ мм.

2. Подача - $S_T = 0,11$ мм/об, з урахуванням коефіцієнтів

$K_o=0,5$ – коефіцієнт на якість поверхні;

$K_{ж}=0,75$ – коефіцієнт жорсткості системи ТС;

$K_l=0,7$ – коефіцієнт глибинм;

$K_i=0,6$ – коефіцієнт враховуючий матеріал ріжучого інструменту, тоді-

$S = 0,11 \cdot 0,7 \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 0,6 = 0,029$, беремо $S_{пр} = 0,03$ мм/об.

3. Стійкість ріжучого інструменту $T = 15$ хв.

Знаходимо швидкість різання за формулою

$$V = \frac{C_v D^g}{T^m S^y} K_v, \quad (6.8)$$

де $C_v = 3,5$, $g = 0,5$, $y = 0,45$ $m = 0,12$ – коефіцієнти та показники в формулі швидкості різання ;

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість різання, враховуючий фактичні умови різання та знаходиться за формулою :

$$K_v = K^{mv} K^{lv} K^{lv}, \quad (6.9)$$

$K^{lv} = 0,9$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий поверхню заготовки

									Лист
									42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

$K_{mv} = 1,0$ – поправочний коефіцієнт, враховуючий інструментальний матеріал.

де $K^{mv} = 1,0$ - поправочний коефіцієнт, на оброблюваний матеріал

Отже:

$$K_v = 0,9 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,9$$

Враховуючі показників знаходимо швидкість різання:

$$V = \frac{36,3 \cdot 5,5^{0,25}}{15^{0,125} \cdot 0,03^{0,55}} \cdot 0,9 = 27,2 \text{ м/хв.}$$

Знайдемо частоту обертання шпинделя згідно формули (6.5)

$$n = \frac{1000 \cdot 27,2}{3,14 \cdot 5,5} = 1578 \text{ об/хв.}$$

Обираємо $n^{np} = 1578$ об/мин.

Враховуючі прийняте значення вираховуємо фактичну швидкість різання по формулі:

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (6.10)$$

$$v = \frac{3,14 \cdot 5,5 \cdot 1600}{1000} = 27,6 \text{ м/хв.}$$

1. Знайдемо крутний момент по формулі:

$$M_{кр} = 10 C_M D^4 S^y K_p, \quad (6.11)$$

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		43

де $C_m = 0,005$, $q = 2,0$, $y = 0,8$ – коефіцієнти та показники в формулі;

K_p – поправочний коефіцієнт враховуючий вплив оброблюваного матеріалу

$$K_p = K_{MP} = 2,75, \quad (6.12)$$

де $K_{MP} = 2,75$ – показник .

Враховуючі поправочні коефіцієнти маємо:

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,005 \cdot 5.5^{2,0} \cdot 0,03^{0,8} \cdot 2,75 = 0,25 \text{ Нм.}$$

6. Знаходимо осьове зусилля по формулі:

$$P_o = 10 C_p D^q S^y K_p, \quad (6.13)$$

де $C_p = 9,8$, $q = 1,0$, $y = 0,7$ – коефіцієнти та показники сил різання.

$$P_o = 9,8 \cdot 5.5 \cdot 0,2^{0,7} \cdot 0,63 = 48 \text{ Н.}$$

Знайдемо потужність необхідну для обробки по формулі:

$$N = \frac{M_{кр} n}{9750}. \quad (6.14)$$

$$N = \frac{0,25 \cdot 1578}{9750} = 0,4 \text{ кВт.}$$

7. Так як потужність різання менше потужності верстата, з урахуванням КПД (0,8) ($0,4 < 10 \times 0,8$ кВт), отже обробка можлива.

8. Розраховуємо основний час обробки отворів $\varnothing 5,5$ розташованих на $\varnothing 232$ по формулі:

$$T_o = \frac{L_p}{S \cdot n} \quad (6.15)$$

$$l_p = l + l_1' + l_2'' \quad (6.16)$$

де $l_1' = 0,4 D = 2,2$ мм, беремо 3 мм, при подвійному врізуванні свердла;
 $l_2'' = 2,5$ мм, перебіг свердла; беремо $l_2'' = 2$ мм.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		44

Тоді:

$$l_p = 3+2+28 = 33 \text{ мм}$$

$n = 1600 \text{ об/хв}$ - частота обертів шпинделя;

$S = 0,03 \text{ мм/об}$ - подача;

$$T_{01} = \frac{33}{1600 \cdot 0,03} = 0,7 \text{ хв.}$$

Вирахуємо основний час для свердління отворів $\varnothing 5,5$ розташованих на $\varnothing 130$

$$l_p = 4+3+2=9 \text{ мм}$$

$n = 1600 \text{ об/хв}$ - частота обертів шпинделя;

$S = 0,03 \text{ мм/об}$ - подача;

$$T_{01} = \frac{9}{1600 \cdot 0,03} = 0,19 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку наведені в таблиці 6.5

Таблиця 6.5 – Параметри режимів обробки на операцію

Номер і текст переходу	Параметри режимів обробки					L,	T ₀₁ , хв
	t	S, мм/об	n, об/хв	V, м/хв	i		
Свердлити $\varnothing 5,5$	2,75	0,03	1578	27,6	1	28	0,7*8
	2,75	0,03	1578	27,6	1	4	0,19*6
Всього							6,74

6.6 Технічне нормування операцій

Токарна з ЧПУ

Для дрібносерійного виробництва технічне нормування операції це визначення штучно-калькуляційного часу за формулою:

$$T_{ш-к} = \frac{T_{п.з.}}{n} + T_{шт}, \quad (6.17)$$

де $T_{шт}$ – штучний час;

$n = 24$ – кількість деталей у партії.

$T_{п.з.}$ – підготовчо-заключний час;

Рахуємо підготовчо-заключний час:

$$T_{пз} = T_{пз1} + T_{пз2}, \quad (6.18)$$

де $T_{пз1} = 5$ хв – час на наладку верстата і встановлення пристрою;

$T_{пз2} = 10$ хв – час на допоміжні прийоми.

$$T_{пз} = 5 + 10 = 15 \text{ хв}$$

Рахуємо штучний час за формулою:

$$T_{шт} = T_o + T_d + T_{об.} + T_{відп.}, \quad (6.19)$$

де $T_o = 1,72$ хв – технологічний час;

T_d – допоміжний час;

$T_{об.}$ – час обслуговування робочого місця;

$T_{відп.}$ – час, на відпочинок робітника.

Рахуємо допоміжний час:

$$T_{д} = T_{уст} + T_{з} + T_{уп} + T_{вим.}, \quad (6.20)$$

де $T_{уст} = 6$ хв – час на установку і зняття заготовки;

$T_{з} = 2$ хв – час на закріплення та відкріплення деталі;

$T_{уп} = 6$ хв – час на управління верстатом;

$T_{вим} = 3$ хв – час на вимірювання.

$$T_{д} = 6 + 2 + 6 + 3 = 17 \text{ хв}$$

Рахуємо оперативний час:

$$T_{оп} = T_{о} + T_{д} \quad (6.21)$$

$$T_{оп} = 1,72 + 17 = 18,72 \text{ хв}$$

Рахуємо час обслуговування робочого місяця:

$$T_{об} = T_{оп} \cdot 6\%, \quad (6.22)$$

$$T_{об} = 18,72 \cdot 0,06 = 1,12 \text{ хв}$$

Рахуємо час на відпочинок робітника:

$$T_{відп.} = T_{оп} \cdot 4\% \quad (6.23)$$

$$T_{від} = 18,72 \cdot 0,04 = 0,75 \text{ хв}$$

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		47

Штучний час: $T_{шт}=18,72+1,12+0,75=20,59$ хв.

Штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к}=15/28+20,59=21,2 \text{ хв.}$$

Комплексна операція на вертикально оброблювальному центрі з ЧПУ

В дрібносерійному виробництві технічне нормування операції це визначення штучно-калькуляційного часу.

Рахуємо підготовчо-заклучний час.

де $T_{пз1}=12$ хв – час на наладку верстата і встановлення пристрою;

$T_{пз2}=16$ хв – час на допоміжні прийоми.

$$T_{пз}=12+16=28 \text{ хв}$$

Рахуємо штучний час за формулою

Рахуємо допоміжний час за формулою

де $T_{уст}=3,5$ хв - час на установку і зняття заготовки вручну;

$T_{п}=0,7$ хв - допоміжний час з управління при свердлінні;

$T_{вим}=1$ хв - час на вимірювання.

$$T_{д}=3,5+0,7+1=5,2 \text{ хв.}$$

Рахуємо оперативний час за формулою

$$T_{оп}=9,8+5,2=15 \text{ хв.}$$

Рахуємо час обслуговування робочого місця

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		48

$$T_{об} = T_{оп} 5\% = 15 \cdot 0,05 = 0,75 \text{ хв. ,}$$

Рахуємо час на відпочинок робітника:

$$T_{від} = T_{оп} 4\% = 21 \cdot 0,04 = 0,6 \text{ хв.}$$

Рахуємо штучний час:

$$T_{шт} = 15 + 5,2 + 0,6 + 0,75 = 21,55 \text{ хв.}$$

Рахуємо штучно-калькуляційний час:

$$T_{шт-к} = 21,55 + 28/28 = 22,5 \text{ хв.}$$

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		49

7 ПРОЄКТУВАННЯ ВЕРСТАТНОГО ПРИСТРОЮ

Згідно з завданням проєктуємо пристосування на комплексну операцію на вертикально оброблювальному центрі з ЧПУ, на котрій обробляється шість отворів $\varnothing 5,5$ по $\varnothing 130$ та восьми отворів $\varnothing 5,5$ по $\varnothing 232$.

Уточнюючи ціль технологічної операції, основна мета полягає в досягненні високої точності розмірів під час обробки отворів на вертикальному оброблювальному центрі з ЧПУ. Оскільки операція виконується на одному установі, критично важливе точне базування заготовки в пристрої. Це необхідно для того, щоб шпиндель верстата міг точно прив'язатися до центру пристосування. Від точного базування деталі на верстатному пристрої залежатиме точність оброблюваних поверхонь.

Після аналізу креслення деталі «Кільце» роблю висновок, що до отворів не пред'являються строгі вимоги щодо точності розмірів. Під час операції виконуються обробка наступних поверхонь з такою точністю:

- $\varnothing 5,5^{+0,12}$ мм по $\varnothing 130$ та $\varnothing 232$, допуск складає $T=0,12$ мм, $ES=+0,12$ мм та $EI=0$ мм, згідно з ДСТУ ISO 286-2:2002, квалітет точності;

Точність форми.

Конструктором не вказано точність форми отриманих поверхонь, тому вказуємо їх відповідно до нормальної відносної геометричної точності

– А, згідно з ДСТУ EN ISO 13385-1:2018 (60%, або 30% для допуску циліндричності, круглості та профілю повздовжнього січення, від допуску на розмір). Відповідно зазначимо у відсотковій частині від допуску на розмір такі відхилення.

Допуск круглості й циліндричності, котрі складатимуть 30% від допуску для розміру:

- $\varnothing 5,5^{+0,12}$ мм, $T=0,12 \cdot 0,3=0,036$ мм приймаємо 36 мкм – 6 степінь точності згідно з ГОСТ 24643-81;

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ТМ 20510010 - ПЗ				

Точність розміщення поверхонь.

Допуск перекосу осі шпонкового паза на вісь штока складає 60% від допуску на розмір 8 мм, тоді $T=0,6 \cdot 0,036=0,0216$ мм, приймаємо 0,016 мм – 9 степінь точності.

Шорсткість поверхоні пазу складає $Ra=6,3$ мкм.

Вибір та обґрунтування схеми базування розписано в пункті 6.2.

Розробка та обґрунтування схеми закріплення. Аналіз структури полів збурюючих сил.

Щоб визначити взаємний вплив полів збурюючих сил і поля урівноважуючих сил будуємо графічну модель збурюючих сил у взаємозв'язку з прийнятою схемою базування (рисунок 6.2).

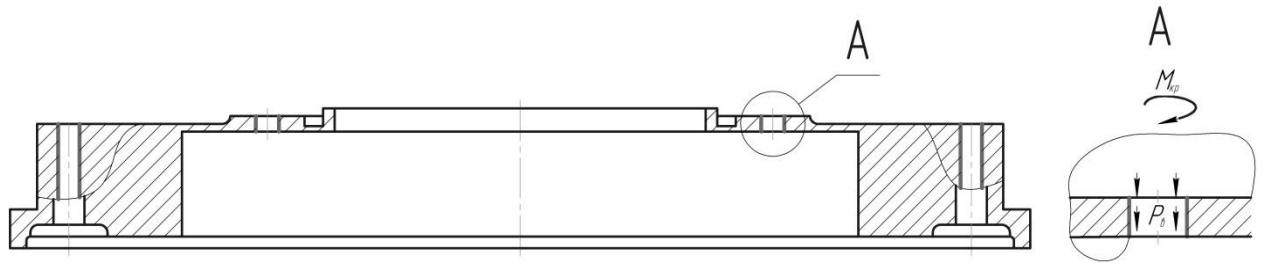


Рисунок 7.1 – Структура поля збурюючих сил

Розрахунок сил різання для пазу представлено в пункті 6.5, згідно якого $P_z = 794$ Н.

Розрахуємо величину сумарного зусилля закріплення за формулою[2]:

$$W = \frac{K \cdot M_{кр} \cdot n}{\frac{1}{3} f \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)}, \text{ де} \quad (7.1)$$

- W - сила затиску деталі;
- $M_{кр}$ - крутний момент на свердлі, кгс · мм;
- n - число одночасно працюючих свердлі;
- f - коефіцієнт тертя на робочих поверхнях затискачів (для гладких поверхонь $f = 0,25$);

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		51

– К - коефіцієнт запасу.

Рахуємо коефіцієнт запасу

$$K = K_0 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_6 \quad (7.2)$$

$K_0 = 1,5$ – коефіцієнт гарантованого запасу;

$K_1 = 1,0$ – коефіцієнт випадкових нерівностей ;

$K_2 = 1,15$ – коефіцієнт затуплення ріжучого інструменту;

$K_3 = 1,0$ – коефіцієнт збільшення сил різання при врізанні;

$K_4 = 1,2$ – коефіцієнт постійності сили закріплення;

$K_5 = 1,0$ – коефіцієнт ергономіки;

$K_6 = 1,0$ – коефіцієнт моменту повороту заготовки.

$$K = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,15 \cdot 1,0 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 2,07$$

Приймаємо $K = 2,5$.

Рахуємо крутний момент

$$M_{кр} = 10 \cdot C_M \cdot D^q \cdot s^y \cdot K_p; \quad (7.3)$$

$C_M = 0,021$; $D = 20$ мм; $s = 0,15$ мм/об; $q = 2$; $y = 0,8$;

$$K_p = K_{mp} = \left(\frac{HB}{190}\right)^n = \left(\frac{200}{190}\right)^{0,6} = 1,03;$$

$$M_{кр} = 10 \cdot 0,021 \cdot 20^2 \cdot 0,15^{0,8} \cdot 1,03 = 19 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Згідно цього:

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		52

$$W = \frac{2,5 \cdot 19 \cdot 1}{\frac{1}{3} \cdot 0,25 \cdot \left(\frac{0,46^3 - 0,29^3}{0,46^2 - 0,29^2} \right)} = 830 \text{ Н}$$

Щоб розкріпити, достатньо ходу штока 15-20 мм. Згідно цього раціональним є примінення тарільчатой резино-тканинову пневмокамеру односторонньої дії. Діаметр діафрагми визначаємо в залежності від розрахованого сумарного зусилля закріплення. Розраховане зусилля закріплення $W = 830 \text{ Н}$. Приймаємо найменший діаметр діафрагми камери - $\varnothing 125$, виходячи з цього отримуємо силу закріплення $W = 3500 \text{ Н}$.

Точностні розрахунки пристрою.

Розрахункову похибку пристрою знаходимо за формулою. Більшість складових, що входять у дану формулу, являють собою поля розсіювання випадкових величин, тому їх підсумовуємо у загальному випадку за правилом геометричного додавання.

$$\varepsilon_{\text{пр}} = T - K_T \sqrt{(K_{T1} \cdot \varepsilon_6)^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_y^2 + \varepsilon_{\text{п}}^2 + \varepsilon_{\text{зн}}^2 + (K_{T2} \cdot \omega)^2 + \varepsilon_{\text{поз}}^2} \quad (7.4)$$

Розглянемо більш докладно складові, що входять у дану формулу.

- $T_1 \text{ осі отв} = 120 \text{ мкм}$ – найбільш жорсткий допуск розташування або розміру (з тих, які одержують на даній операції)
- $K_T = 1,2$ - коефіцієнт що враховує можливий відступ окремих складових від нормального закону розподілу випадкових величин;
- $K_{T1} = 0,85$ - коефіцієнт, що враховує деяке зменшення граничного значення похибки базування;
- $\varepsilon_6 = 0$ - похибка базування (свердлимо наскрізний отвір $\varnothing 5,5$);
- $\varepsilon_3 = 0 \text{ мкм}$ - похибка закріплення
- $\varepsilon_y = 34 \text{ мкм}$ - похибка установки пристрою на верстаті

										Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						

$$\varepsilon_y = \frac{Sl}{L} = \frac{53 \cdot 232}{364} = 33,8$$

де S – максимальний зазор посадки H7/g6;

l – максимальний діаметр на якому ведеться обробка;

L – відстань між шпонками.

- $\varepsilon_{\Pi} = 0$ - похибка перекосу інструмента (відсутні постійні або змінні напрямні втулки);
- $\varepsilon_{3H} = 0$ – похибка зношування (при рівномірному зношуванні робочої поверхні оправки) ;
- $K_{T2} = 0,6$ – коефіцієнт що враховує можливість появи похибки обробки;
- $\omega = 120$ мкм - значення допуску для 12 квалітету середньої економічної точності свердління для розміру 5,5 мм;
- $\varepsilon_{noz} = 10$ мкм - похибка позиціювання (відповідно до паспорта верстата).

Тоді розрахункове значення похибки пристрою буде дорівнювати:

$$\varepsilon_{\text{пр}} = 120 - 1,2 \sqrt{0^2 + 0^2 + 34^2 + 0^2 + 0^2 + (0,6 \cdot 120)^2 + 10^2} = 76,3 (\text{мкм}).$$

З урахуванням стандартного ряду беремо допуск паралельності

$$T = 80 \text{ мкм.}$$

Вказуємо на складальному кресленні пристрою як технічну вимогу, що допуск паралельності не більше 80 мкм

Опис пристрою та принцип його роботи.

Верстатний пристрій базується на столі верстата за допомогою двох шпонок 7, які закріплюються в корпусі 3 пристрою за допомогою гвинтів 6.

До корпусу кріпиться пневмокамера 1, з іншої сторони закріплюється плита 4 гвинтами 5.

						ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата			54

Заготовка устанавлюється на плиту 4 по торцю. В верхній об'єм пневмокамери подається робоче повітря під тиском в результаті чого шток пневмокамери тягне вниз швидкознімну шайбу 2 та відбувається затискання заготовки. При скиданні повітря з системи, через глушник, пружина пневмокамери віджимає шток, знімається швидкознімна шайба, відбувається розкріплення, заготовка може бути замінена на наступну. При необхідності базові поверхні повинні бути очищені від стружки та інших елементів за допомогою стисненого повітря.

					ТМ 20510010 - ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра було зроблено наступний обсяг робіт:

- Згідно отриманого завдання було виконано аналіз службового призначення та відображено основні технічні характеристики і призначення кондиціонеру. Стосовно деталі «Кільце» то був проведений повний аналіз всіх поверхонь, функцій а також виконаний аналіз креслень та вимог до деталі
- Для проведення аналізу технічних вимог враховано опис властивостей алюмінієвих сплавів, що є придатними для виготовлення деталі. Також проаналізовано вимоги, які були висунуті конструктором щодо цієї деталі, і перевірено їх відповідність загальноприйнятим стандартам, відповідно до вимог складального вузла.
- Було визначено тип виробництва, а саме дрібносерійний .
- Було визначено спосіб отримання заготовки, а саме лиття під тиском.
- Під час виконання роботи було виконано аналіз та розрахунок токарної та свердлильної операції.
- Було розглянуто схеми базування та відповідно до вимог обрано більш раціональна.
- Обрані верстати є важливим аспектом так як вони є сучасними та можуть виконувати різноманітні завдання тривалий термін

									Лист
									56
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні вказівки до кваліфікаційної роботи бакалаврів для студентів спеціальності 6.05050201 «Технології машинобудування» / укладач В. Г. Євтухов. – Суми : Сумський державний університет, 2017. – 44 с.

2. Паливода Ю. Є. Інструментальні матеріали, режими різання, технічне нормування механічної обробки / Паливода Ю. Є., Дячун А. Є., Лещук Р. Я. – Тернопіль: 2019. – 240 с.

3. Добрянський, С. С. Технологічні основи машинобудування. [Електронний ресурс]: підручник для студ. спеціальностей 131 «Прикладна механіка», 133 «Галузеве машинобудування» / С. С. Добрянський, Ю. М. Малафеев; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 379 с.

4. Мазур, М. П. Основи теорії різання матеріалів: підручник / М. П. Мазур, Ю. М. Внуков, В. Л. Доброскок, В. О. Залога та ін.; під заг. ред. М. П. Мазура. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Львів: Новий Світ-2000, 2011. – 422 с.

5. Петров, О. В. Технологічна оснастка : навчальний посібник / О. В. Петров, С. І. Сухоруков. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 123 с.

6. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 1 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю. В. Петраков, С. В. Сохань, В. К. Фролов, В. М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 288 с.

7. Технології виготовлення деталей складної форми. Частина 2 [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньо-професійної програми «Технології машинобудування» та освітньо-наукової програми «Технології машинобудування» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; Ю.В.Петраков, С.В. Сохань, В.К. Фролов, В.М. Кореньков. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 102с.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата						57