

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Особливості розробки технологічного процесу виготовлення валів в
авіаційній галузі»

Виконав: студент(ка) _ІІ_ курсу, групи _М-122м_

Спеціальності _131 «Прикладна механіка»_

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

КРИВОРУЧКО Г.О.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Є.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент МАТЮХИН А.Ю.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет Машинобудівний

Кафедра «Технологія машинобудування»

Ступінь вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»

(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри С.І. ДЯДЯ

«_____» _____ 20__ року

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

КРИВОРУЧКО Галини Олександрівни

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) **Особливості розробки технологічного процесу виготовлення валів в авіаційній галузі**

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

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

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

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2023

3. Вихідні дані до проекту (роботи) **робоче креслення деталі, річна програма випуску N=5000шт**

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

5. **Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Креслення деталі, заготовки, графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки керуючої програми в спеціальному програмному забезпеченні та два листа автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; графічне зображення результатів розрахунку на міцність; креслення до спецзавдання два листа**

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-5	к.т.н., доц ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ Є.В.		
6	к.т.н., доц ПУХАЛЬСЬКА Г.В.		
7	к.т.н., доц ШМИРКО В.І.		
нормоконтроль	к.т.н., доц ДЯДЯ С.І.		

7. Дата видачі завдання « 04 » вересня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту (роботи)	Строк виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	18.09.2023	
2	Конструкторська частина	02.10.2023	
3	Автоматизація	09.10.2023	
4	Розрахунок деталі на міцність	23.10.2023	
5	Спеціальне завдання	30.10.2023	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	06.11.2023	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	13.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	27.11.2023	
9	Нормоконтроль і рецензія	04.12.2023	
10	Оформлення креслень та технологічної документації	07.12.2023	
11	Захист дипломного проєкту	19.12.2023	

Студент(ка)

(підпис) Галина КРИВОРУЧКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проєкту (роботи)

(підпис) Євген ВИШНЕПОЛЬСЬКИЙ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 101 с., 45 рисунків, 7 таблиць, 2 додатки, 15 посилань.

ВАЛ ПЕРЕДНІЙ РОТОРА КВТ, ПРИПУСК, ДОПУСК, ОПЕРАЦІЙНИЙ ЕСКІЗ, КВАЛІТЕТ, БАЗА, ІНСТРУМЕНТ, ТОЧНІСТЬ, ШОРСТКІСТЬ, РОЗМІР, ОБЛАДНАННЯ, ВЕРСТАТ, ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

Об'єкт дослідження – вал передній ротора компресору високого тиску.

Мета роботи – дослідити особливості розробки технологічного процесу виготовлення валів в авіаційній галузі.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний; комп'ютерне моделювання експлуатаційного навантаження деталі; комп'ютерна симуляція процесів механічної обробки валу переднього ротору компресору високого тиску.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення валу переднього ротору компресору високого тиску, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче та контрольне пристосування, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання, розглянуто особливості використання безконтактних вимірювальних систем і використання сучасних систем магнітопорошкового контролю циліндричних поверхонь, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу виконано розрахунок економічного ефекту.

ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень	7
Вступ	8
1 Технологічна частина	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	11
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	13
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	17
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	17
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	18
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	23
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів	24
1.6 Розрахунок режимів різання	33
1.7 Розрахунок технічної норми часу	42
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM	48
1.8.1 Розробка токарної операції	48
1.8.2 Розробка фрезерної операції	50
1.8.3 Розробка свердлильної 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	57
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску	59
2.2 Проектування контрольного пристосування	63
3 Автоматизація	65
3.1 Використання прогресивних безконтактних систем контролю поверхонь	65
4 Спеціальне завдання	73
4.1 Особливості магніто-порошкового контролю	73
5 Розрахунок на міцність. Визначення напружено-деформованого стану деталі	80
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності запропонованих заходів	84
7 Охорона праці	94
Висновок	97

Перелік джерел посилань	98
Додаток А. Специфікація на робоче пристосування	100
Додаток Б. Специфікація на контрольне пристосування	101

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ГКМ	Горизонтально-кувальна машина
КГШП	Кривошипна гаряче штампувальна машина
ДСТУ	Державний стандарт України
ГТД	Газотурбінний двигун
КВТ	Компресор високого тиску
ЗВ	Засоби вимірювання
РТК	Розрахунково технологічна карті
ТП	Технологічний процес
ОК	Операційна карта
КЕ	Карта ескізів
КЗ	Карта заготовки
CAD	Computer-aided design
CAM	Computer-aided manufacturing
CAE	Computer-aided engineering
MT	Магнітопорошкова томографія

ВСТУП

Тенденції розвитку машинобудування пов'язані зі збільшенням потреб в якості та здатності до експлуатації деталей з присутністю економії матеріальних та трудових затрат. Це потребує винаходження вискоєфективних технологій, які будуть відповідати цим вимогам.

Якість продукції є головною складовою конкурентоспроможності. При цьому точність виробів є важливим параметром якості, тому досягнення потрібної точності розмірних зв'язків стає ключовою проблемою. Додатково ми звертаємо увагу на витрати на виріб, а також на тимчасовий фактор від потреби в готовому виробі до досягнення потреб. Отже, ми повинні використовувати системний підхід для досягнення потрібного рівня якості при заданому рівні ціни виробу, забезпечуючи мінімізацію тимчасового проміжку до досягнення потреб. Для цього потрібні численні нормативи та міжнародні стандарти, наприклад, пакет стандартів ISO 9000.

Абсолютна точність виробів є важливим показником якості і визначається великим набором факторів на різних етапах виробничого циклу. Для досягнення найвищого рівня точності потрібно розглянути всі періоди "життя виробу", але одним з найважливіших етапів є його розробка, коли закладається фундамент якості виробу та методи керування його показниками точності. Тому при розробці методик проектування технологічних процесів листового штампування виробів для системи САЕ потрібно обережно підходити до розрахунків точності, щоб досягти максимальної точності виробів і задовольнити вимоги норм точності.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Завдана деталь – вал передній ротора компресору високого тиску. Заданням даної деталі валу переднього ротора компресора високого тиску є передача потужності від головного двигуна до внутрішнього ротора компресора, при наявності пресувальної системи, яка забезпечує регулювання доступу до потужності. Даний вал повинен бути виготовлений з матеріалів, які мають високу міцність та надійність, а також відповідати високим динамічним навантаженням. Він повинен бути ресурсостійким та мати високу надійність та процесорну ефективність.

Другою задачею валу переднього ротора компресора високого тиску є захист внутрішнього ротора від пошкодження. Для захисту відносно приводу до ротора доцільно використовувати вали з гладкою поверхнею та матеріалами з хорошими механічними властивостями, що забезпечує максимальну жорсткість та міцність. Щоб позбутися великих утримуючих сил, даний вал повинен бути правильно заточений і відповідати рівню виробництва.

Для зменшення навантажень на вал передній ротор компресора високого тиску повинен мати властивість до точної керування коливань ротора при високих швидкостях. Для забезпечення якісної праці даний вал повинен мати високий рівень відносної гладкості та мати максимально можливий діаметр. Для забезпечення високої рівномірності поверхні валу повинен бути центруваний або виготовлений за спеціально проєктованими профілями.

Для підвищення міцності, даний вал може бути виготовлений з хромованих або нержавіючих сталей, а для забезпечення надійної роботи його повинно бути обернено невеликим кількістю прокладок, прокладок та прокладок з підшипниками.

Креслення деталі вал передній ротора компресору високого тиску показано на рисунку 1.1.

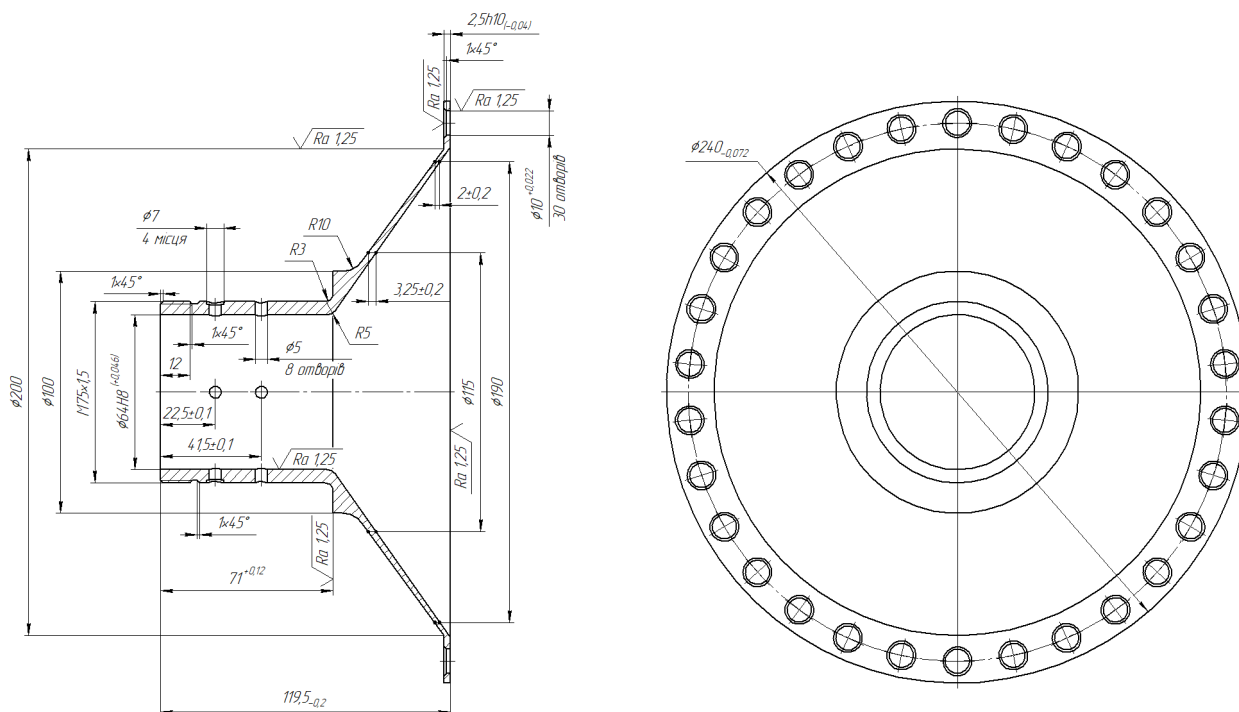


Рисунок 1.1 – Деталь вал передній ротора компресору високого тиску

Вал передній ротора компресору високого тиску є важливою частиною конструкції компресора. По-перше, він забезпечує плавне передачу потужності від двигуна до ротора компресора. Вал переднього ротора пов'язаний з двигуном за допомогою передаточної ланцюги. Він має технічні характеристики, які дозволяють передавати рух від двигуна до ротора. Крім того, вал переднього ротора забезпечує роздільну передачу потужності між двигуном та ротором компресора.

Головна функція валу переднього ротора полягає в передачі потужності від двигуна до ротора. За допомогою валу переднього ротора двигун передає потужність ротору компресора плавно. Також він забезпечує правильну прискорену передачу потужності. Так, вал переднього ротора забезпечує плавну та правильну передачу потужності від двигуна до компресора.

Інша важлива функція валу переднього ротора полягає в забезпеченні роздільної передачі потужності. Вал переднього ротора призначений для розділення потужності між двигуном та ротором компресора. Вал переднього ротора має пружну матрицю, яка дозволяє йому передавати потужність між двигуном та ротором з різними швидкостями. Таким чином, вал переднього ротора забезпечує правильну і рівномірну передачу потужності між двигуном та ротором.

Також вал переднього ротора має технічні характеристики, які дозволяють йому працювати при високих тисках та високих об'ємах повітря. Вал переднього ротора має високу витривалість та надійність, тому він може працювати без переривів протягом довгих періодів часу.

Загалом, вал переднього ротора компресора високого тиску має ряд важливих функцій. Деталь виконана зі сплаву ХН45МВТЮБР хімічні властивості показані в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад матеріалу сплаву ХН45МВТЮБР, %

C	Cr	Ni	Mo	W	Nb	Ti	Al	Fe
≤0,1	14-16	43-47	4-5,2	2,5-3,5	0,8-1,5	1,9-2,4	0,9-1,4	Основа

Сплав ХН45МВТЮБР використовується для виробництва залізних виробів, зокрема деталей транспортних засобів. Це високоміцний сплав з приватною маркою, який заснований на поєднанні металу з низькою відносною міцністю та металу з високою відносною міцністю. Властивості сплаву показані у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Властивості сплаву ХН45МВТЮБР, %

Щільність, ρ , г/см ³	Модуль Юнга, E, GPa	Межа текучості, σ_T , МПа	Межа міцності, σ_B , МПа
7,94	173	960	1075

Сплав ХН45МВТЮБР призначений для лиття при низьких температурах — до 1250 °С. При цьому він має досить низьку текучість, що дозволяє використовувати його для виробництва дуже детальних виробів. Також сплав може бути оброблений шляхом зварювання, що дозволяє використовувати його для складання дуже складних виробів. При цьому зварювання можливо виконувати за допомогою променевого зварювання, зварювання напівфазним потоком, зварювання плавленням дротом, а також інших видів зварювання. Основні переваги сплаву ХН45МВТЮБР містяться в його високій відносній міцності, малій марганцевій адитивності, високій зносостійкості, а також можливості легкої обробки та використання для виробництва деталей транспортних засобів

1.2 Вибір типу виробництва та форми організації работ

Вихідні дані

річна програма випуску.....N=5000шт.

маса деталі.....5,75 кг

Розробка технологічного процесу обробки залежить від типу виробництва і форми його організації. В залежності від програми та ваги деталі призначаємо багатосерійне виробництво.

Багатосерійне виробництво – це процес виробництва, в якому вироби виготовляються в безлічі схожих копій точно так само. Таким чином, різні вироби можуть бути виготовлені на одному і тому ж промисловому заводі, зменшуючи витрати на виробництво і забезпечуючи зростання продуктивності. Багатосерійне виробництво набуло популярності за рахунок багатьох його переваг, таких як зручність, швидкість і низька вартість.

Першою перевагою багатосерійного виробництва є зручність. Процес виробництва оптимізований так, щоб забезпечити максимальну ефективність. Фактично, виробники можуть значно заощадити на виробництві, полегшивши процес виробництва і зменшивши кількість приладів, необхідних для виробництва. Тому багатосерійне виробництво допомагає підприємствам вирішувати проблеми, що виникають при проведенні виробництва в стилі “один до одного”.

Другою перевагою багатосерійного виробництва є швидкість. Багатосерійне виробництво дозволяє виробити багато однакових продуктів більш швидко через підвищення продуктивності. Фактично, багатосерійне виробництво дозволяє виробникам виготовляти більше продуктів або забезпечити постійне виробництво з низькими витратами.

Третьою перевагою багатосерійного виробництва є низька вартість. Завдяки багатосерійному виробництву виробники можуть бути впевнені, що вироби будуть вироблятися з найменшою вартістю, незалежно від масштабу виробництва. Тому багатосерійне виробництво допомагає підприємствам економити на виробництві і придбати більше прибутку.

Кількість деталей в партії можна визначити за формулою:

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

де a – періодичність запуску протягом року;

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

$$n = \frac{2 \cdot 5000}{250} = 40 \text{ шт.}$$

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 «Вал КВТ» виконуємо економічне обґрунтування доцільності застосування обраного варіанту отримання заготовки. В даному випадку обираю серед:

- заготовки штамповка на молотах (рис. 1.2).
- заготовки штамповка на КГШП (рис. 1.3);

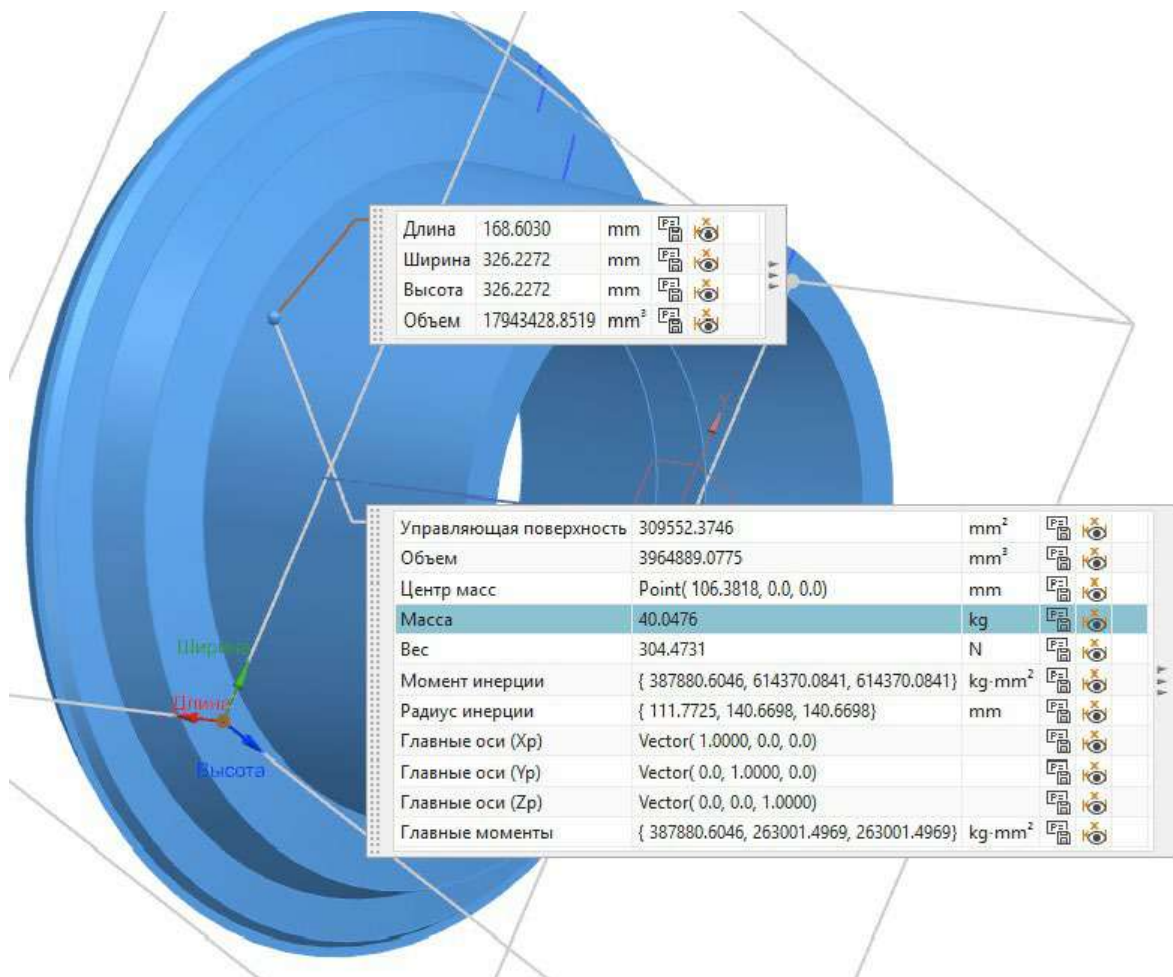


Рисунок 1.2 – 3D модель заготовки отриманої штамповкою на молотах

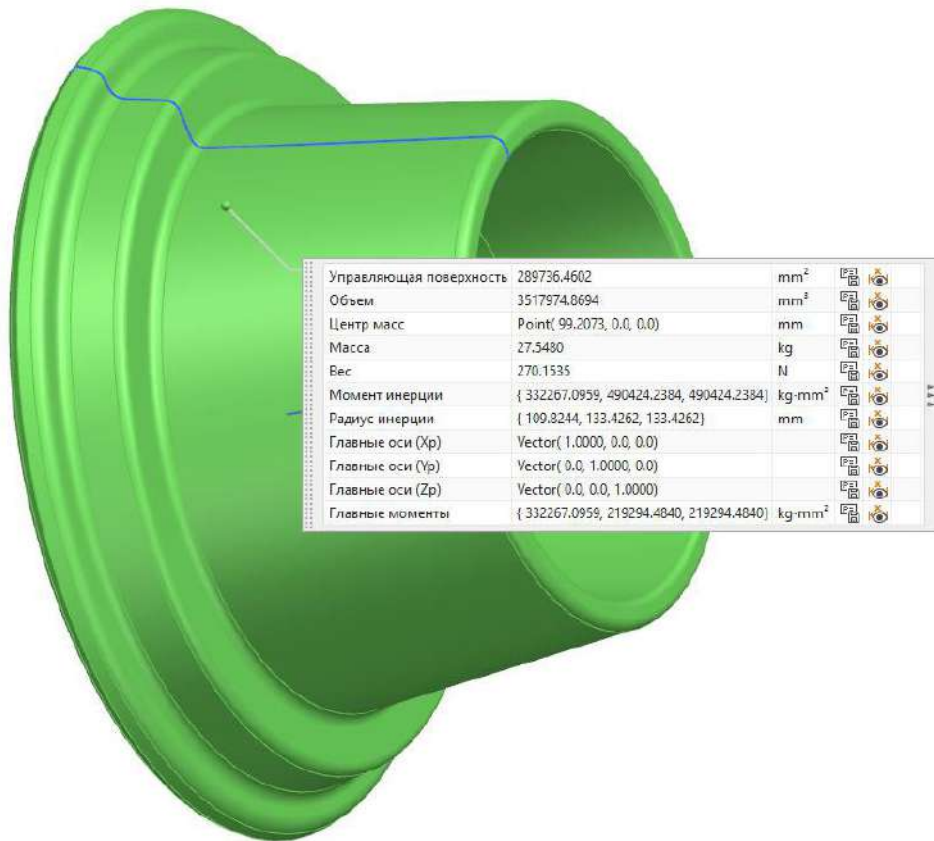


Рисунок 1.3 – 3D модель заготовки отриманої штамповкою на КГШП

Вихідні дані:

- маса деталі: $Q = 5,75$ кг;
- програма випуску: $N = 5000$ од.

Розрахуємо показник використання матеріалу за формулою (1.2):

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

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

Для заготовки штамповка на молотах та штамповка на КГШП:

$$\eta_1 = \frac{5,75}{40,05} = 0,14.$$

$$\eta_2 = \frac{5,75}{27,55} = 0,21.$$

Собівартість отриманої заготовки розраховуємо за формулою (1.3):

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

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

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

K_T – показник, що враховує точність заготовки [1, табл. 1.24, с. 18];

K_M – показник, що враховує матеріал [1, табл. 1.25, с. 18];

K_C – показник, що враховує складність заготовки [1, табл. 1.26, с. 19];

K_B – показник, що враховує масу заготовки [1, табл. 1.27, с. 19];

K_{Π} – показник, що враховує програму випуску [1, табл. 1.28, с. 19];

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

Для штамповки на молотах та КГШП матимемо:

$$C_1 = \frac{3500}{1000} \cdot 40,05 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1,33 \cdot 0,75 \cdot 1 - \frac{(40,05 - 5,75)}{1000} \cdot 140 = 142,6 \text{ грн.}$$

$$C_2 = \frac{3000}{1000} \cdot 27,55 \cdot 1 - \frac{(27,55 - 5,75)}{1000} \cdot 140 = 79,6 \text{ грн.}$$

Результати розрахунків заносимо в таблицю 1.3.

Економічний ефект розраховуємо за формулою (1.4):

$$E_B = (C_2 - C_1) \cdot N, \text{ грн} \quad (1.4)$$

$$E_B = (142,6 - 79,6) \cdot 5000 = 63000 \text{ грн.}$$

Економія метала визначається за формулою (1.5):

$$M_1 = \frac{Q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \cdot \eta_2} \cdot N, \text{ кг} \quad (1.5)$$

$$M_1 = \frac{5,75 \cdot (0,21 - 0,14)}{0,21 \cdot 0,14} \cdot 5000 = 13690 \text{ кг.}$$

Оскільки $C_1 = 142,6$ грн більше, ніж $C_2 = 79,6$ грн та $\eta_1 = 0,14$ менше за $\eta_2 = 0,21$ обираємо більш раціональний метод отримання заготовки а саме: штамповка на КГШП.

Зовнішній вид заготовки деталі отриманої за обраним методом показано на рисунку 1.4.

Таблиця 1.3 – Порівняльні показники за варіантами заготовок

Показник	Позначення	Варіант заготовки	
		штамповка на молотах	штамповка на КГШП
Маса	Q	5,75	5,75
Припуск	Z	2,5	1,75
Баз. ціна 1 т заготовок	C _Б	3500	3000
Поправочні показники	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	140	140
Собівартість 1 т заготовок	C	142,6	79,6
KBM	η	0,14	0,21

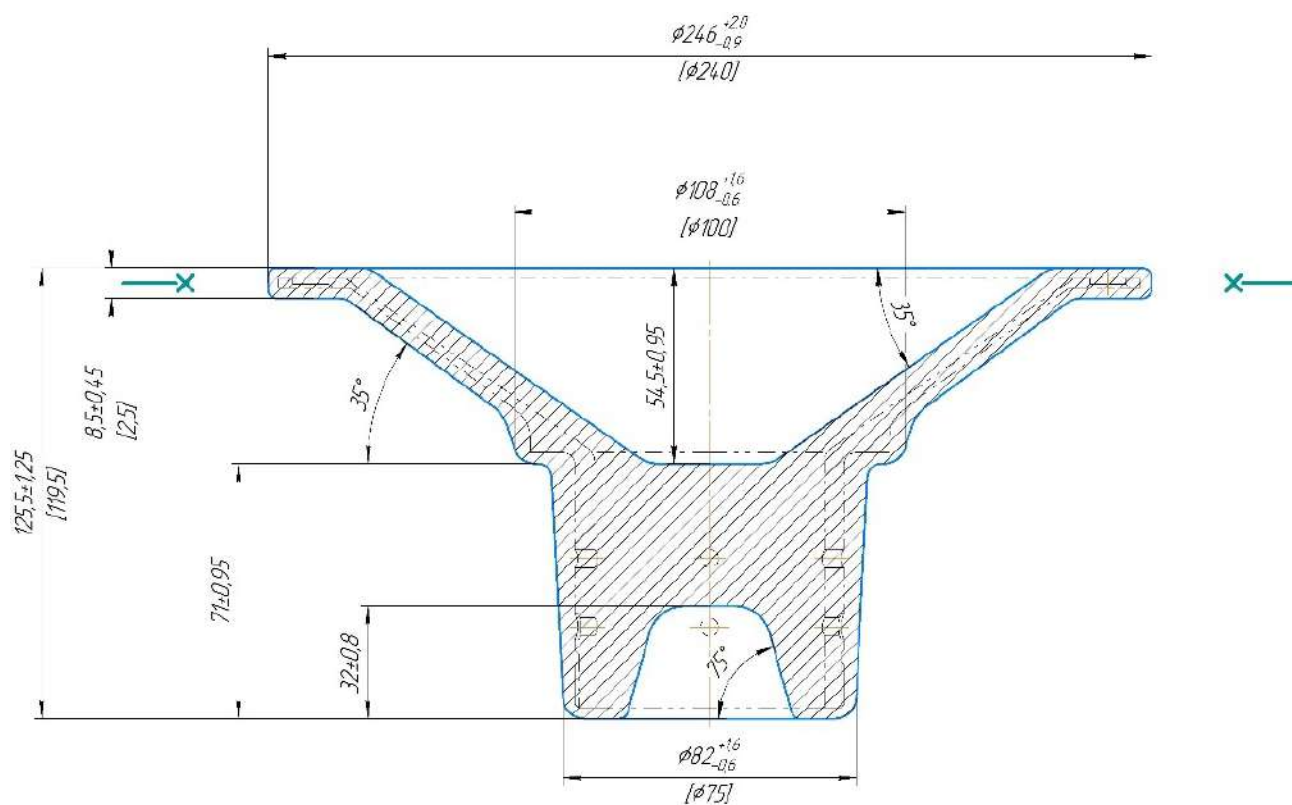


Рисунок 1.4 – Зображення заготовки отриманої штампуванням на КГШП

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Якісні показники:

- оброблюваність матеріалу різанням – добра;
- можливе використання принципів постійності та суміщення баз на більшості операцій;
- всі поверхні доступні для інструменту.
- допуски та граничні відхилення розмірів — стандартні;
- не потребується застосування спеціальних ріжучих, допоміжних, вимірювальних інструментів.

Кількісні показники:

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

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

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

Q_e — загальна кількість конструктивних елементів.

$$Q_{y.e.} = 31, Q_e = 31$$

$$K_{y.e.} = \frac{31}{31} \geq 0,6$$

Коефіцієнт точності обробки K_t , розраховується за формулою (1.7):

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

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

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

де n - кількість квалітетів точності;

K_i - квалітет точності i -того розміру.

$$A_{сep} = \frac{20 \cdot 12 + 1 \cdot 8 + 22 \cdot 14}{43} = 12,9$$

$$K_m = 1 - \frac{1}{12,9} = 0,92 > 0,8$$

— коефіцієнт шорсткості $K_{ш}$, який розраховується за формулою (1.9):

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

де $B_{сер}$ — середнє значення шорсткості оброблених поверхонь, розраховується за формулою (1.10):

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

де M_i — шорсткість i -тої поверхні;

n — кількість усіх шорсткостей поверхонь.

$$B_{сер} = \frac{20 \cdot 6,3 + 1 \cdot 1,6 + 19 \cdot 3,2}{40} = 4,71$$

$$K_{ш} = \frac{1}{4,71} = 0,21 \leq 0,32$$

Коефіцієнт використання матеріалу розраховано раніше (за формулою 1.2) за цим показником деталь не технологічна. Це є типовим для деталей авіаційної галузі.

Отже, по більшості показників деталь технологічна але оскільки за коефіцієнтом використання матеріалу деталь не технологічна то і загальний висновок робимо що вона є не технологічною.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Розробка маршруту обробки поверхонь деталі валу переднього ротора компресора високого тиску, є складним і важливим процесом у виробничій сфері. Основні особливості розробки такого маршруту включають:

Аналіз технічних вимог: Першим кроком є ретельний аналіз технічних вимог до деталі, включаючи розміри, геометричні параметри, матеріал та інші технічні специфікації. Розуміння цих вимог є важливим для подальшої розробки маршруту обробки.

Вибір матеріалу: Вибір матеріалу для виготовлення деталі має велике значення для визначення методів обробки і інструментів, які слід використовувати. Розробка враховує міцність матеріалу, його оброблюваність і стійкість до впливів.

Система обробки: Розробка системи обробки включає в себе вибір та розташування обладнання, такого як токарні верстати, фрезерні верстати, шліфувальні верстати тощо. Важливо оптимізувати послідовність операцій для досягнення максимальної продуктивності.

Вибір інструментів: Вибір інструментів, які використовуються під час обробки, грає ключову роль у якості та швидкості обробки. Розробка маршруту включає вибір типу інструментів і їхніх параметрів.

Оптимізація параметрів обробки: Встановлення оптимальних параметрів, таких як швидкість різання, подача і глибина різання, є важливою для досягнення точності та якості обробки. Розробка маршруту включає в себе оптимізацію цих параметрів.

Контроль якості: Розробка системи контролю якості, включаючи вимоги до вимірювальних приладів і методики тестування, є важливою для забезпечення відповідності деталі всім технічним вимогам.

Планування та моніторинг: Маршрут обробки потребує детального планування, включаючи визначення термінів, бюджетів і ресурсів. Моніторинг в процесі обробки допомагає вчасно виявляти та виправляти будь-які незручності або невідповідності.

Загалом, розробка маршруту обробки валу переднього ротора компресора високого тиску вимагає глибоких знань технічних аспектів та інженерних рішень для досягнення оптимальних результатів у виробничому процесі.

Розробку маршруту обробки поверхонь (МОП) будемо виконувати на прикладі зовнішньої та внутрішньої діаметральних поверхонь.

Для поверхні Ø240h8 шорсткість заготовки $R_a = 20$ мкм, [1, табл.3.7, с.19], допуск $Td_3 = 2,9$ мм, шорсткість деталі $R_a = 2,5$ мкм, допуск $Td = 0,072$ мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості

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

$$\varepsilon_d = \frac{2,9}{0,072} = 40,28$$

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

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{20}{2,5} = 8$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник точності геометричного розміру, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо k переходів:

$$\begin{aligned} k &= 2 \cdot \lg \varepsilon_d \\ k &= 2 \cdot \lg 40,28 = 3,21 \end{aligned} \quad (1.13)$$

Приймаємо $k = 4$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл $IT = IT16 - IT8 = 8 = 3 + 2 + 2 + 1$

Встановлюємо послідовність показників точності: $IT16 - IT13 - IT11 - IT9 - IT8$

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – точіння чорнове – точіння напівчистове – точіння чистове – шліфування.

За [1, табл.3.7, с.19] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл.1.4.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового (1.12), (1.13):

$$\begin{aligned} \varepsilon_{d2} &= \frac{2,9}{0,81} = 3,58 \\ \varepsilon_{Rz} &= \frac{20}{10} = 2 \end{aligned}$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.4.

Для поверхні $\varnothing 64H8$ шорсткість заготовки $R_a = 20$ мкм, [1, табл.3.7, с.19], допуск $Td_3 = 1,5$ мм, шорсткість деталі $R_a = 1,25$ мкм, допуск $Td = 0,046$ мм.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості (1.12), (1.13):

$$\begin{aligned} \varepsilon_d &= \frac{1,5}{0,046} = 32,6 \\ \varepsilon_{Rz} &= \frac{20}{1,25} = 16 \end{aligned}$$

Визначаючим показником якості цієї поверхні буде показник шорсткості, так як він вимагає найбільшого уточнення. За цим показником розраховуємо k переходів за формулою (1.13):

$$k = 2 \cdot \lg 32,6 = 3,03$$

Приймаємо $k=4$

Різниця класів шорсткості та їх розподіл $IT=IT_{16}-IT_8=10=3+3+2$

Встановлюємо послідовність показників точності: $IT_{16}-IT_{13}-IT_{10}-IT_8$

Призначаємо методи обробки за переходами. Заготівельна – розточування чорнове – розточування чистове – шліфування.

За [1, табл.3.7, с.19] призначаємо допуски та шорсткість за переходами, див. табл.1.4.

Визначаємо уточнення за показниками точності та шорсткості для точіння чорнового (1.12), (1.13):

$$\varepsilon_{d2} = \frac{1,5}{0,81} = 1,85$$

$$\varepsilon_{Rz} = \frac{20}{12,5} = 1,6$$

Для інших переходів уточнення розраховується так само.

Результати розрахунків заносимо в табл. 1.4.

1.4.3 План виготовлення деталі.

Вибір верстатів і розробка маршруту виготовлення авіаційних деталей, зокрема валу переднього ротора компресора високого тиску, є критичними аспектами в авіаційній виробничій сфері через високі технічні та якісні вимоги. Особливості вибору верстатів та розробки маршруту включають наступне:

Вибір верстатів: Вибір верстатів вимагає уважного аналізу, враховуючи такі фактори:

Тип обробки: Для виготовлення валу можуть знадобитися токарні верстати для обробки зовнішніх та внутрішніх поверхонь, фрезерні верстати для обробки геометричних деталей, а також шліфувальні верстати для досягнення високої точності та гладкості поверхні.

Обладнання для різьблення: Якщо вал передбачає різьбу, то слід вибрати відповідне обладнання для створення різьби.

Контроль якості: Верстати повинні бути оснащені системами контролю якості, такими як вимірювальні прилади та системи зворотного зв'язку для визначення точності обробки.

Автоматизація: Враховувати можливість автоматизації процесу, яка допоможе підвищити продуктивність і зменшити ризики людських помилок.

Розробка маршруту виготовлення: Розробка маршруту обробки включає в себе визначення послідовності операцій та їх параметрів:

Послідовність операцій: Визначення, які операції обробки валу будуть проводитися та їх послідовність. Наприклад, спочатку токарна обробка для визначення форми та розмірів, потім фрезерування для створення геометричних елементів, і на завершення шліфування для досягнення високої якості поверхні.

Параметри обробки: Встановлення оптимальних параметрів, таких як швидкість різання, подача та глибина різання, які гарантують якість та продуктивність обробки.

Контроль якості: Розробка системи контролю якості для визначення відповідності деталі всім технічним вимогам.

Запобіжні заходи безпеки: Розробка маршруту має включати в себе запровадження заходів безпеки для захисту працівників, відповідно до стандартів безпеки в авіаційній галузі.

Слідкування за змінами в технологіях: Авіаційна галузь постійно розвивається, і розробка маршруту повинна враховувати нові технології та підходи для поліпшення процесу виробництва.

Документація та трасовість: Важливо створити докладну документацію, яка описує маршрут виготовлення, вибране обладнання, параметри обробки, системи контролю якості та інші важливі дані. Також важлива трасовість, яка дозволяє відстежувати походження та історію кожної деталі.

Загалом, розробка маршруту виготовлення авіаційної деталі вимагає глибоких знань технічних аспектів, дотримання стандартів безпеки та якості, а також постійного оновлення та вдосконалення процесів виробництва відповідно до сучасних вимог авіаційної промисловості.

Маршрут виготовлення деталі вал передній ротора компресору високого тиску показаний на кресленні формату A1.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунок припусків на механічну обробку тонкостінних складнопрофільних авіаційних деталей вимагає особливої уваги до точності та якості обробки, оскільки ці деталі мають важливе значення для безпеки та надійності авіаційних систем. Особливості розрахунку припусків для таких деталей полягають у наступному:

Геометрична складність: Тонкостінні складнопрофільні деталі часто мають складні геометричні форми, що вимагають докладної роботи припусків. Важливо враховувати всі аспекти геометрії деталі, такі як внутрішні та зовнішні кромки, отвори, глибину профілю і радіуси закруглень.

Матеріал деталі: Вибір матеріалу має велике значення для розрахунку припусків, оскільки різні матеріали мають різну міцність та оброблюваність. Тонкостінні деталі часто виготовляють з високоміцних легованих сталей або титану.

Точність: Тонкостінні деталі вимагають високої точності обробки, оскільки допустимі відхилення можуть бути дуже обмеженими. Розрахунок припусків повинен враховувати цю точність та вимоги до якості обробки.

Терміновість: Авіаційна індустрія часто має обмежені терміни для виготовлення деталей. Припуски повинні бути розраховані з урахуванням цих термінових вимог, щоб запобігти затримкам в виробництві.

Зовнішні впливи: Тонкостінні деталі можуть бути піддані різним зовнішнім впливам, таким як температурні зміни, тиск і вібрації. Розрахунок припусків повинен враховувати ці впливи, щоб забезпечити стабільність та надійність деталей.

Вимоги до безпеки: В авіаційній індустрії безпека є надзвичайно важливою. Припуски повинні бути розраховані з урахуванням вимог до безпеки, щоб уникнути виникнення дефектів чи поломок. При розрахунку припусків на дві діаметральні поверхні внутрішню та зовнішню все це було враховано. Для двох поверхонь визначимо їх за допомогою розрахунково-аналітичного методу, для решти визначимо табличним методом.

Зовнішня діаметральна поверхня $\varnothing 240h8(-0,072)$

Згідно з методикою, подвійний робочий припуск на зовнішню поверхню обертання визначається за формулою (1.14):

$$2Z_{i\min} = 2(h_{i-1} + Rz_{i-1} + \sqrt{\Delta_{\Sigma i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.14)$$

де Rz_{i-1} – висота мікронерівностей профілю;

h_{i-1} – глибина дефектного шару матеріалу від попередньої експлуатації;

$\Delta_{\Sigma i-1}$ – похибка у формі та взаємному розташуванні поверхонь з попередньої операції;

ε_i – похибки при монтажі при переході в процесі.

Елементи мінімальних припусків на кожен перехід і допуски на експлуатаційні розміри і габарити заготовки приймаються за стандартними даними [2]

- заготовка: $Rz = 200$ мкм; $h = 250$ мкм;
- точіння чорнове: $Rz = 62,5$ мкм; $h = 150$ мкм;
- точіння напівчистове: $Rz = 31,5$ мкм; $h = 100$ мкм;
- точіння чистове: $Rz = 10$ мкм; $h = 50$ мкм;
- шліфування: $Rz = 5$ мкм; $h = 15$ мкм.

Визначити сумарні значення похибки просторових відхилень прес-форми для заготовки [2] за формулами (1.15), (1.16):

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{см}}^2 + \Delta_{\text{кор}}^2}, \quad (1.15)$$

$$\Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} L \quad (1.16)$$

де $\Delta_{\text{см}} = 0,5 \text{ мм}$ – зміщення осі фланця щодо осі стрижня при штампуванні;

$\Delta_{\text{кор}}$ – деформація заготовки;

$\Delta_{\text{к}} = 3 \text{ мкм/мм}$ – викривлення штока після осадки фланця;

$$\Delta_{\text{кор}} = 3 \cdot 520 = 1560 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{500^2 + 1560^2} = 1638 \text{ мкм}.$$

Величина залишкової похибки просторових відхилень для подальших обробок розраховується за допомогою коефіцієнта уточнення за формулою (1.17):

$$\Delta_{\Sigma i} = \Delta_{\Sigma \text{заг}} \cdot K_{yi}, \quad (1.17)$$

де K_y – коефіцієнт уточнення після i -го переходу по [2]:

$$\Delta_{\Sigma 2} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 3} = 98,3 \cdot 0,06 = 5,9 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 4} = 5,9 \cdot 0,05 = 0,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 5} \approx 0$$

Так як деталь зміцнюється після чорнової обробки, виникає похибка форми, питома величина якої визначається за формулою (1.18):

$$\Delta_{\text{то}} = \frac{n \cdot L}{0,01 \cdot D + 0,3}, \quad (1.18)$$

де n – коефіцієнт, що залежить від типу ТО ($n=1$);

$D = 80 \text{ мм}$ – діаметр оброблюваної поверхні;

$L = 50 \text{ мм}$ – довжина оброблюваної поверхні;

$$\Delta_{\text{то}} = \frac{2,5}{0,01 \cdot 240 + 0,3} = 0,96 \text{ мкм}$$

Похибка установки заготовки вибирається з [2]. $\varepsilon_{y \text{ ток.чр.}} = 45,5 \text{ мкм}$.

Для подальших операцій, похибка установки в радіальному напрямку дорівнює нулю.

Підставляючи отримані значення елементів припуску у формулу, наведену раніше, отримуємо розрахункові значення, робочих розмірів:

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (200 + 250 + \sqrt{1638^2 + 140^2}) = 4188 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (62,5 + 150 + \sqrt{98,3^2 + 45,5^2}) = 641 \text{ мкм};$$

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (31,5 + 100 + 5,9) = 274,8 \text{ мкм};$$

$$2Z_{5\min} = 2 \cdot (10 + 50 + 0,3) = 120,6 \text{ мкм}.$$

Обчислимо граничні розміри за методом Кована.

Визначимо максимальне і мінімальне значення діаметрів за формулами (1.19), (1.20):

$$D_i^{\min} = D_{i+1}^{\min} + 2Z_{i+1}^{\min} \quad (1.19)$$

$$D_i^{\max} = D_i^{\min} + TD_i \quad (1.20)$$

$$D_5^{\min} = 239,928 \text{ мм}$$

$$D_4^{\min} = 239,928 + 0,121 = 240,049 \text{ мм}$$

$$D_3^{\min} = 240,049 + 0,275 = 240,324 \text{ мм}$$

$$D_2^{\min} = 240,324 + 0,641 = 240,965 \text{ мм}$$

$$D_1^{\min} = 240,965 + 4,19 = 245,155 \text{ мм}$$

$$D_1^{\max} = 245,155 + 2,9 = 248,055 \text{ мм}$$

$$D_2^{\max} = 240,965 + 0,81 = 241,775 \text{ мм}$$

$$D_3^{\max} = 240,324 + 0,34 = 240,664 \text{ мм}$$

$$D_4^{\max} = 240,049 + 0,18 = 240,229 \text{ мм}$$

$$D_5^{\max} = 239,928 + 0,072 = 240 \text{ мм}$$

Знаходження максимальних значень припусків для переходів знаходимо за формулою (1.21):

$$2Z_i^{\max} = D_{i-1}^{\max} - D_i^{\max} \quad (1.22)$$

$$2Z_5^{\max} = 248,055 - 241,775 = 6,28 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{\max} = 241,775 - 240,664 = 1,111 \text{ мм}$$

$$2Z_3^{\max} = 240,664 - 240,229 = 0,435 \text{ мм}$$

$$2Z_2^{\max} = 240,229 - 240 = 0,229 \text{ мм}$$

Перевірка розрахунків за формулою (1.23):

$$TZ_0 = 2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = TD_3 - TD_{\text{dem}} \quad (1.23)$$

$$2Z_0^{\min} = D_3^{\min} - D_0^{\min} = 245,155 - 239,928 = 5,227 \text{ мм}$$

$$2Z_0^{\max} = D_3^{\max} - D_0^{\max} = 248,055 - 240 = 8,055 \text{ мм}$$

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = 8,055 - 5,227 = 2,828 = TD_3 - TD_0 = 2,9 - 0,072 = 2,828$$

Висновок: рівність виконується, тому робимо висновок, що розрахунки виконані правильно.

Визначаємо технологічні виконавчі розміри переходами:

Виконавчий розмір заготовки $D = 245,2_{-1,0}^{+1,9} \text{ мм}$

Внутрішня поверхня $\varnothing 64\text{H}8^{(+0,046)}$

Елементи мінімальних припусків на кожен перехід і допуски на експлуатаційні розміри і габарити заготовки приймаються за стандартними даними [2]

- заготовка: $Rz = 200 \text{ мкм}; h = 250 \text{ мкм};$
- точіння чорнове: $Rz = 62,5 \text{ мкм}; h = 150 \text{ мкм};$
- точіння напівчистове: $Rz = 31,5 \text{ мкм}; h = 100 \text{ мкм};$
- точіння чистове: $Rz = 10 \text{ мкм}; h = 50 \text{ мкм};$
- шліфування: $Rz = 10 \text{ мкм}; h = 30 \text{ мкм}.$

Визначаємо сумарні значення похибки просторових відхилень форми для заготовки за формулами (1.15) и (1.16): $\Delta_{\text{см}} = 0,5 \text{ мм}; \Delta_{\text{кор}} = \Delta_{\text{к}} L; \Delta_{\text{к}} = 3 \text{ мкм/мм};$

$$\Delta_{\text{кор}} = 3 \cdot 520 = 1560 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma} = \sqrt{500^2 + 1560^2} = 1638 \text{ мкм}.$$

Величину залишкової похибки просторових відхилень для подальших обробок обчислюють за формулою (1.17):

$$\Delta_{\Sigma 2} = 1638 \cdot 0,06 = 98,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 3} = 98,3 \cdot 0,06 = 5,9 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 4} = 5,9 \cdot 0,05 = 0,3 \text{ мкм};$$

$$\Delta_{\Sigma 5}, \approx 0$$

Похибка установки заготовки вибирається з [2].

Підставляючи отримані значення, знаходимо мінімальні припуски за формулою (1.14):

$$2Z_{2\min} = 2 \cdot (200 + 250 + \sqrt{1638^2 + 140^2}) = 4188 \text{ мкм};$$

$$2Z_{3\min} = 2 \cdot (62,5 + 150 + \sqrt{98,3^2 + 115,5^2}) = 728 \text{ мкм};$$

$$2Z_{4\min} = 2 \cdot (31,5 + 100 + \sqrt{5,9^2 + 40^2}) = 344 \text{ мкм};$$

$$2Z_{5\min} = 2 \cdot (10 + 50 + \sqrt{0,3^2 + 40^2}) = 200 \text{ мкм};$$

Обчислюємо граничні розміри методом розмірного ланцюга.

Між експлуатаційні розміри визначаємо шляхом послідовного віднімання від проектного розміру деталі мінімального припуску на механічну обробку і допуску.

Розрахунок меж розмірів за такими формулами (1.24), (1.25):

$$D_i^{\min} = D_{i+1}^{\min} - 2Z_{i+1}^{\min} - TD_i, \quad (1.24)$$

$$D_i^{\max} = D_i^{\min} + TD_i \quad (1.25)$$

$$D_5^{\min} = 64 \text{ мм}$$

$$D_4^{\min} = 64 - 0,2 - 0,1 = 63,7 \text{ мм}$$

$$D_3^{\min} = 63,7 - 0,344 - 0,24 = 63,116 \text{ мм}$$

$$D_2^{\min} = 63,116 - 0,728 - 0,81 = 61,578 \text{ мм}$$

$$D_1^{\min} = 61,578 - 4,188 - 1,5 = 55,89 \text{ мм}$$

$$D_1^{\max} = 55,89 + 1,5 = 57,39 \text{ мм}$$

$$D_2^{\max} = 61,578 + 0,81 = 62,388 \text{ мм}$$

$$D_3^{\max} = 63,116 + 0,24 = 63,356 \text{ мм}$$

$$D_4^{\max} = 63,7 + 0,1 = 63,8 \text{ мм}$$

$$D_5^{\max} = 64 + 0,046 = 64,046 \text{ мм}$$

Знаходження граничних значень припусків на механічні переходи (1.26), (1.27):

$$2Z_i^{\max} = D_i^{\min} - D_{i-1}^{\max}, \quad (1.26)$$

$$2Z_i^{\min} = D_i^{\max} - D_{i-1}^{\min} \quad (1.27)$$

Шліфування:

$$2Z_5^{\min} = 61,578 - 57,39 = 4,188 \text{ мм}$$

$$2Z_5^{\max} = 62,388 - 55,89 = 6,498 \text{ мм}$$

Точіння чистове:

$$2Z_4^{\min} = 63,116 - 62,388 = 0,728 \text{ мм}$$

$$2Z_4^{\max} = 63,356 - 61,578 = 1,778 \text{ мм}$$

Точіння напівчистове:

$$2Z_3^{\min} = 63,7 - 63,356 = 0,344 \text{ мм}$$

$$2Z_3^{\max} = 63,8 - 63,116 = 0,684 \text{ мм}$$

Точіння чорнове:

$$2Z_2^{\min} = 64 - 63,8 = 0,2 \text{ мм}$$

$$2Z_2^{\max} = 64,046 - 63,7 = 0,346 \text{ мм}$$

Перевірка розрахунків за формулою (1.28):

$$TZ_0 = 2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = TD_3 + TD_{\text{дем}} \quad (1.28)$$

$$2Z_0^{\max} = D_0^{\max} - D_3^{\min} = 64,046 - 55,89 = 8,156 \text{ мм}$$

$$2Z_0^{\min} = D_0^{\min} - D_3^{\max} = 64 - 57,39 = 6,61 \text{ мм}$$

$$2Z_0^{\max} - 2Z_0^{\min} = 8,156 - 6,61 = 1,546 = TD_3 + TD_0 = 1,5 + 0,046 = 1,546$$

Висновок: рівність виконується, тому робимо висновок, що розрахунки виконані правильно.

Визначаємо технологічні виконавчі розміри переходами:

$$D_3^{ном} = D_1^{max} - esD_1$$
$$D_3^{ном} = 57,39 - 0,5 = 56,9 \text{ мм}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Розрахунок припусків на обробку поверхні деталі

Технологічні переходи (операції)	Елементи припуску, мкм				Розр. припуск $2Z_{\min}$, мкм	Допуск, T_i , мкм	Розр. розмір, мм	Граничні значення, мм				Виконавчий розмір, мм	
	R_z	h	$\Delta\Sigma$	ε				Розмірів		Припусків			
								$d_{\min}$	$d_{\max}$	$2Z_{\min}$	$2Z_{\max}$		
2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
Зовнішня поверхня $\varnothing 240h8_{(-0,072)}$													
Заготівельна	200	250	1560	-	-	2900	245,155	245,155	248,055	-	-	$\varnothing 245,2^{+1,9}_{-1,0}$	
Точіння чорнове	62,5	150	98,3	140	4188	810	240,965	240,965	241,775	6,280	1,081	$\varnothing 241,8_{-0,81}$	
Точіння напівчист.	31,5	100	5,9	45,5	641	340	240,324	240,324	240,664	1,111	0,385	$\varnothing 240,7_{-0,34}$	
Точіння чистове	10	50	0,3	5,9	274,8	180	240,049	240,049	240,229	0,435	0,237	$\varnothing 240,23_{-0,18}$	
Шліфування	5	15	0	0	120,6	72	239,928	239,928	240	0,229	0,108	$\varnothing 240_{-0,072}$	
Внутрішня поверхня $\varnothing 64H8^{(+0,046)}$													
Заготівельна	200	250	1560	-	-	1500	55,89	55,89	57,39	-	-	$\varnothing 56,9^{+0,5}_{-1,0}$	
Точіння чорнове	62,5	150	98,3	140	4188	810	61,578	61,578	62,388	4,188	6,498	$\varnothing 62,4_{-0,81}$	
Точіння напівчист.	31,5	100	5,9	45,5	641	240	63,116	63,116	63,356	0,728	1,778	$\varnothing 63,4_{-0,24}$	
Точіння чистове	10	50	0,3	5,9	274,8	100	63,7	63,7	63,8	0,344	0,684	$\varnothing 63,8_{-0,1}$	
Шліфування	10	30	0	0	120,6	46	64	64	64,046	0,2	0,346	$\varnothing 64^{+0,046}$	
Зовнішня поверхня $\varnothing 75_{-0,15}$													
Заготівельна						-	3000	79,55	79,55	82,55	-	-	$\varnothing 81,55^{+2,0}_{-1,0}$
Точіння чорнове						3,5	750	76,05	76,05	76,8	3,5		$\varnothing 76,1_{-0,75}$
Точіння чист.						1,2	150	74,85	74,85	75	1,2		$\varnothing 75_{-0,15}$
Зовнішня поверхня $\varnothing 100_{-0,18}$													
Заготівельна						-	2500	104,82	104,82	107,32	-	-	$\varnothing 105,8^{+1,5}_{-1,0}$
Точіння чорнове						3,5	870	101,32	101,32	102,19	3,5	5,13	$\varnothing 102,2_{-0,87}$
Точіння чист.						1,5	180	99,82	99,82	100	1,5	2,19	$\varnothing 100_{-0,18}$

1.6 Розрахунок режимів різання

З метою підвищення ефективності обробки деталі «Вал КВТ» були застосовані сучасні верстати з ЧПК. Виконуємо розрахунок режимів різання на операцію технологічної обробки «Оп. 020 Токарна з ЧПК». Операційний ескіз показано на рис. 1.5.

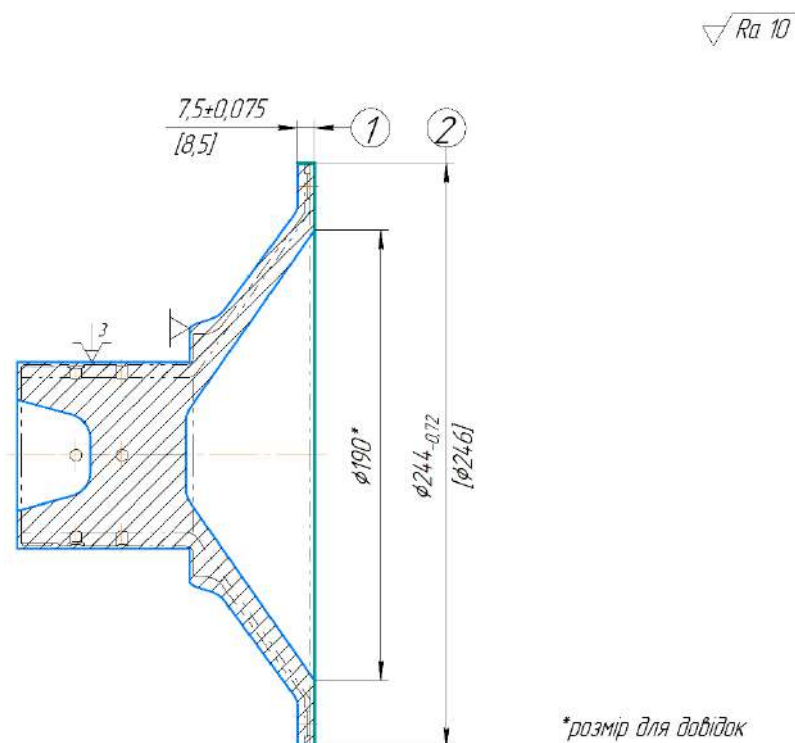


Рисунок 1.5 – Ескіз операції №015 Токарна з ЧПУ

Операція виконується на токарному верстаті з ЧПУ HAAS TL-1. Заготовка затискається в механізованому пристосуванні.

Точити поверхні 1,2

Інструмент – різець контурний з пластиною з твердого сплаву BK10

Глибина різання $t_1=1,0$ мм

Подача визначається за формулами (1.29), (1.30):

$$S_o = S_{o_T} \times K_{S_o} \quad (1.29)$$

$$K_{S_o} = K_{S_{\Pi}} \times K_{S_{\text{И}}} \times K_{S_{\Phi}} \times K_{S_3} \times K_{S_{\text{Ж}}} \times K_{S_{\text{М}}} \quad (1.30)$$

де $S_{o_T} = 0,55$ мм/об [6];

$K_{S_{\Pi}}$ – показник, що враховує стан обраблюваної поверхні, $K_{S_{\Pi}}=0,8$ [3];

K_{SI} – показник, що враховує матеріал інструменту, $K_{SI}=1,0$ [3];

$K_{S\Phi}$ – показник, що враховує форму оброблюваної поверхні, $K_{S\Phi}=0,85$ [3];

K_{S3} – показник, що враховує вплив загартування, $K_{S3}=0,8$ [3];

K_{SJ} – показник, що враховує жорсткість технологічної системи, $K_{SJ}=1,0$ [3];

K_{SM} – показник, що враховує матеріал оброблюваної поверхні, $K_{SM}=0,9$ [3].

$$K_{So} = 0,8 \times 1,0 \times 0,85 \times 0,8 \times 1,0 \times 0,9 = 0,489$$

$$S_o = 0,55 \times 0,489 = 0,092 \approx 0,1 \text{ мм/об}$$

Визначаємо швидкість різання за формулами (1.31), (1.32) [3]:

$$V = V_T \times K_V \quad (1.31)$$

$$K_V = K_{VM} \times K_{VI} \times K_{V\Phi} \times K_{VT} \times K_{VJ} \times K_{VP} \times K_{VO} \quad (1.32)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T=67 \text{ м/хв}$, [3];

K_V – узагальнений швидкісний показник [3];

K_{VM} – показник оброблюваного матеріалу, $K_{vm}=0,94$ [3];

K_{VI} – показник, що враховує вплив матеріалу інструменту, $K_{VI}=1,0$ [3];

$K_{V\Phi}$ – показник, що враховує вплив головного куту в плані, $K_{V\Phi}=0,92$ [3];

K_{VT} – показник, що враховує вид обробки, $K_{VT}=0,75$ [3];

K_{VJ} – показник, що враховує жорсткість технологічної системи $K_{VJ}=1,0$ [3];

K_{VP} – показник, що враховує стан оброблюваної поверхні, $K_{VP}=1,0$ [3];

K_{VO} – показник, що враховує вплив ЗОТС, $K_{VO}=1,0$ [3].

$$k_v = 0,94 \times 1,0 \times 0,92 \times 0,75 \times 1,0 \times 1,0 \times 1,0 = 0,65$$

$$V = 67 \times 0,65 = 43,45 \text{ м/хв}$$

Визначаємо частоту обертів шпинделю за формулою (1.33):

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D}, \quad (1.33)$$

де, V - швидкість різання, м/хв

D - діаметр обробки, мм

$$n = \frac{1000 \times 43,45}{3,14 \times 244} = 57,18 \text{ хв}^{-1}$$

Приймаємо за паспортом верстату $n=60 \text{ хв}^{-1}$

Дійсна швидкість різання:

$$V_d = \frac{3,14 \times 60 \times 244}{1000} = 45,6 \text{ м/хв}$$

Визначаємо силу різання за формулою (1.34):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot s^y \cdot V^n \cdot k_p, \quad (1.34)$$

де, C_p – показник, що враховує умови обробки, $C_p=204$ [3];

x , y , n – показники степені, що враховують умови обробки $n=0$; $x=1,0$; $y=0,75$; [3];

k_p – поправочний показник, що враховує фактичні умови різання визначається за формулою 1.35:

$$K_p = k_{mv} \cdot k_{\phi v} \cdot k_{\gamma v} \cdot k_{\lambda v} \cdot k_{rv}, \quad (1.35)$$

де, k_{mp} - поправочний показник, що враховує вплив якості оброблюємого матеріалу визначаємо за формулою (1.36):

$$k_{MP} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.36)$$

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

$k_{\phi p}, k_{\gamma p}, k_{\lambda p}, k_{rp}$ - поправочні показники, що враховують вплив геометричних параметрів ріжучої частини інструменту $k_{\phi p}=1,08$, $k_{\gamma p}=1,15$, $k_{\lambda p}=1,0$, $k_{rp}=0,93$, [3];

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

$$P_z = 10 \times 204 \times 1,0^{1,0} \times 0,1^{0,75} \times 45,6^0 \times 1,51 = 547 \text{ Н}$$

Визначаємо потужність різання за формулою (1.37):

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \quad (1.37)$$

де, P_z - сила різання, Н

V - швидкість різання, м/хв

$$N = \frac{1095 \times 45,6}{1020 \times 60} = 0,82 \text{ кВт}$$

Перевірка потужності різання за потужністю верстата:

$$N_2=0,72\text{кВт}\leq N_{\text{СТ}}=N_{\text{ДВ}}\cdot\eta=15\cdot0,85=12,75\text{ кВт}$$

Визначаємо машинний час за формулою (1.38):

$$T_0 = \frac{l + y + \Delta}{n \cdot S_0}; \quad (1.38)$$

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

y - величина врізання, мм $y=3$ мм;

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

$$T_0 = \frac{34,5 + 3 + 3}{60 \times 0,1} = 6,75\text{хв}$$

Розрахунок режимів різання на свердлильну операцію №65

Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.6.

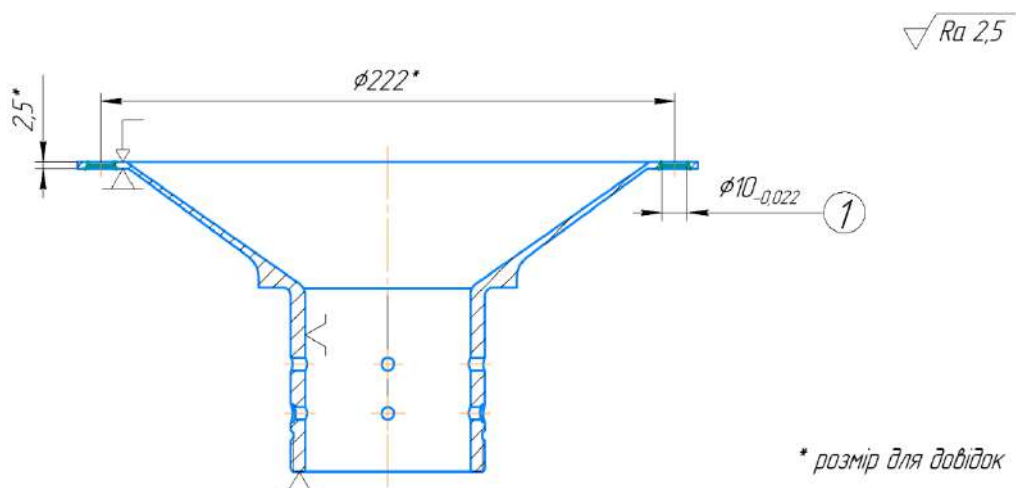


Рисунок 1.6 – Віртуальний операційний ескіз на свердлильну операцію

Верстат: Обробляючий центр з ЧПК Morbidelli CX100R

Поверхня $\varnothing 10$ $L=4$ мм $Ra=6,3$ мкм;

Інструмент: Свердло спіральне $\varnothing 10$ мм, $L=2,5$ мм, P6M5, ГОСТ12121-77

Свердлить відповідно ескізу двадцять отворів (рис. 1.9):

Довжина робочого ходу визначається за формулою (1.39) [3]:

$$L_p = 2 \cdot (l + y) \quad (1.39)$$

де l -довжина свердління $l=4\text{мм}$;

$y=0,6d_{\text{св}}$ –врізання, мм;

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

$$Lp = 2 \cdot (2,5 + 6) = 17\text{мм}$$

Глибина різання: $t = \frac{d_{\text{св}}}{2} = \frac{10}{2} = 5\text{мм}$.

Визначаємо подачу за формулою (1.29) [3]:

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

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

Швидкість різання розраховуємо за формулою (1.40) [3]:

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

де, k_{mv} – показник, що враховує матеріал заготовки визначається за формулою (1.41) [3]:

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

k_r – показник, що характеризує групу сталі. $k_r=0,8$ [3];

σ_b - тимчасовий опір розриву, МПа. $\sigma_b=1061\text{МПа}$;

n_v - показник степені, $n_v=1,0$ [3];

$$k_{mv} = 0,8 \times \left(\frac{750}{1061} \right)^1 = 0,55$$

k_{nv} – показник, що характеризує стан поверхні $k_{nv}=0,8$ [3];

k_{uv} – показник, що характеризує матеріал інструменту $k_{uv}=1,0$ [3];

$k_{\phi v}$, $k_{\phi 1v}$, k_{rv} , - показники, що характеризують геометричні параметри інструменту $k_{\phi v}=1,0$, $k_{\phi 1v}=0,94$, $k_{rv}=1,03$ [3].

$$v_0 = 10,3 \cdot 0,55 \cdot 0,8 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,94 \times 1,03 = 3,51\text{м/хв}$$

Частота обертання деталі визначається за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 3,51}{3,14 \times 10} = 111,79 \text{ об/хв}$$

По паспорту верстата приймаємо частоту обертання $n=120$ об/хв.
Відповідно до цього фактична швидкість різання складає:

$$V = \frac{3,14 \times 10 \times 120}{1000} = 3,77 \text{ м/хв}$$

Обертний момент, визначається за формулою (1.42) [3]:

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

$$C_M = 0,041; \quad q = 2; \quad y = 0,7 \quad K_P = 1,04 \quad [6];$$

$$M_{KP} = 10 \times 0,041 \times 10^2 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 8,51 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Осьова сила, Н визначається за формулою (1.43):

$$P_0 = 10 \times C_P \times D^q \times S^y \times K_P \quad (1.43)$$

$$C_P = 143; \quad q = 1; \quad y = 0,7; \quad K_P = 1,04 \quad [6]$$

$$P_0 = 10 \times 143 \times 10^1 \times 0,1^{0,7} \times 1,04 = 296,7 \text{ Н}$$

Потужність різання, кВт

$$N_3 = \frac{8,51 \times 120}{9750} = 0,11 \text{ кВт}$$

Розрахунок основного часу

Основний (технологічний) час визначається за формулою (1.44):

$$t_{\text{O2}} = \frac{l + l_1}{n \times S} \times i \quad (1.44)$$

де l – довжина оброблюваної поверхні (довжина отвору), $l=2,5$ мм;

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

i – кількість проходів, $i = 1$;

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

S – подання інструменту, мм/об;

$$t_{02} = \left(\frac{2,5 + 3,5}{120 \times 0,1} \right) \times 30 = 15 \text{ хв}$$

На реальній деталі немає поверхонь для яких було б доцільно використовувати фрезерні верстати з ЧПК тому вони були додані до поверхонь деталей умовно. Операційний ескіз на розроблювану операцію показано на рис. 1.7.

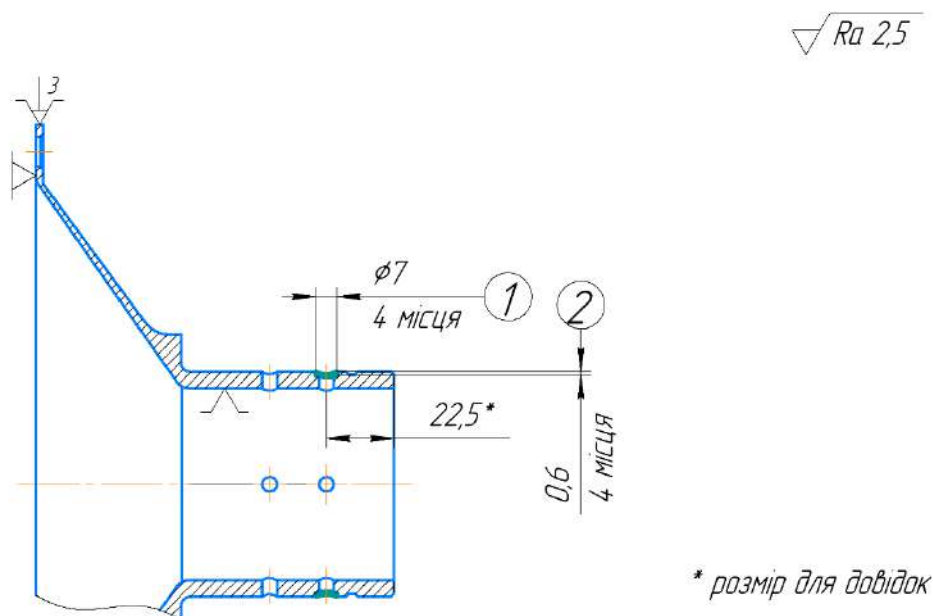


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз на фрезерну операцію

Ріжучий інструмент:

Фреза кінцева Ø7 P12Ф4K5 2220-0429 ГОСТ 17025-71

Визначаємо подачу за формулою (1.45):

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

де $S_Z = 0,021$ мм/зуб – табличне значення подачі;

K_{so} – показник, що враховує ряд конструктивних особливостей технологічної системи визначається за формулою (1.46);

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

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

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

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

$$S_z = 0,021 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,5 = 0,011 \text{ мм/зуб}$$

Розраховуємо швидкість різання за формулою (1.47) [3]:

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

де V_m – табличне значення швидкості різання $V_m = 12,5 \text{ м/хв}$ [3];

K_v – показник, що враховує ряд конкретних умов обробки визначається за формулою (1.48) [3]:

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

де K_{V_M} – показник, що враховує оброблюваність матеріалу, $K_{V_M} = 0,81$ [3];

K_{V_H} – показник, що враховує стан поверхні, $K_{V_H} = 1$ [3];

K_{V_O} – показник, що враховує умови обробки, $K_{V_O} = 1$ [3];

$K_{V_{\Phi}}$ – показник, що враховує вид обробки, $K_{V_{\Phi}} = 1$ [3];

K_{V_H} – показник, що враховує матеріал інструменту, $K_{V_H} = 1$ [3];

K_{V_B} – показник, що враховує ширину фрезерування, $K_{V_B} = 1$ [3].

$$V = 12,5 \cdot 0,81 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 10,125 \text{ м/хв}$$

Обороти визначаємо за формулою:

$$n = \frac{1000 \times 10,125}{3,14 \times 7} = 460,65 \text{ об/хв}$$

Коригуємо обертання шпинделя по паспорту верстата $n = 460 \text{ об/хв}$.

Знаходимо дійсну швидкість різання:

$$V = \frac{3,14 \times 7 \times 460}{1000} = 10,11 \text{ м/хв}$$

Хвилинну подачу визначимо по формулі визначається за формулою (1.49) [3]:

$$S_{XB} = S_z \times z \times n_d, \text{ мм/хв} \quad (1.49)$$

$$S_{XB} = 0,011 \times 4 \times 460 = 20,24 \text{ мм/хв}$$

Потужність визначаємо за формулою (1.50):

$$N_{\text{рез}} = N_{\text{н}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{к}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\beta} = 0,8 \cdot 1 \cdot 1,64 \cdot 1,1 \cdot 1 = 1,44 \text{ кВт}, \quad (1.50)$$

де $N_{\text{н}}=0,8 \text{ кВт}$ потужність необхідна на різання [3];

$K_{\text{м}}=1$ – поправочний показник, залежний від оброблюваного матеріалу;

$K_{\text{в}}=1,64$ – поправочний показник, залежний від кількості осьових переміщень;

$K_{\text{к}}=1,1$ – поправочний показник, залежний від кількості заходів фрези;

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

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

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

Визначаємо машинний час за формулою (1.51):

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

де, l – довжина оброблюваної поверхні, $l=210 \text{ мм}$;

y – величина врзання, $y=0,2 \text{ мм}$;

Z – число зубів фрези, $z=4$.

$$T_o = \frac{0,6 + 0,2}{460 \times 0,011 \times 4} \times 4 = 0,16 \text{ хв}$$

Режими різання на інші операції показані у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Режими різання

N Опер.	Найменування операції	t, мм	S _o , мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	T _о , хв
1	2	3	4	5	6	7
005	Заготівельна	-	-	-	-	-
010	Термічна обробка	-	-	-	-	-
015	Токарна ЧПК	1,0	0,15	33,8	110	4,73
020	Токарна ЧПК	1,0	0,1	45,6	60	6,75
025	Токарна ЧПК	0,8	0,1	49,17	160	4,9
030	Токарна ЧПК	0,8	0,1	49,17	65	4,77

Продовження таблиці 1.6

035	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	85	14,47
040	Токарна ЧПК	0,5	0,1	51,2	250	2,84
045	Токарна ЧПК	0,2	0,1	51,2	250	1,83
050	Токарна ЧПК	0,2	0,1	63,2	100	1,78
055	Свердлильна ЧПК	2,5	0,1	1,22	40	8,78
060	Токарна ЧПК	1,0	0,1	1,63	80	1,02
065	Свердлильна ЧПК	5	0,1	3,77	120	15
070	Фрезерна з ЧПК	0,6	20,24мм/хв	10,11	460	0,16
075	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	40/1000	1,31
080	Шліфувальна	0,05	0,005/0,08	18/35	40/1000	0,51
085	Слюсарна	-	-	-	-	-
090	Магнітопорошковий контроль	-	-	-	-	-
095	Контрольна	-	-	-	-	-

1.7 Розрахунок технічної норми часу

При виконанні нормування технологічних операцій необхідно слідувати наступним принципам. Ці принципи допомагають оптимізувати та ефективно керувати процесом виробництва. Основні принципи нормування операцій на верстатах з ЧПК включають.

Максимізація використання робочого часу обладнання.

Зменшення часу простою та налаштування верстата.

Використання оптимальних режимів різання та інструментів.

Мінімізація переходів інструментів між точками обробки.

Вибір оптимальних шляхів обробки для мінімізації часу та зносу інструменту.

Врахування геометрії деталі та обмежень верстата.

Використання стандартів для інструментів, матеріалів та технологічних процесів.

Зменшення варіацій у процесі виробництва.

Використання точних та стійких інструментів.

Контроль якості на кожному етапі виробництва.

Використання оптимальних стратегій обрізання та обробки для мінімізації відходів.

Врахування норм безпеки при використанні ЧПК технологій.

Застосування заходів для запобігання аваріям та травмам.

Здатність швидко переключатися між виробничими завданнями.

Використання програмованих налаштувань для різних типів деталей.

Ці принципи спрямовані на досягнення максимальної продуктивності, ефективності та якості в процесі виробництва деталей на верстатах з ЧПК.

У серійному виробництві стандартним часом виконання операції є відрядний розрахунок.

Час розрахунку за операцією визначається за формулою (1.52), (1.53):

$$t_{\text{шт-к.}} = \frac{t_{\text{нз}}}{n} + t_{\text{шт.}} \quad (1.52)$$

$$t_{\text{шт.}} = t_o + t_{\text{всп}} + t_{\text{обс}} + t_n \quad (1.53)$$

де $t_{\text{шт.}}$ – відрядний час, хв;

$t_{\text{нз}}$ – підготовчий і заключний час, хв;

n – кількість деталей в партії, $n=40$ шт;

t_o – загальний час на операцію, хв;

$t_{\text{всп}}$ – непродуктивний час, хв;

$t_{\text{обс}}$ – час обслуговування на робочому місці, хв;

t_n – час на особисті потреби, хв.

Технічне нормування на токарну операцію (020)

Основний сукупний час на операцію $t_o = 6,75$ хв

Допоміжний час за формулою (1.54):

$$t_{\text{всп}} = t_y + t_{\text{упр}} + t_{\text{контр}} + t_{\text{пр.}} \quad (1.54)$$

де $t_y=0,8$ хв - допоміжний час на установку і зняття деталі [4, к. 49, стр. 135];

$t_{\text{упр}}=0,015$ хв - допоміжний час на експлуатацію машини [4, к. 60, стр. 150];

$t_{\text{контр.}}=0,1$ хв - стандартний час перевірки [4, к. 64, стр. 160];

$$t_{\text{пер}} = t_{\text{прох.}} + t_{\text{вим.реж}} + t_{\text{уст.загр.}} \quad (1.55)$$

де $t_{\text{прох}}=0,3$ хв - час, пов'язаний з проходженням [4, к. 61, стр. 156];

$t_{\text{вим.реж}}=0,06\text{хв}$ - час, пов'язаний зі зміною швидкості та швидкості подачі [4, к. 61, стр. 156];

$t_{\text{уст.защ}}=0,05\text{хв}$ - установка бар'єру безпеки [4, к. 61, стр. 156].

$$t_{\text{пер.}} = 0,3 + 0,06 + 0,05 = 0,41\text{хв}$$

$$t_{\text{всн}} = 0,8 + 0,015 + 0,1 + 0,41 = 1,33\text{хв.}$$

Визначення експлуатаційного часу за формулою (1.56):

$$t_{\text{он}} = t_o + t_{\text{всн}} \quad (1.56)$$

$$t_{\text{он}} = 6,75 + 1,33 = 8,08\text{хв.}$$

Час на утримання робочого місця за формулою (1.57):

$$t_{\text{обс}} = 10\% \cdot t_{\text{он.}} \quad (1.57)$$

$$t_{\text{обс}} = 10\% \cdot t_{\text{он.}} = 0,1 \times 8,08 = 0,81 \text{ хв}$$

Час для відпочинку та природних потреб за формулою (1.58):

$$t_n = 10\% \cdot t_{\text{он}} \quad (1.58)$$

$$t_n = 0,1 \times 8,08 = 0,81 \text{ хв.}$$

Визначаємо відрядний час на операцію за формулою (1.54):

$$t_{\text{ум.}} = 8,08 + 0,81 + 0,81 = 9,7 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчий і заключний час для операції за формулою (1.59):

$$t_{n-3} = t_{n-31} + t_{n-32} \quad (1.59)$$

де $t_{\text{п-31}}=5 \text{ хв}$ – час витрат на технічне обслуговування машини [4,к.50,стр.137];

$t_{\text{п-32}}=7 \text{ хв}$ – час на витрати, які враховують додаткові роботи, [4,к.50,стр.137].

$$t_{n-3} = 5 + 7 = 12 \text{ хв}$$

Розрахунковий час за операцію за формулою (1.54), хв

$$t_{\text{ум.-к.}} = \frac{12}{40} + 9,7 = 10 \text{ хв}$$

Технічна стандартизація фрезерних операцій (070)

Основний сукупний час на операцію $t_o = 0,16 \text{ хв}$

Визначте допоміжний час за формулою (1.54):

$$t_{\text{всп}} = 0,74 + 0,01 + 0,1 + 0,4 = 1,25 \text{ хв}$$

де t_y - непродуктивний час на установку і зняття деталі, $t_y = 0,74 \text{ хв}$ [4, к. 55, стр. 422];

$t_{\text{упр}}$ - непродуктивний час експлуатації машини, $t_{\text{упр}} = 0,01 \text{ хв}$ [4, к. 59, стр. 425];

$t_{\text{контр.}}$ - стандартний час перевірки, $t_{\text{контр.}} = 0,1 \text{ хв}$ [4, к. 67, стр. 445];

$$t_{\text{пер}} = 0,15 + 0,06 + 0,13 + 0,06 = 0,4 \text{ хв}$$

де $t_{\text{прох}}$ - час, пов'язаний з проходженням, $t_{\text{прох}} = 0,15 \text{ хв}$ [4, к. 65, стр. 443];

$t_{\text{вим.реж}}$ - час, пов'язаний зі швидкістю перемикавання та швидкістю подачі,

$t_{\text{вим.реж}} = 0,06 \text{ хв}$ [4, к. 65, стр. 443];

$t_{\text{інст}}$ - час на установку і зняття інструменту, $t_{\text{інст}} = 0,13 \text{ хв}$ [4, к. 65, стр. 443];

$t_{\text{ЗОТС}}$ - час увімкнення ЗОТС, $t_{\text{ЗОТС}} = 0,06 \text{ хв}$ [4, к. 46, стр. 296];

Визначення експлуатаційного часу за формулою (1.56):

$$t_{\text{он}} = 0,16 + 1,25 = 1,41 \text{ хв.}$$

Час на утримання робочого місця за формулою (1.57):

$$t_{\text{обс}} = 0,08 \times 1,41 = 0,11 \text{ хв}$$

Час для відпочинку та природних потреб за формулою (1.58):

$$t_n = 0,08 \times 1,41 = 0,11 \text{ хв.}$$

Визначаємо відрядний час на операцію за формулою (1.53):

$$t_{\text{ум.}} = 1,41 + 0,11 + 0,11 = 1,63 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчий і заключний час для операції за формулою (1.59):

$$t_{n-3} = 10 + 8 = 18 \text{ хв}$$

де $t_{п-31} = 10$ хв – час витрат на технічне обслуговування машини [4,к.50,стр.301];

$t_{п-32} = 8$ хв – час на витрати, які враховують додаткові роботи, [4,к.50,стр.302].

Відрядно-розрахунковий час на операцію за формулою (1.53), хв

$$t_{ум.-к.} = \frac{18}{40} + 1,63 = 2,08 \text{ хв}$$

Технічне нормування для свердління з ЧПК (065)

Основний сукупний час на операцію $t_o = 15$ хв

Допоміжний час за формулою (1.54):

$t_{с.у.} = 1,65$ хв – час на установку і зняття деталі в кондуктор гребінця, [4, к.44, стр.288];

$t_{м.б.} = 0,11$ хв – час, пов'язаний з виконанням допоміжних штрихів і рухів при обробці поверхні, [4, к.45, стр.294] :

$$t_{всп} = 1,65 + 0,11 = 1,76 \text{ хв}$$

Час роботи верстату за програмою управління $t_{п.у.}$ дорівнює неповному часу роботи верстату за формулою (1.56):

$$t_{п.у.} = 15 + 1,76 = 16,76 \text{ хв.}$$

Час на утримання робочого місця за формулою (1.57):

$$t_{обс} = 0,08 \times 16,76 = 1,34 \text{ хв}$$

Час для відпочинку та природних потреб за формулою (1.58):

$$t_n = 0,08 \times 16,76 = 1,34 \text{ хв.}$$

Визначаємо відрядний час на операцію за формулою (1.53):

$$t_{\text{шт.}} = 16,76 + 1,34 + 1,34 = 19,44 \text{ хв.}$$

Визначаємо підготовчий і заключний час для операції за формулою (1.59):

$$T_{n-3} = 12 + 7 = 19 \text{ хв}$$

$T_{\text{п-31}} = 12 \text{ хв}$ – витрата часу для всіх верстатів з ЧПК [4, к. 60, стр. 301];

$T_{\text{п-32}} = 7 \text{ хв}$ – час на витрати, які враховують додаткові роботи, [4, к. 60, стр. 301]:

Відрядний час на операцію за формулою (1.53), хв

$$t_{\text{шт.-к.}} = \frac{19}{40} + 19,44 = 19,92 \text{ хв}$$

Таблица 1.7 – Техническая норма времени по операциям

№ опер.	Найменування операції	Складові $T_{\text{шт-к}}$						
		t_o	t_b	$t_{\text{оп}}$	$t_{\text{обсл}}$	$t_{\text{п}}$	$t_{\text{п-3}}$	$t_{\text{шт-к}}$
005	Заготівельна	-	-	-	-	-	-	-
010	Термічна обробка	-	-	-	-	-	-	-
015	Токарна ЧПК	4,73	1,15	5,88	0,59	0,59	15	7,44
020	Токарна ЧПК	6,75	1,33	8,08	0,81	0,81	12	10
025	Токарна ЧПК	4,9	0,89	5,79	0,58	0,58	10	7,2
030	Токарна ЧПК	4,77	1,43	6,2	0,62	0,62	13	7,77
035	Токарна ЧПК	14,5	2,36	16,86	1,69	1,69	15	20,62
040	Токарна ЧПК	2,84	0,71	3,55	0,36	0,36	20	4,77
045	Токарна ЧПК	1,83	0,57	2,4	0,24	0,24	11	3,16
050	Токарна ЧПК	1,78	0,62	2,4	0,24	0,24	15	3,26
055	Свердлильна з ЧПК	8,78	2,63	11,41	1,14	1,14	22	14,24
060	Свердлильна з ЧПК	1,02	0,25	1,27	0,13	0,13	8	1,73
065	Свердлильна з ЧПК	15	1,76	16,76	1,34	1,34	19	19,92
070	Фрезерна з ЧПК	0,16	1,25	1,41	0,11	0,11	18	2,08
075	Шліфувальна	1,31	0,78	2,09	0,21	0,21	10	2,76
080	Шліфувальна	0,51	0,27	0,78	0,08	0,08	20	1,44
085	Слюсарна	-	-	-	-	-	-	-

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ, з використанням NXCAM

1.8.1 Розробка токарної операції

Програмне забезпечення NXCAM - це потужний інструмент для керування верстатами з ЧПК, зокрема токарними верстатами. Воно надає ряд можливостей для оптимізації токарної операції:

Моделювання: NXCAM дозволяє створювати віртуальні моделі вашої оброблюваної деталі. Це дозволяє попередньо переглядати та аналізувати операції перед їх виконанням на верстаті, що допомагає уникнути помилок і оптимізувати процес.

Генерація траєкторій і шляхів інструментів: NXCAM автоматично розробляє оптимальні шляхи руху інструменту для обробки деталі. Це включає в себе вибір швидкості, кутів інструменту та інших параметрів, щоб забезпечити ефективну обробку.

Адаптація до матеріалу: Програмне забезпечення враховує властивості матеріалу, використовуючи різні стратегії обробки для кращих результатів.

Оптимізація різання: NXCAM дозволяє налаштовувати різання для досягнення оптимальної швидкості та точності обробки.

Контроль якості: Вбудовані інструменти контролю якості дозволяють вам встановлювати параметри якості та автоматично перевіряти виготовлені деталі.

Ці можливості дозволяють оптимізувати процес токарної обробки, зменшуючи час та витрати, а також підвищуючи точність та якість виробництва.

Операційний ескіз в тривимірному просторі показано на рисунку 1.8.

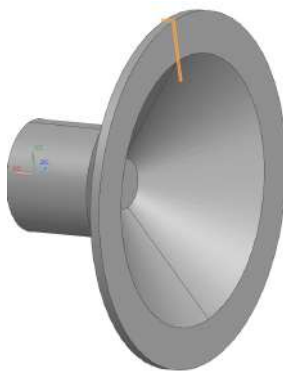


Рисунок 1.8 – Операційний ескіз на токарну операцію з ЧПК у тривимірному просторі

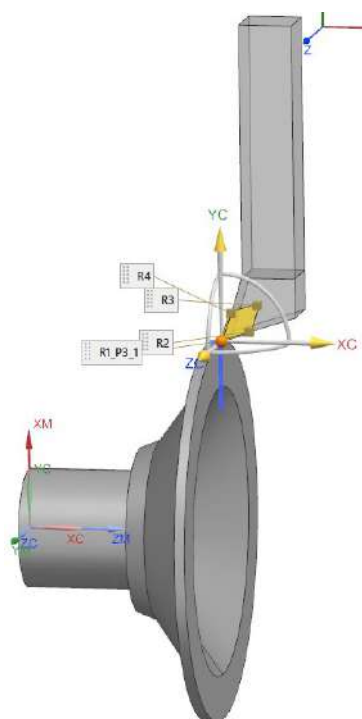


Рисунок 1.9 – Зображення орієнтації інструменту відносно моделі деталі

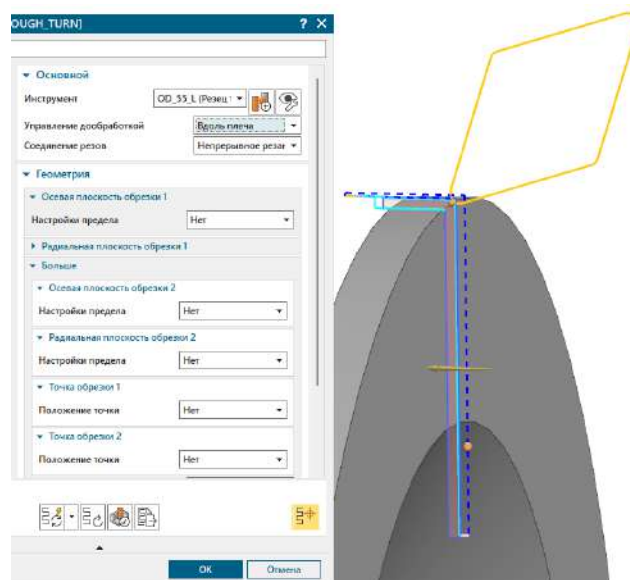


Рисунок 1.10 – Траектория обработки на задану операцію

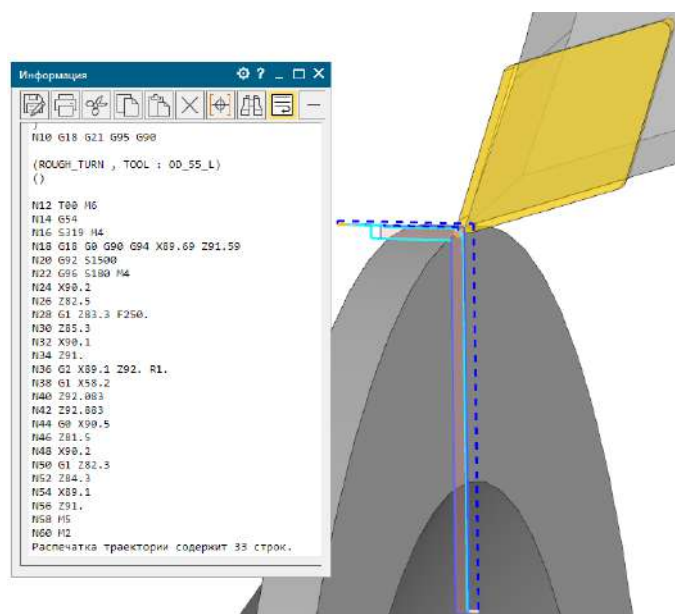


Рисунок 1.11 – Програма в G кодах для заданої операції

1.8.2 Розробка фрезерної операції

Операційний ескіз виконаний в програмному середовищі NX показано на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Операційний ескіз на фрезерну операцію з ЧПК у тривимірному просторі

На рисунку 1.13 відображення розташування інструменту відносно поверхні обробки.

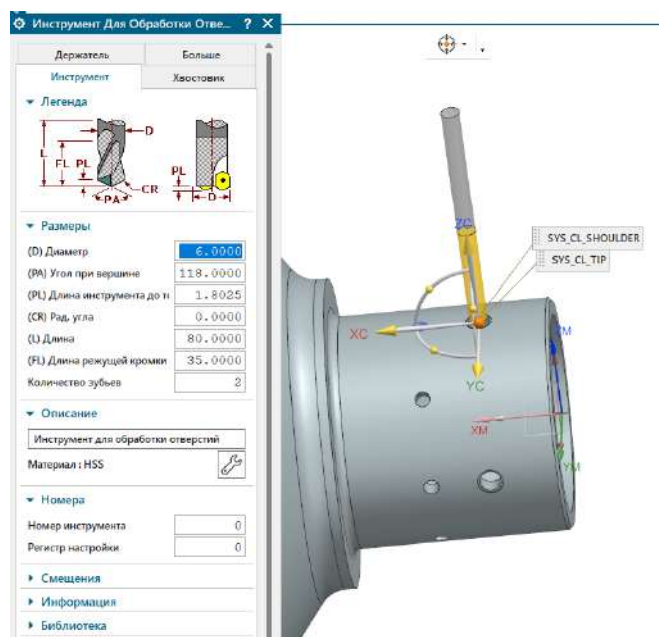


Рисунок 1.13 – Зображення орієнтації інструменту відносно моделі деталі

На рисунку 1.14 показана траєкторія фрезерування зазначеної поверхні.

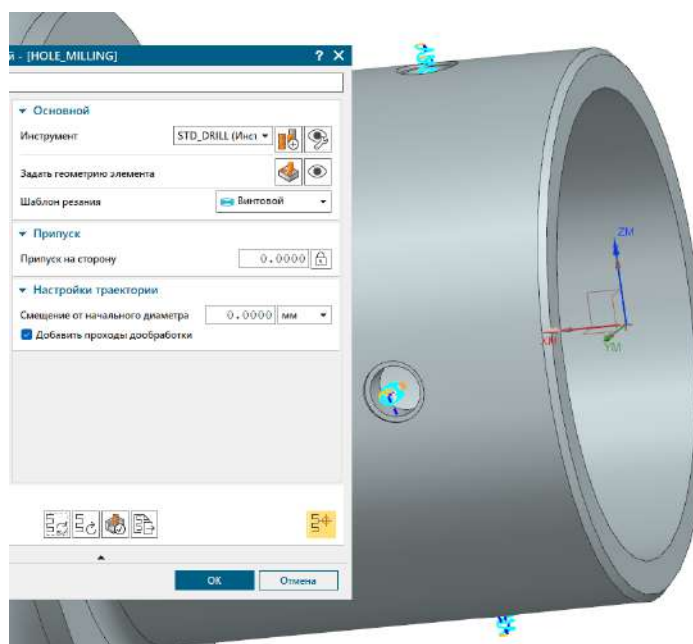


Рисунок 1.14 – Траєкторія обробки на задану операцію

На рисунку 1.15 показано програма поверхні обробки сформована в G-кодах.

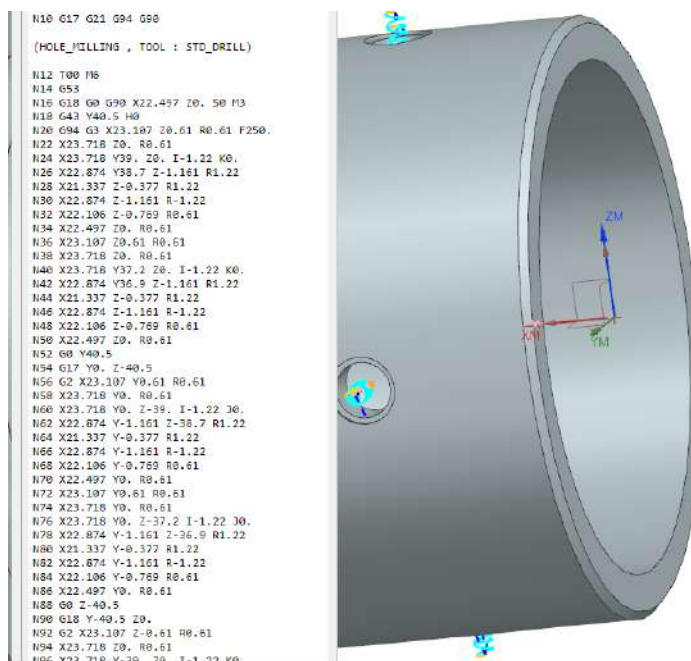


Рисунок 1.15 – Програма в G кодах для заданої операції

1.8.3 Розробка свердлильної операції

Програмування свердлильних операцій з ЧПК у модулі NXCAM включає в себе кілька ключових особливостей:

Створення геометрії оброблюваної деталі: NXCAM дозволяє імпортувати геометрію деталі або створювати її прямо в програмі для подальшої обробки (рис. 1.16).

Вибір інструментів та матеріалів: Модуль NXCAM має бібліотеки різноманітних інструментів та матеріалів, що дозволяє вибирати оптимальні параметри для конкретної свердлильної операції (рис. 1.17).

Створення операцій свердління: Користувач може визначити точки свердління, глибину свердління, параметри охолодження та швидкість обертання інструменту для кожної операції.

Генерація траєкторій свердління: NXCAM автоматично генерує оптимальні траєкторії для свердління, враховуючи безпеку і точність обробки.

Візуалізація та симуляція: Перед виготовленням деталі можна візуалізувати операції свердління та виконати симуляцію для визначення можливих проблем або конфліктів (рис. 1.18).

Оптимізація та корекція: Виправлення можливих проблем через інтерфейс програми, такі як уникнення зіткнень і точніше позиціонування свердлів.

Отримання програми у відповідній мові програмування (рис. 1.19).

Ці функції дозволяють програмістам та операторам здійснювати ефективне програмування та контроль свердлильних операцій, забезпечуючи оптимальну якість та продуктивність виробництва.



Рисунок 1.16 – Операційний ескіз на фрезерну операцію з ЧПК у тривимірному просторі

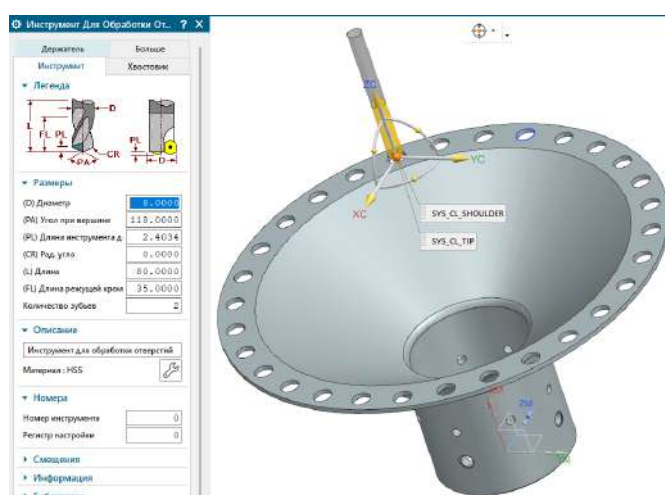


Рисунок 1.17 – Зображення орієнтації інструменту відносно моделі деталі



Рисунок 1.18 – Траєкторія обробки на задану операцію

```

)
M10 G17 G21 G94 G90
(DRILLING , TOOL : STD_DRILL_1)
M11 T00 M6
M14 G53
M16 G19 G0 G90 Y-105.562 Z34.316 S0 M3
M18 G43 X122.5 H0
M20 G94 G81 G98 X112.097 F250. M122.5
M22 Y-66.101 Z55.514
M24 Y-82.478 Z74.286
M26 Y-65.231 Z89.01
M28 Y-45.133 Z100.41
M30 Y-23.002 Z100.578
M32 Y0.036 Z111.
M34 Z25.894 Z108.571
M36 Y45.163 Z101.397
M38 Y05.257 Z89.791
M40 Y82.5 Z74.261
M42 Y90.337 Z55.486
M44 Y105.572 Z34.205
M46 Y110.594 Z11.590
M48 Y110.59 Z-11.019
M50 Y105.592 Z-34.210
M52 Y90.321 Z-55.514
M54 Y82.478 Z-74.286
M56 Y05.231 Z-89.01
M58 Y45.133 Z-100.41
M60 Y23.002 Z-100.578
M62 Y-0.036 Z-111.
M64 Y-23.004 Z-100.571
M66 Y-45.163 Z-101.397
M68 Y-65.207 Z-89.791
M70 Y-82.5 Z-74.261
M72 Y-90.337 Z-55.486
M74 Y-105.572 Z-34.205
M76 Y-110.594 Z-11.590
M78 Y-110.59 Z11.019
M80 G80
M82 M5
M84 M2

```



Рисунок 1.19 – Програма в G кодах для заданої операції

Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ з використанням NXCAM є важливим етапом у виробництві, оскільки це дозволяє оптимізувати процеси обробки деталей. Це програмне забезпечення дозволяє: Автоматизація програмування: Він пропонує автоматичне створення траєкторій інструментів, що зменшує час на програмування верстатів з ЧПУ. Підвищення якості виробництва: У висновку, NXCAM є потужним інструментом для програмування технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ. Використання цього програмного забезпечення дозволяє оптимізувати виробничі процеси, зменшуючи час, витрати та підвищуючи якість виготовлених деталей.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Мембранне пристосування, показане на рисунку 2.1, складається з пластини з отворами для установки гнучкої мембрани. Ця пластина перед використанням центрується й вивіряється. Потім пристосування закріплюється до планшайби верстата через три отвори. Для автоматизації цього процесу використовується пневматичний привід для затискування мембрани. Пневматичний привід має численні переваги, такі як швидкість реакції, сталість зусиль затиску та його регулювання, простота в управлінні та незалежність від температурних змін у навколишньому середовищі. В даному випадку пропонуємо використовувати пневмоциліндр двосторонньої дії, прямий і зворотний хід якого здійснюється за рахунок стисненого повітря.

Після установки оброблюваної деталі до контакту з упором 3 для затиску за допомогою тяги, за допомогою пружних властивостей мембран, закріплюємо оброблювану заготовку.

Корпус пневмоциліндра (означений як 5) фіксується кришкою (6) за допомогою гвинтів. У середині корпусу розташовано поршень (7) зі штоком (8), який пов'язаний з валом (9). У цьому валу розміщено пустотілий стрижень (10), через який подається повітря у пневмосистему. На цьому валу закріплені втулки (11), фіксовані на валу за допомогою розтискної шайби (12).

Приплив повітря до системи змушує поршень і шток підніматися. Це викликає розтискання клинів мембрани, що дозволяє знімати заготовку з пристосування. Відкривши клапани "б", повітря виходить з системи, і мембрана розслаблюється, що дозволяє фіксувати заготовку.

Мембранні пристосування мають кілька переваг, серед яких:

Висока точність обробки: Забезпечують високу концентричність оброблюваних отворів відносно базової поверхні, що важливо для точних технологічних операцій. Універсальність: Застосовуються для затиску різних деталей, зокрема тонкостінних втулок та кілець великого діаметру, що робить їх універсальними в виробничих процесах. Ефективність у виготовленні тонких деталей: Незамінні при обробці тонкостінних втулок та кілець, де важлива висока концентричність отворів. Автоматизація процесу: Застосування пневматичного приводу для затиску мембрани спрощує процес і забезпечує швидкість у виконанні

операцій. Стабільність та регульованість: Пневматичний привід забезпечує сталість зусиль затиску та можливість його регулювання, що важливо для різних видів виробництва. Всі ці переваги роблять мембранні пристосування важливими у виробництві для досягнення високої якості та точності виготовлення деталей.

Хоча мембранні пристосування мають свої переваги, вони також мають кілька недоліків. Обмежена сила затиску: Мембранні пристосування, особливо ті, які працюють на пневматиці, можуть мати обмежену силу затиску порівняно з іншими видами затискних пристроїв. Обмеженість застосування: Їх ефективність може бути обмеженою у випадках, коли потрібні великі сили затиску або у випадках важких матеріалів. Потреба у догляді та обслуговуванні: Мембранні пристосування потребують регулярного обслуговування та перевірок, оскільки мембрана може піддаватися зносу. Чутливість до ушкоджень: Мембрани можуть бути вразливими до пошкоджень або проколів, що може призвести до втрати функціональності та потреби у заміні. Обмеженість у важких умовах експлуатації: У деяких випадках, особливо у важких умовах роботи, такі як висока температура чи агресивне середовище, мембранні пристосування можуть показати обмежену ефективність.

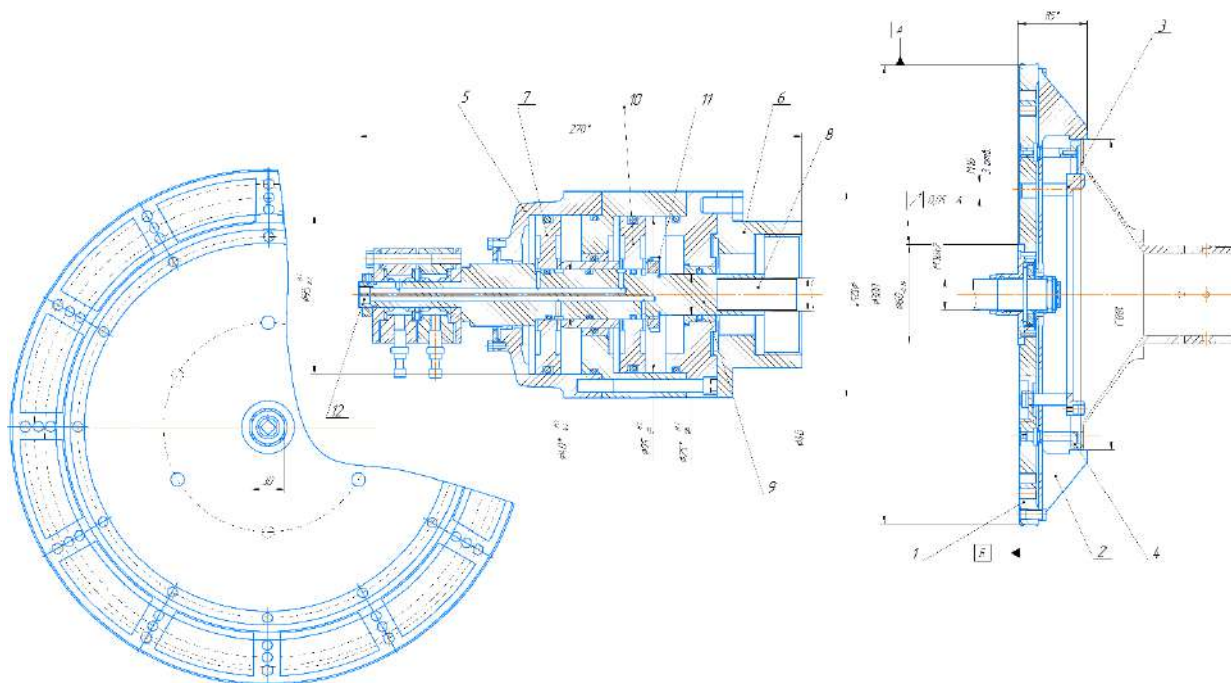


Рисунок 2.1 – Мембранне пристосування для токарної обробки на верстаті з ЧПК

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Розрахунок похибки базування для мембранних пристосувань спрямований на оцінку точності та концентричності встановлення деталі відносно базової поверхні. Основні особливості розрахунку включають:

Геометричні параметри: Врахування розмірів та форми мембрани, а також деталі, яку необхідно затиснути. Це включає діаметр, товщину та геометричні параметри мембрани та деталі.

Матеріали: Оцінка властивостей матеріалів мембрани та деталі для визначення можливих деформацій під час затискування.

Сили та тиск: Розрахунок сил, що застосовуються під час затискування та їх вплив на мембрану і деталь. Це важливо для визначення можливих деформацій та зсувів.

Точність затискування: Оцінка впливу зазорів, поглиблень або відхилень на точність затискування та концентричність деталі.

Аналіз деформацій: Врахування можливих деформацій мембрани та їх впливу на точність та стабільність затискування.

Експлуатаційні умови: Врахування температурних змін, агресивного середовища або інших факторів, які можуть вплинути на роботу мембранного пристрою.

Ці розрахунки допомагають передбачити можливі похибки базування та визначити оптимальні параметри роботи мембранного пристосування для досягнення необхідної точності та якості обробки деталі.

Всі ці особливості були враховані при розрахунку похибки базування.

Розрахуємо похибку базування за формулою (2.1) [5].

$$\varepsilon_{\text{уст}} = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2} \quad (2.1)$$

де $\varepsilon_{\text{баз}}$ – похибка базування деталі у пристосування;

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення при використанні заданого пристосування.

За довідниковими даними точність виготовлення мембрани знаходиться в межах 0,04 ... 0,06мм. [5] Похибка базування даного пристосування визначається точністю цих даних та складе 50 мкм.

Похибка закріплення отримуємо за довідниковими даними [5] $\varepsilon_{\text{зак}} = 40$ мкм.

З отриманих довідникових даних похибка встановлення визначається за формулою 2.1:

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

Розрахунок на точність пристосування полягає у перевірці умови при виконанні якої використання пристосування буде раціональним:

$$\sum E_i \leq T_{обр} \quad (2.10)$$

де $T_{обр}$ – допуск на поверхню яка обробляється.

Необхідно витримати розмір обробки $\varnothing 244_{-0,72}$ мм. Розраховуємо номінальний розмір та допуск на виготовлення габариту установка.

Середній розмір обробки розраховується за формулою [5]:

$$A_{cp} = A - \frac{TA}{2}, \quad (2.11)$$

де A – розмір обробки, мм;

TA – допуск на розмір обробки, мм.

$$A_{cp} = 244 - \frac{0,72}{2} = 243,64 \text{ мм}$$

Визначаємо середній розмір висоти установку:

$$H_{cp} = A_{cp} + A = \left(A - \frac{TA}{2} \right) + A \quad (2.12)$$

де A – розмір, що пов'язує розмір установку та розмір обробки.

$$H_{cp} = 243,64 + 244 = 487,64 \text{ мм}$$

Розраховуємо допуск на виготовлення установку:

$$T_H \leq T_A - (k_1 \times E_6 + E_2 + k_2 \times w) \quad (2.13)$$

де k_1 – 0.8...0.85 коефіцієнт, що враховує відхилення від знаку нормального розподілення;

E_6 – похибка базування;

E_2 – похибка закріплення;

$k_2 = 0.6 \dots 0.65$ – коефіцієнт зменшення величини w , котрий враховує долю похибки обробки, від факторів, які не залежать від пристосування;

w – середня економічна точність обробки на цю операцію [5];

$T_{\text{пр}}$ – допуск на виготовлення пристосування.

$$T_H \leq 720 - (0,8 \times 50 + 40 + 0,6 \times 15)$$

$$T_H \leq 631$$

Визначаємо величину $\pm \frac{T_H}{2}$. Прийmemo $\frac{T_H}{2} = \pm 0,3155 \text{ мм}$. Виконавчий розмір установу: $\phi 244 \pm 0,3155$.

2.1.3 Визначення сил затиску

Вихідними даними для визначення сил затиску в мембранному пристосуванні є: момент різання і діаметр базової поверхні деталі.

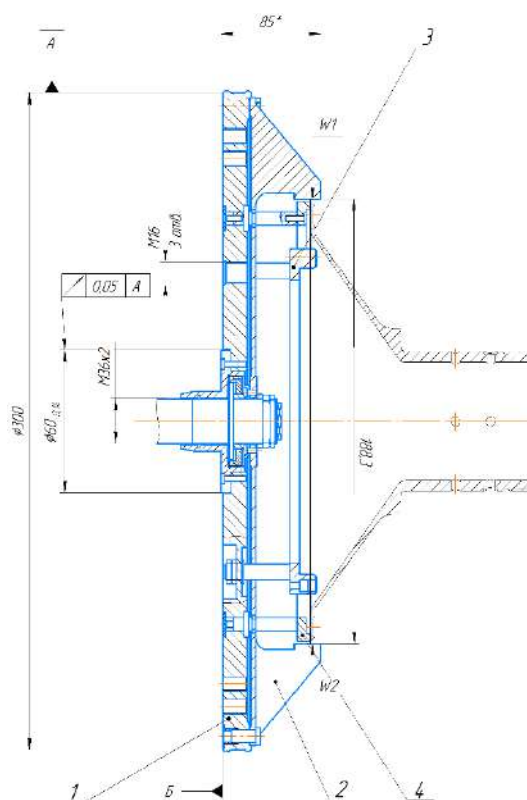


Рисунок 2.2 – Схема для розрахунку зусилля затиску

Момент різання розраховуємо за формулою (2.2) [5].

$$M = P_x \times l \quad (2.2)$$

де P_x – осьова сила різання, [5].

$$P_x = 10 \times C_p \times t^x \times S^y \times v^n \times K_p \quad (2.3)$$

де K_p – фактор, який враховує вплив геометрії інструменту та параметри матеріалу [5].

$$K_p = K_{Mp} \times K_{\varphi p} \times K_{\gamma p} \times K_{\lambda p} \times K_{rp} \quad (2.4)$$

$$K_p = 1,8 \times 0,78 \times 1,0 \times 0,85 \times 1,0 = 1,19$$

$$P_x = 10 \times 243 \times 0,8^{0,9} \times 0,2^{0,6} \times 94,2^{-0,3} \times 1,19 = 230,3 \text{ Н}$$

Тоді:

$$M = 230,3 \times 9,5 = 2187,8 \text{ Н} \cdot \text{мм}$$

Зусилля затиску на одному кулачку мембрани [5]:

$$W = \frac{k \times M}{2 \times n \times f \times d} \quad (2.5)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k=2,5$ [5];

n – кількість кулачків;

f – коефіцієнт тертя базової поверхні деталі і кулачка, приймається рівними від 0.15 до 0.18.

$$W_0 = \frac{2,5 \times 2187,85}{2 \times 12 \times 0,16 \times 905,8} = 1,57 \text{ кН}$$

За довідниковими даними в залежності від діаметру базової поверхні деталі визначаємо діаметр мембрани 245 мм, товщину мембрани – 6 мм [5].

Жорсткість мембрани визначимо за [5]:

$$B = \frac{E \times s^3}{12 \times (1 - \mu^2)} \quad (2.6)$$

де $E = 2.1 \cdot 10^5$ МПа – модуль пружності;

s – товщина мембрани;

μ - коефіцієнт Пуассона, $\mu = 0.3$.

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

Кут розтиску кулачків [5]:

$$\varphi = \frac{M_3 \times d}{2 \times B \times (1 + \mu)} \quad (2.7)$$

де $M_3 = 0.825 \text{ кН} \cdot \text{мм}$ – момент закріплення.

$$\varphi = \frac{0,825 \times 10^3 \times 377,6}{2 \times 11810096 \times (1 + 0,3)} = 0,01 \text{ рад}$$

Зусилля на клині мембрани визначається за формулою [5]:

$$Q = W \times \frac{d}{D \times n} \times \text{tg } \varphi \quad (2.8)$$

де W – зусилля затиску, Н;

d – діаметр, базування заготовки, мм;

D – діаметр мембрани, мм;

φ – кути тертя, град.

$$Q = 3,77 \times 10^3 \times \frac{377,6}{390 \times 12} \times \text{tg } 8^\circ = 427 \text{ Н}$$

Визначаємо діаметр пневмоцилиндру [5]:

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot P \cdot \eta \quad (2.9)$$

де $P = 0,5 \text{ МПа}$ – тиск у пневмоциліндрі;

$\eta = 0,9$ – коефіцієнт корисної дії пневмоцилиндру.

Тоді,

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot P \cdot \eta}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 427}{3,14 \cdot 0,5 \cdot 10^6 \cdot 0,9}} = 0,09 \text{ м} = 90 \text{ мм}$$

Приймаємо діаметр пневмоциліндра з стандартного ряду $D = 95 \text{ мм}$. [5]

Розрахунок пристосування на міцність

Визначаємо величину напруги зрізу за формулою [5]:

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{P}{\pi \times d_1 \times k \times H \times k_m}, \quad (2.14)$$

де P – сила, діюча на витки різі, Н;

d_1 – внутрішній діаметр різі, м;

$k=0.87$ – коефіцієнт повноти різі;

H – довжина різі в проушині, м;

$k_m=0.75$ – коефіцієнт нерівномірності навантаження

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{230,3}{3,14 \times 36 \times 10^{-3} \times 0,87 \times 23 \times 10^{-3} \times 0,75} = 0,14 \text{ МПа}$$

Допустиме напруження зрізу для матеріалу дорівнює $[\tau]_{\text{ср}}=150 \text{ МПа}$.

Відповідно: $\tau_{\text{ср}} < [\tau]_{\text{ср}}$.

Розрахунок різі за формулою:

$$\sigma_{\text{с.м}} = \frac{4 \times P}{\pi \times (d^2 - d_1^2) \times k_m \times z}, \quad (2.15)$$

де d – зовнішній діаметр різі, м;

z – кількість витків на довжині загвинчування ($z=18$).

$$\sigma_{\text{с.м}} = \frac{4 \times 230,3}{3,14 \times (0,04^2 - 0,036^2) \times 0,75 \times 18} = 715 \text{ (кПа)}$$

Допустиме напруження смятия для матеріала тяги дорівнює $[\sigma]_{\text{см}}=282 \text{ МПа}$.

Відповідно: $\sigma_{\text{см}} < [\sigma]_{\text{см}}$.

За результатами розрахунків робимо висновок – різь тяги витримає навантаження, що виникають при роботі пристосування.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Пристосування для контролю торцевого биття - це пристрій, призначений для вимірювання відхилення поверхні деталі або інструменту від плоскості торця, що дозволяє визначати точність паралельності, перпендикулярності та рівності торцевих поверхонь.

Особливості такого пристосування включають: Датчики або вимірювальні пристрої: Використання спеціальних датчиків, які дозволяють вимірювати відхилення поверхні відносно торця. Це може бути здійснене за допомогою лазерних датчиків, мікрометрів або інших вимірювальних пристроїв. Точність вимірювань: Здатність забезпечувати високу точність вимірювань, оскільки торцеве биття може бути критичним для деяких деталей або процесів виготовлення. Автоматизація процесу вимірювання: Можливість інтеграції з системами ЧПУ або автоматизованими системами для автоматичного контролю торцевого биття під час обробки деталей. Можливість корекції: В деяких випадках, ці пристрої можуть також забезпечувати можливість корекції або компенсації відхилень, що дозволяє покращити точність обробки. Моніторинг стану інструменту: Крім контролю деталей, такі пристрої можуть вимірювати стан самого інструменту, забезпечуючи можливість вчасного реагування на знос або ушкодження. Пристрої для контролю торцевого биття важливі для забезпечення високої якості виробництва, де критична точність та паралельність поверхонь торця. Пристосування яке використовується у базовому технологічному процесі дозволяє виконувати контроль величини торцевого биття. Пристосування працює наступним чином: деталь встановлюється на оправку з пальцем 11, затискання відбувається закручуванням затискача 5 який давить на гумову прокладку 21 яка тисне на спеціальне кільце воно розтискається та затискає деталь. Контроль відбувається наступним чином: індикаторний годинник опирається в торець деталі, обертаючи маховик 7 відбувається контроль биття по відхиленню стрілки індикатору.

Індикаторні пристосування для контролю торцевого биття, хоча є корисними, також мають свої обмеження та недоліки: Обмежена точність: Індикаторні пристрої можуть мати обмежену точність порівняно з більш сучасними системами вимірювання. Це особливо важливо у випадках, коли потрібна вельми висока точність.

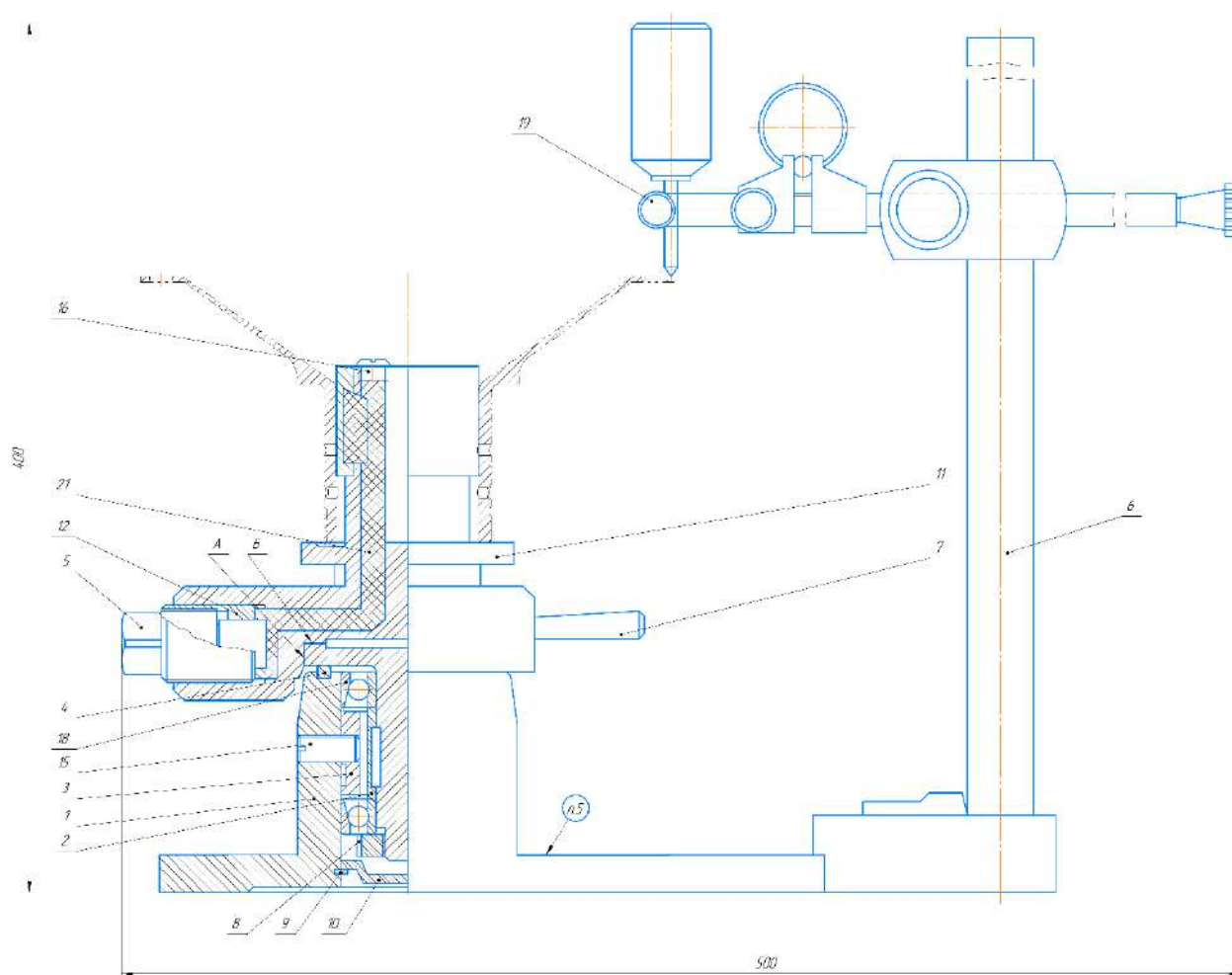


Рисунок 2.3 – Пристосування для контролю торцевого биття

Часові витрати: Вимірювання торцевого биття за допомогою індикаторних пристроїв може вимагати багато часу, особливо у випадках обробки великої кількості деталей. Суб'єктивність вимірювань: Результати вимірювань можуть бути суб'єктивно сприйняті, оскільки точність може залежати від уміння та досвіду оператора. Потреба у кваліфікованому персоналі: Використання індикаторних пристроїв вимірювання вимагає обізнаності та навичок для правильного використання, що може бути складним для неспеціалізованих працівників. Обмежені можливості корекції: В деяких випадках, індикаторні пристрої можуть не забезпечувати можливості автоматичної корекції виявлених відхилень у торцевому битті. Індикаторні пристосування залишаються корисними для загальних вимірювань, але вони можуть мати свої обмеження, особливо у вимогливих виробничих умовах, де потрібна велика точність та швидкість вимірювань.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Використання прогресивних безконтактних систем контролю поверхонь

Головним недоліком індикаторних систем вимірювання є обмеженість індикаторних годинників та великий вплив на точність вимірювання людського фактору. Серед сучасних систем безконтактного вимірювання великого значення набувають наступні системи: портативна система контролю осьове та радіальне биття; 3D-сканер метрологічного класу для контролю великих деталей; система технічного зору розумної камери.

Система Blum-Novotest PSC (Portable Spindle Control) [6] дозволяє компаніям перевіряти шпинделі всіх верстатів у цеху за допомогою однієї портативної лазерної системи. PSC – це компактна та проста у використанні система, що дозволяє користувачам контролювати необмежену кількість мотор-шпинделів на підприємстві. Виміряйте осьове та радіальне биття, проведіть аналіз вібрації або перевірте стабільність шпинделя верстата безпосередньо на комп'ютері за допомогою цього портативного пристрою. Зображення системи показано на рисунку 3.1.

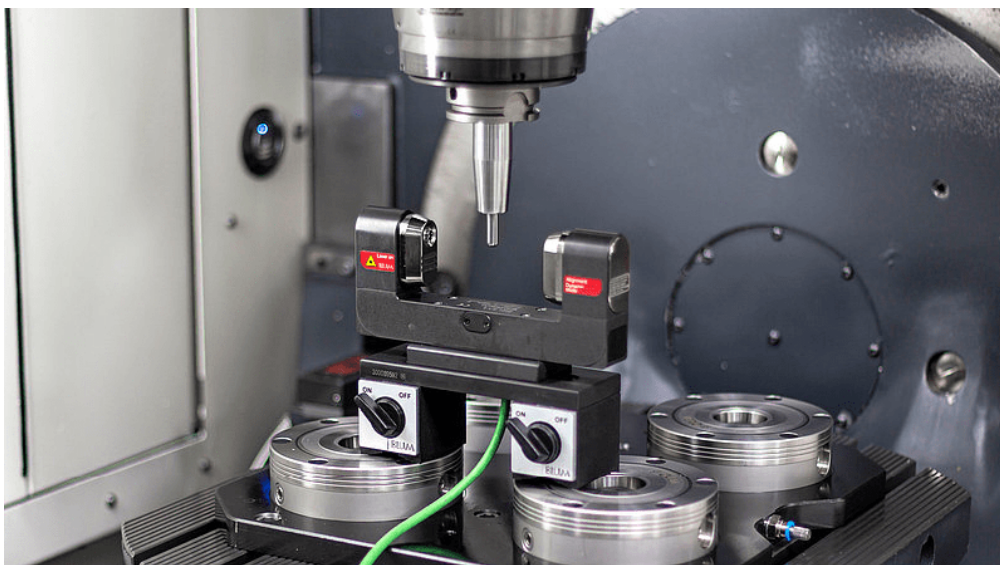


Рисунок 3.1 – Портативна система контролю осьового та радіального биття [6]

Дуже важливим аспектом у сфері обслуговування шпинделів є перевірка встановлених шпинделів. Якщо компанія помічає, що верстат більше не забезпечує звичну точність або поверхні не обробляються з необхідною якістю, сервісна

служба Kptec повинна спочатку перевірити, в чому полягає проблема. Досі користувачі мали можливість тільки вставити вимірювальну головку в шпиндель і вручну реєструвати відхилення шпинделя за допомогою циферблатного індикатора [6]. Оскільки цей вимір виконується контактним способом, а не робочої швидкості, на практиці це, звичайно, менш значуще. Крім того, умови на шпинделі сильно змінюються в залежності від швидкості та часу роботи. Наприклад, переднатяг у підшипникових вузлах змінюється у всьому діапазоні швидкостей, шпиндель нагрівається та розширюється – всі ці зміни мають великий вплив у процесі роботи, який неможливо зареєструвати та врахувати при ручних вимірах. На рисунку 3.2 показано процес контролю деталі.



Рисунок 3.2 – Контроль шпинделю [6]

Використовуючи Portable SpindleControl (PSC) від BLUM, сервісна компанія Kptec покладається на портативне, високоінтелектуальне рішення, яке дозволяє проводити вимірювання на шпинделі, що обертається, і у всіх робочих станах. Система PSC, розміщена у зручному кейсі для перенесення, складається з лазерної вимірювальної системи, прикріпленої до столу верстата за допомогою магнітного утримувача, інтерфейсного блоку та програмного забезпечення LC-VISION PSC, що працює на підключеному ноутбучі [6]. Для вимірювання оператор верстата позиціонує шпиндель за допомогою еталонного інструменту, затисненого в лазерному промені вимірювальної системи, та запускає невелику програму ЧПУ, на основі якої верстат проходить заздалегідь певні ступені швидкості. Паралельно

із вимірюванням програмне забезпечення, встановлене на ПК, оцінює дані вимірювання та візуалізує їх на екрані ноутбука [6].

Перше вимір зазвичай є вимірювання стабільності. Потім слідує вимірювання биття у всьому діапазоні швидкостей, в ході якого точно вимірюються і документуються осьове та радіальне биття. Потім виконується аналіз вібрації та вимірювання параметрів, включаючи запис різних вібрацій усередині підшипників шпинделя. Під час експлуатації у відомого постачальника автомобільної продукції сервісна служба Kptec змогла використовувати PSC, щоб показати, що один із двох шпинделів обробного центру з подвійним шпинделем зношений, що призводить до дорогого браку та неправильної обробки (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Використання спеціального програмного забезпечення [6]

«Величезною перевагою для нас є графічні візуалізації, які програмне забезпечення LC-VISION PSC використовує для відображення результатів вимірювань. Дуже точні безконтактні виміри також дозволяють виявити проблеми, пов'язані зі шпинделем, які, власне кажучи, не мають до нього жодного відношення», — пояснює Марко Попп. «Наприклад, це можуть бути зношені ШВП або направляючі верстата, тому що на верстаті роками виготовлялися ті самі деталі, і вузол ковзання завжди переміщався в одних і тих же місцях. Як рішення plug & play, яке не вимагає підключення до контролера верстата або будь-яких пов'язаних з ним налаштувань ПЛК для роботи, PSC особливо корисний у мобільних додатках». Це ще одна причина, через яку служба kptec тепер може запропонувати клієнтам нові послуги, які раніше були неможливими [6].

Лінійка портативних промислових 3D-сканерів серії MAX, розроблена та виготовлена в Канаді, пропонує вражаючу область 3D-сканування розміром приблизно 1 x 1 м і була розроблена для отримання точних 3D-вимірювань будь-яких великих та складних поверхонь. Завдяки кільком режимам сканування, які дозволяють користувачам вибирати між найшвидшим часом сканування або максимальною роздільною здатністю, нові портативні 3D-сканери пропонують рівень універсальності, який дозволить професіоналам оптимально вимірювати будь-які великі деталі та збирання (до 15 м). Поєднуючи в собі швидкість, надвеликий обсяг вимірювання, точність, портативність і простоту, нові сканери дозволять забезпечити простий, ефективний і надійний процес вимірювання деталей, які зазвичай використовуються в аерокосмічній, транспортній, енергетичній, гірничодобувній та важкій промисловості. серед інших. Зовнішній вигляд процесу використання 3Д сканеру показано на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Процес контролю 3Д сканером [6]

Завдяки об'ємній точності $0,100 \text{ мм} + 0,015 \text{ мм/м}$, акредитації ISO 17025 та відповідності стандарту VDI/VDE 2634 частина 3, серія MAX забезпечує результати метрологічного рівня, що робить її ідеальною для контролю якості, точного зв'язку між деталями та жорсткими допусками та необхідністю зворотного проектування великих деталей. Крім того, в нових сканерах, як і раніше, використовуються потужні алгоритми динамічної прив'язки Creaform, що дозволяють точно і ретельно 3D-сканувати будь-який об'єкт, будь то в лабораторії, цеху або в польових умовах [6]. Зовнішній вигляд 3Д сканеру показано на рисунку 3.5.



Рисунок 3.5 – Сучасний 3Д сканер [6]

Система легко налаштовується та швидко налаштовується. 3D-сканування можна легко і легко інтегрувати в будь-яке програмне забезпечення САПР, прискорюючи та спрощуючи розробку продукту, процеси 3D-контролю та зворотного проектування великих деталей та складання.

Серія MAX має всі характеристики, які зробили лінійку HandySCAN 3D еталоном в галузі: справжня портативність, технологія синього лазера, вбудована фотограмметрія, побудова сітки в реальному часі та багато іншого. Він також пропонує нові ключові функції, які гарантовано спростять будь-який процес сканування:

Flex Volume: дозволяє користувачеві сканувати з чудовою якістю на невеликій відстані та вимірювати великі деталі на дуже високій швидкості з більшої відстані [6].

Алгоритм Smart Surface: складна обробка зображень у поєднанні зі штучним інтелектом оптимізує вимірювання поверхні для безпрецедентного відстеження, підвищення продуктивності, кращого зчитування складних контрастних покриттів та спрощення процесу сканування (рис. 3.6).

Калібрування в реальному часі: Серія MAX інтегрує етап калібрування безпосередньо в робочий процес сканування, виконуючи його автоматично та плавно.

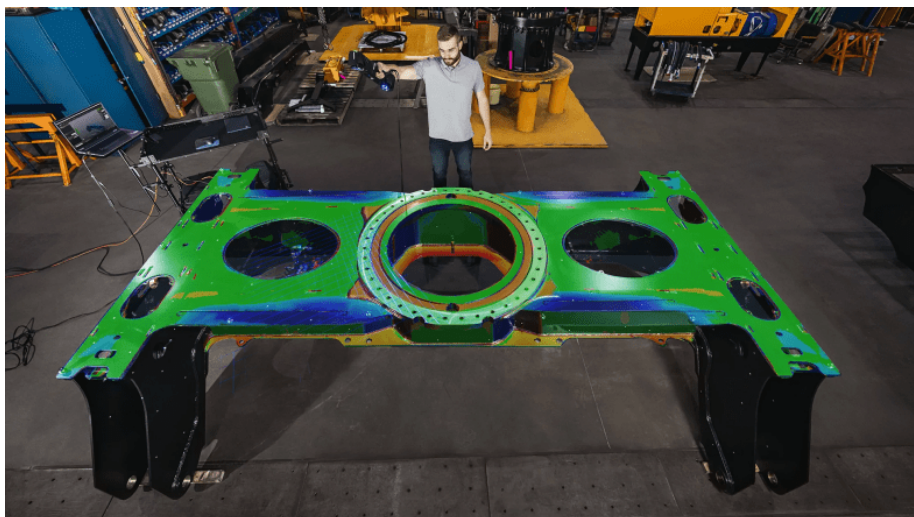


Рисунок 3.6 – Використання алгоритму Алгоритм Smart Surface [6]

Вимірювання великих і складних поверхонь 3D за допомогою портативного пристрою раніше було дуже складним завданням, а в деяких випадках навіть неможливою. Унікальні можливості серії MAX усувають розрив та надають інноваційні рішення для вимірювання розмірів для багатьох виробників, з якими ми зустрічалися багато років.

Система технічного зору розумної камери пропонує вбудований штучний інтелект. Серія VS включає передову технологію управління об'єктивом, що дозволяє ефективно керувати 19 об'єктивами інтелектуальної камери зі ступенем захисту IP67. Інновація усуває необхідність ручного вибору об'єктива або фізичного налаштування, дозволяючи таким чином одній моделі камери легко адаптуватися до різних вимог до зображення одним натисканням кнопки. У штучного інтелекту та систем, заснованих на правилах, є свої плюси та мінуси. Серія VS пропонує перевірки як на основі штучного інтелекту, так і на основі правил, що дозволяє користувачеві вибрати найкращий інструмент для будь-якої перевірки. Використовуючи широкий спектр інструментів машинного зору, можна швидко розробити відповідні рішення (рис. 3.7).



Рисунок 3.7 – Процес використання камери VS [6]

Серія VS забезпечує негайну візуалізацію та аналіз за допомогою інтуїтивно зрозумілих операцій. Для використання даних перевірки зображень не потрібні спеціальні знання або навички програмування.

ZoomTrax – оптичний зум без втрати дозволу

Серія об'єктивів із механічним зумом дозволяє використовувати одну камеру в широкому діапазоні монтажних відстаней та полів зору без зміни об'єктивів. Доступні спеціальні CMOS-сенсори з роздільною здатністю від 1,6 до 15 МП. Завдяки інтеграції серії з 19 лінз та датчика CMOS серія VS забезпечує високоякісні оптичні характеристики з мінімальними спотвореннями (рис. 3.8).

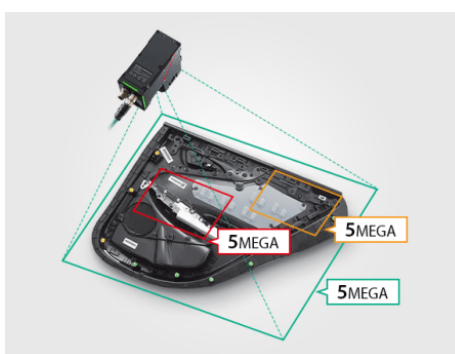


Рисунок 3.8 – Схема використання вільно регулюємого поля зору [6]

Використовуючи оптичний зум, VS може легко змінити поле зору, не жертвуючи дозволом. Всі налаштування можуть бути виконані за допомогою програмного забезпечення без будь-яких механічних змін. Серія VS використовує унікальний алгоритм автофокусування для створення найкращого зображення. Це оптимізує зображення для додатків зчитування коду, вимірювань та дефектоскопії, що потребують високої роздільної здатності [6].

Інтегровані інструменти штучного інтелекту

Серія VS пропонує два простих у використанні інструменти штучного інтелекту, які можна використовувати для навчання зображень. Інструменти Edge AI можна запрограмувати на будь-яку кількість зображень. На відміну від типових інструментів глибокого навчання інструменти Edge AI можна застосовувати швидко і легко.

Методи освітлення та алгоритми для надійних перевірок

Нова серія підтримує живлення через Ethernet, дозволяючи подавати живлення як на камеру, так і на освітлення за допомогою одного Ethernet-з'єднання, і оснащена високоінтенсивним інтелектуальним кільцевим підсвічуванням, яке встановлюється з клямкою і має можливість відключати навколишнє світло. Він має внутрішню пам'ять об'ємом до 7 ГБ, частоту кадрів до 44 кадрів в секунду та роздільну здатність до 4400 x 3295 мегапікселів.

4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

4.1 Особливості магніто-порошкового контролю

Магнітопорошкова томографія (МТ) є дуже популярним, недорогим методом для виконання неруйнівного дослідження (NDE) феромагнітного матеріалу. Феромагнітність визначається в розділі V ASME як «термін, що застосовується до матеріалів, які можуть намагнічуватися або сильно притягуватися магнітним полем». МТ — це метод нерозривної обробки, який перевіряє наявність поверхневих розривів, але також може виявити розриви трохи нижче поверхні.

Коли феромагнітний матеріал (зазвичай залізо або сталь) без дефектів, він передаватиме лінії магнітного потоку (поля) через матеріал без будь-яких перерв (рис. 4.1).

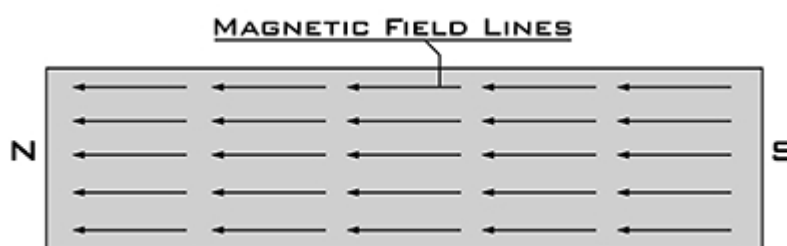


Рисунок 4.1 – Схема дії магнітного поля у деталі без дефектів [7]

Але коли є тріщина або інший розрив, магнітний потік витікає з матеріалу. Під час витіку магнітний потік (магнітне поле) збиратиме феромагнітні частинки (залізний порошок), роблячи розмір і форму розриву легко видимими (рис. 4.2).

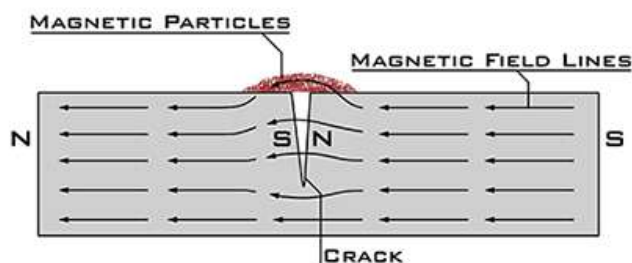


Рисунок 4.2 - Схема дії магнітного поля у деталі з тріщиною [7]

Однак магнітний потік буде витікати з матеріалу, лише якщо розрив загалом перпендикулярний його потоку. Якщо розрив, наприклад тріщина, паралельний лініям магнітного потоку, витіку не буде, а отже, індикації не буде. Щоб вирішити цю проблему, кожен ділянку потрібно перевірити двічі. Другий огляд повинен бути перпендикулярним до першого, щоб виявити розриви в будь-якому напрямку. Експерт повинен забезпечити достатнє перекриття областей магнітного потоку протягом усього процесу дослідження, щоб не пропустити розриви [7].

Магнетизм вперше був використаний ще в 1868 році для перевірки наявності дефектів ствола гармати. Стовбури гармат спочатку намагнітили, а потім по довжині ствола перемістили магнітний компас. Якщо б був розрив, магнітний потік витік би, і стрілка компаса рухалася б. За допомогою цієї техніки можна легко виявити дефекти.

На початку 1920-х років Вільям Хоук помітив, що металеві шліфування твердих сталевих деталей (утримуваних під час шліфування магнітним патроном) утворювали візерунки, які повторювали тріщини на поверхні деталей, які він обробляв. Він також виявив, що, наносячи дрібний феромагнітний порошок на деталі, на розривах спостерігалось накопичення порошку, що створювало більш видимі ознаки [7].

У 1930-х роках МТ швидко замінив метод олії та путасу NDE (рідкий пенетрант [PT]) у залізничній промисловості. Це було швидше і не залишало білого порошку, який потребував очищення. Після оцінки МТ залишився лише порошок заліза, який міг легко відпасти від деталі або бути здутим.

Існує багато різних прийомів і комбінацій прийомів МТ. Кодекс котлів і посудин під тиском ASME, розділ V, стаття 7, визнає п'ять різних методів намагнічування:

Прод техніка

Техніка поздовжнього намагнічування

Техніка кругового намагнічування

Техніка кокетки

Техніка різноспрямованого намагнічування

Існує два різних феромагнітних досліджуваних середовища: сухі частинки та вологі частинки. Обидві форми можуть бути як флуоресцентними, так і нефлуоресцентними (видимі, колірний контраст) і мають різні кольори для контрасту з досліджуваним матеріалом [7].

Двома найбільш використовуваними методами є стаціонарна горизонтальна система з використанням методів поздовжньої та кругової намагніченості та техніка дуже переносного ярма (рис. 4.3).



Рисунок 4.3 - Стаціонарна система дослідження магнітних частинок, створена для поздовжньої та кругової намагніченості за допомогою вологих флуоресцентних частинок [7].

Стаціонарні системи зазвичай використовуються для менших деталей, таких як колінчасті вали та штоки клапанів. Їх часто можна знайти в приміщеннях навколо механічних цехів і установок термічної обробки. Як правило, вони мають передню та задню бабки. Деталі можна затиснути між штоками для намагнічування. Навколо деталі також розміщена котушка, яка намагнічує її в перпендикулярному напрямку. У стаціонарних горизонтальних системах використовується технологія мокрих частинок із циркуляційним баком під обладнанням. Вологі частинки стікають через досліджувану частину і стікають у циркуляційний бак. Вологі частинки мають більшу рухливість у рідині, ніж сухі частинки. Ця рухливість сприяє підвищенню чутливості, дозволяючи частинкам легко рухатися до розривів [7]. Флуоресцентні частинки зазвичай використовуються зі стаціонарними горизонтальними системами, оскільки робота в приміщенні дозволяє легко затемнити територію; необхідне ультрафіолетове (чорне) світло можна використовувати для оцінки деталей. Обидва вологих методи обстеження мають приблизно однакову чутливість, але за правильних умов освітлення флуоресцентні ознаки набагато легше побачити (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Зовнішній поздовжній шов робочого котла перевіряється методом магнітно-порошкового дослідження за допомогою ярма змінного струму з сухим порошком [7].

Техніка МТ уоке є найбільш портативним і найдешевшим методом, а тому найпопулярнішим методом. Типовий комплект коромисел коштуватиме приблизно 750 доларів. Більшість ярма можуть працювати в режимах змінного (АС) або постійного (DC) струму. DC забезпечує найбільше проникнення і рекомендується, якщо потрібно виявити підповерхневі розриви. Змінний струм рекомендується використовувати, якщо поверхня шорстка, оскільки змінний струм надає частинкам більшу рухливість, ніж постійний струм. Ярмо має в блоці електричну котушку, яка створює поздовжнє магнітне поле, яке передається через ніжки на досліджувану частину. Техніка кокетки проста у використанні при мінімальній підготовці. Його можна використовувати в приміщенні, на відкритому повітрі, всередині посудин і резервуарів, а також у всіх положеннях. Перед використанням сила намагнічування електромагнітного ярма повинна бути перевірена протягом останнього року. Ярмо змінного струму повинно мати підйомну силу принаймні 10 фунтів, а ярмо постійного струму — не менше 40 фунтів [7].

Нижче наведено основні етапи використання сухого порошку, нефлуоресцентної техніки, ярмо. Перед початком перевірки все обладнання та лічильники повинні бути відкалібровані відповідно до статті 7 розділу V ASME (рис. 4.5).

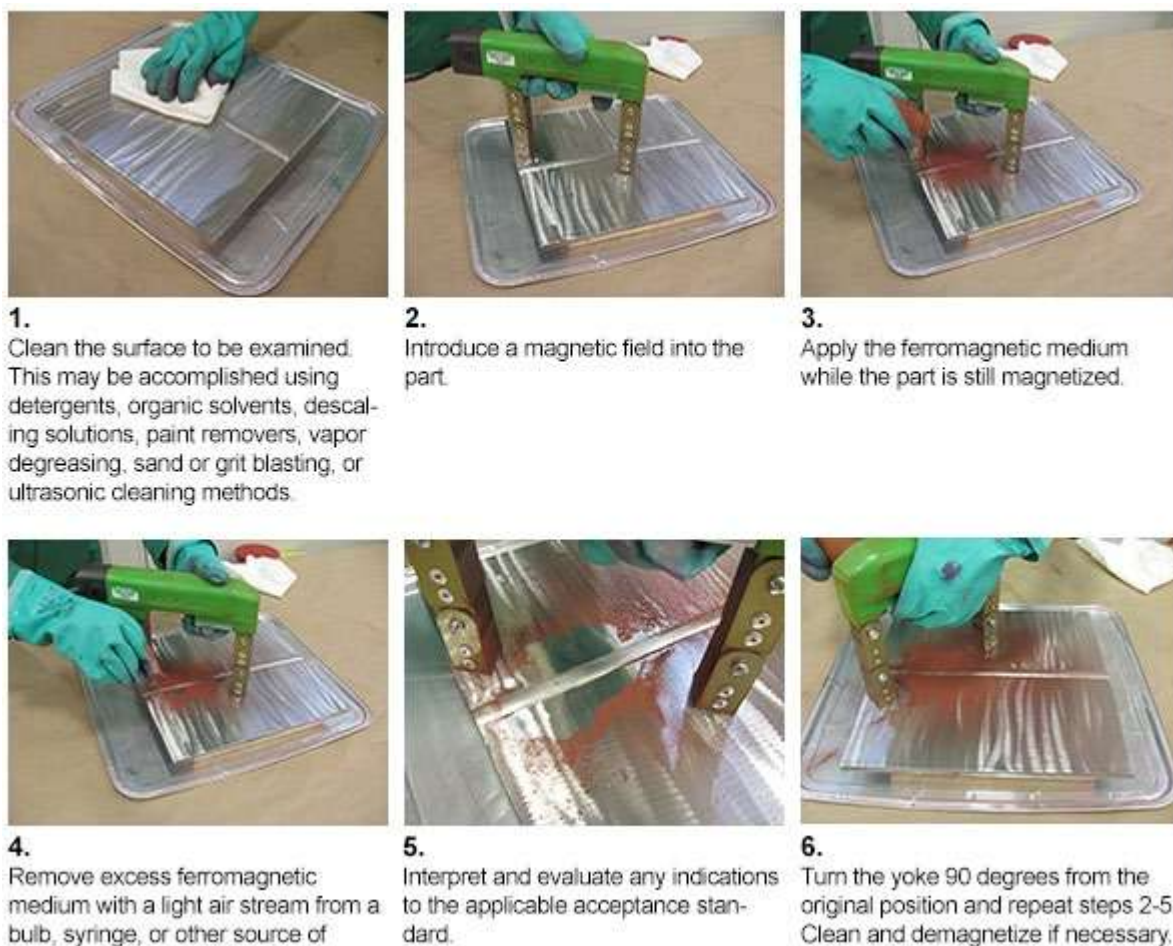


Рисунок 4.5 – Послідовність процесу контролю [7]

У кодах конструкції ASME багаторазово вказується магнітопорошкова перевірка або рідинна пенетрантна перевірка для виявлення можливості поверхневих дефектів. Якщо матеріал немагнітний, єдиним вибором є проникнення рідини. Однак, якщо матеріал є феромагнітним, зазвичай використовують магнітно-порошковий аналіз. Деякі типові приклади перевірок, які вимагає Кодекс ASME, включають, але не обмежуються: виливки для поверхневих дефектів; пластини для ламінування в кутових з'єднаннях, коли край однієї пластини відкритий і не вплавлений у зварний шов; зварні шви заглушки отвору головки; наплавлення металевого шва на пластини; ділянки, де дефекти були видалені перед ремонтом зварних швів [7].

Національний інспекційний кодекс (NBIC) визначає, що МТ може використовуватися для перевірки таких предметів, як: внутрішні та зовнішні поверхні котлів і посудин під тиском; посудини в службі рідкого аміаку; компоненти, пошкоджені вогнем; паровози та історичні котли; сушарки Янкі;

вантажні цистерни; посудини в службі зрідженого газу; ремонт зварювальних швів і зміни елементів, що зберігають тиск.

Приклади застосування магнітопорошкового контролю показано на рисунку 4.6.



МТ дослідження поздовжнього шва на діючому котлі.



Перевірка МТ зварного шва підйомної проушини на працюючому котлі.



Використання ярма змінного струму в процесі МТ для виявлення втомних розривів у зварних швах парового барабана під час оцінювання в процесі експлуатації.



Тріщина в ущільнювальному шві труби котла до парового барабана виявлена за допомогою МТ. Це було результатом неправильних процедур ремонту.

Рисунок 4.6 – Приклади використання магнітопорошкового контролю [7]

Переваги та недоліки використання магнітно-порошкового контролю

Переваги:

Може виявляти як поверхневі, так і приповерхневі ознаки.

Підготовка поверхні не є настільки критичною порівняно з іншими методами NDE. Більшість поверхневих забруднень не перешкоджають виявленню розриву.

Відносно швидкий метод обстеження.

Показання видно безпосередньо на поверхні.

Низька вартість порівняно з багатьма іншими методами NDE.

Портативний метод NDE, особливо при використанні з обладнанням, що живиться від батареї.

Посточищення зазвичай не потрібне.

Відносно безпечна методика; матеріали, як правило, негорючі або небезпечні.

Показання можуть показувати відносний розмір і форму розриву.

Простий у використанні та вимагає мінімального навчання.

Недоліки:

Кольорові матеріали, такі як алюміній, магній або більшість нержавіючих сталей, не підлягають перевірці.

Дослідження великих частин може вимагати використання обладнання з особливими вимогами до потужності.

Для досягнення потрібної чутливості може знадобитися видалення покриття або покриття.

Обмежені можливості виявлення розривів під поверхнею.

Часто необхідне додаткове розмагнічування.

Важливим є узгодження магнітного потоку з показаннями.

Кожну частину необхідно розглядати в двох різних напрямках.

Одночасно можна досліджувати лише невеликі ділянки або невеликі частини.

Підсумовуючи, магнітно-порошковий контроль може бути корисним методом неруйнівного дослідження під час інспекцій на новому будівництві та в процесі експлуатації. Його можна використовувати лише для феромагнітних матеріалів; тому це не найкращий метод для всіх програм. Для швидких і недорогих інспекцій МТ часто є найкращим методом нерозривної обробки для виявлення поверхневих і невеликих розривів під поверхнею [7].

5 РОЗРАХУНОК НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Розрахунок на міцність та визначення напружено-деформованого стану деталі - це процес аналізу, який включає в себе оцінку внутрішніх напружень, деформації та міцності матеріалу під час впливу навантажень або зусиль. Розрахунок виконували з урахуванням наступних етапів: Матеріальні властивості: Розрахунки базуються на властивостях матеріалу, таких як модуль пружності, міцність на розтяг, стиснення, здатність до пластичної деформації, втомні характеристики та інші. Геометричні параметри: Розміри та форма деталі враховуються при визначенні розподілу напружень та точній оцінці деформацій (рисунок 5.1) та розбивка на сітку кінцевих елементів (рисунок 5.2). Умови навантаження: Розрахунок включає врахування виду та величини зусиль, які прикладаються до деталі, та їхніх точок прикладання (рисунок 5.3). Моделювання деформацій: Застосування методів моделювання для визначення та передбачення деформацій у відповідь на навантаження (рисунок 5.4). Фактори безпеки: Урахування факторів безпеки для запобігання надмірних деформацій та руйнування деталі при роботі в реальних умовах. Аналіз місць концентрації напружень: Виявлення та оцінка місць, де напруження може бути концентроване, що може викликати слабкі точки у конструкції.



Рисунок 5.1 – Віртуальна модель заданої деталі для розрахунку на міцність

З метою визначення міцності та оцінки напружено-деформованого стану валу переднього ротора компресора високого тиску було виконано серію розрахунків та аналізів, використовуючи стандартні інженерні підходи та програмні засоби для моделювання та оцінки.

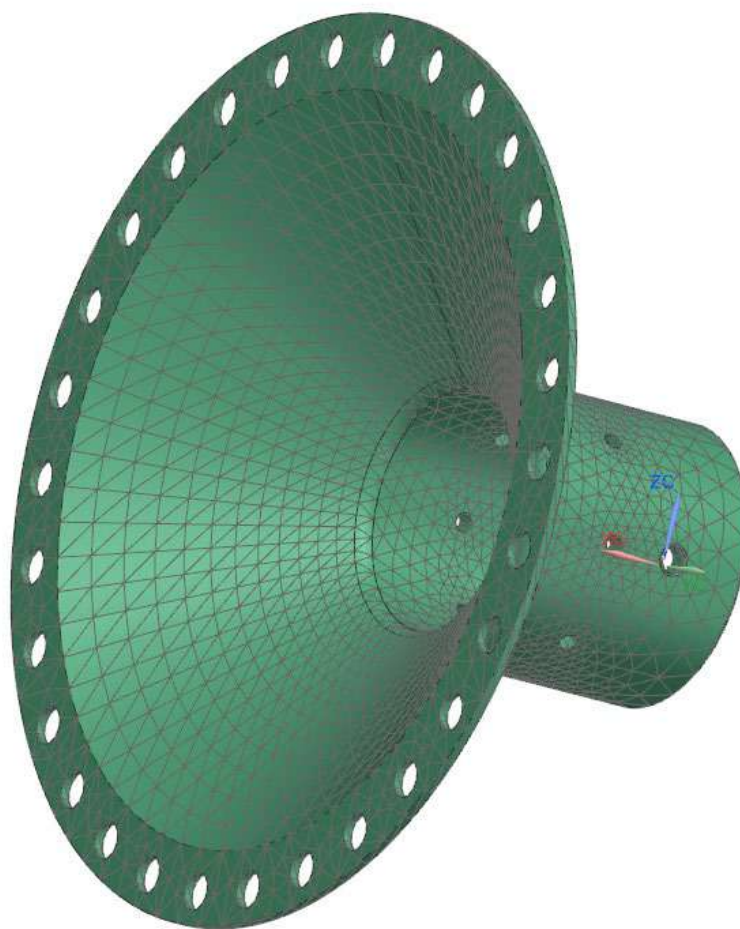


Рисунок 5.2 – Розбивка деталі на сітку кінцевих елементів

В процесі розрахунків були враховані типові навантаження, яким піддається вал переднього ротора. Це включає обертальні сили, радіальні навантаження, температурні зміни та інші фактори, які можуть впливати на його міцність.

Використано метод граничних елементів для чисельного моделювання властивостей вала. Результати показали, що при поточних навантаженнях вал залишається в межах допустимих значень напружень та деформацій, забезпечуючи безпечну експлуатацію в умовах робочого середовища.

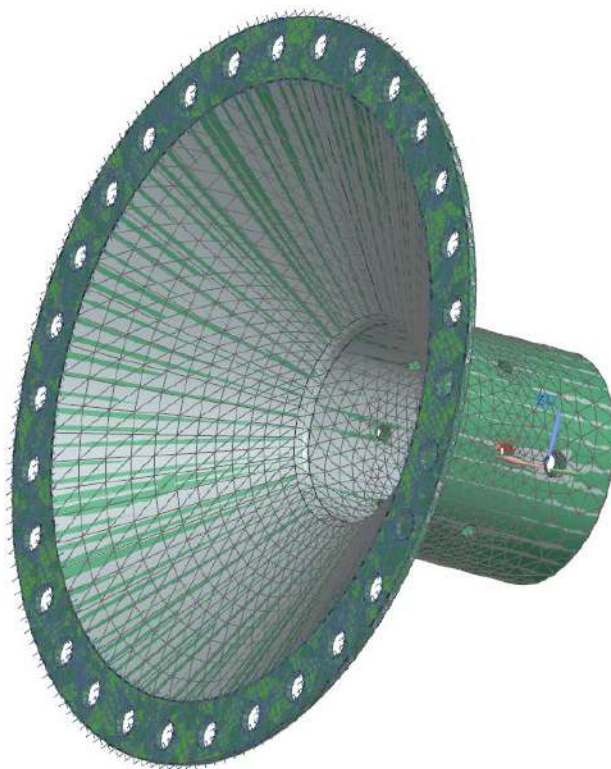


Рисунок 5.3 – Схема закріплення та навантаження деталі

model1_sim1 : Solution 1 Результат
 Subcase - Normal Modes 1, Форма 1, 3.274E+03Гц
 Напряжение - По элементам, По Мизесу
 Мин. : 0.01, Макс. : 1545.61, Единицы = МПа
 СК : Абсолютная прямоугольная
 Деформация : Перемещение - По узлам Величина

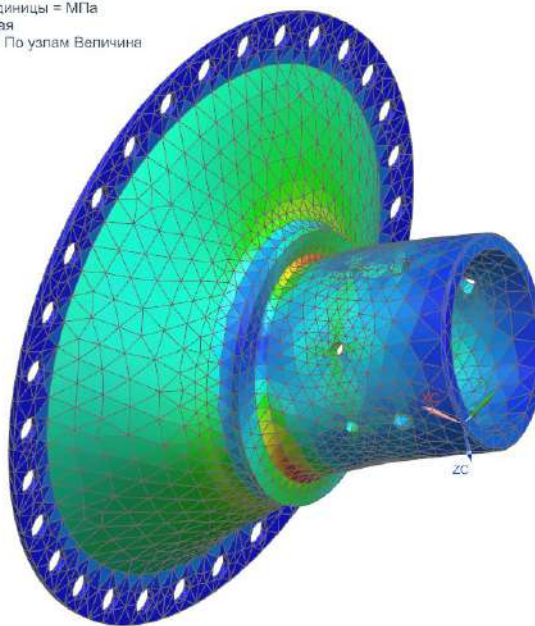


Рисунок 5.4 – Результат розрахунку напруженого стану заданої деталі

Розрахунок міцності та визначення напружено-деформованого стану деталі є ключовим етапом у проектуванні та виробництві, дозволяючи передбачати та уникати потенційних проблем, пов'язаних із надмірною деформацією чи руйнуванням деталі при роботі під навантаженням.

Проведений аналіз показав, що найбільші значення напружень спостерігаються в області підступічної частини валу. Враховуючи це, рекомендовано провести додаткові обстеження цих зон для подальшого вдосконалення конструкції.

Загальний висновок розрахунків показує, що вал переднього ротора компресора високого тиску має необхідну міцність та деформується в межах безпечних значень під очікуваними навантаженнями. Рекомендації щодо підвищення міцності в окремих зонах були також враховані та включені до подальших розробок.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАПРОПОНОВАНИХ ЗАХОДІВ

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

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

Результати розрахунків занесемо в таблиці 6.1 – 6.17.

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

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

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

де $m_{\text{оп}}$ – кількість операцій у технологічному процесі (таблиця 6.1 та 6.2);

$t_{\text{шт}i}$ – норма штучного часу виконання i -ої операції, год (таблиця 6.1 та 6.2);

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

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

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

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

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

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

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

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

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

χ_n - чисельність робітників відповідної категорії, чол.

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

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

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

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

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

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

Витрати на інструмент, грн [8, с.15]:

$$S_{\text{ін}} = \sum_{i=1}^{m_{\text{оп}}} \sum_{j=1}^{n_{\text{ін}}} \frac{C_{\text{ініј}} \cdot t_{\text{штіј}} \cdot \eta_m}{T_{\text{іј}} \cdot (n_j + 1)}, \quad (4.4)$$

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

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

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

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

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

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

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

$$S_e = \frac{N_{\text{в}} \cdot k_N \cdot k_{\text{ч}} \cdot k_{\text{од}} \cdot k_{\text{в}} \cdot t_{\text{штк}}}{\eta \cdot k_{\text{в}}} \cdot C_e, \quad (4.5)$$

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

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

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

k_{od} – середній коефіцієнт одночасної роботи всіх електродвигунів верстата [8, с. 16];

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$I_n = 3_o \cdot k_{заг}, \quad (4.8)$$

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

Таблиця 6.1 – Вихідні дані базового ТП

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу		
	Базовий ТП		
Річна програма випуску деталей N_p	5000		
Модель верстата	J-360A	J-360A	J-360A
Штучний час $T_{шт}$, хв.	2,35	4,76	5,41
Розряд верстатника	5		
Розряд наладчика	4		
Основний час t_{oi} , хв	1,31	1,93	2,15
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1	65,1	65,1
Число змін m	1		
Оптова ціна верстата F , грн	856000	856000	856000
Число верстатів, шт	1	1	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	10	10	10
Норма амортизаційних відрахувань H_a %	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, N	11	11	11

Таблиця 6.2 – Вихідні дані операції з ЧПК

Розрахункові параметри	Варіанти технологічного процесу
	Комплексна операція
1	1
Річна програма випуску деталей N_p	5000
Модель верстата	HAAS TL-1
Штучний час $T_{шт}$, хв.	7,2
Розряд верстатника	5

Продовження таблиці 6.2

1	1
Розряд наладчика	4
Основний час t_{oi} , хв	4,9
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	65,1
Число змін m	1
Оптова ціна верстата F , грн	1245300
Число верстатів, шт	1
Сервісний термін обслуговування верстата n , років	15
Норма амортизаційних відрахувань H_a %	12,2
Встановлена потужність електродвигунів, N	10

Розраховуємо технологічну собівартість поелементним методом для базового та комплексного ТП:

- а) тип виробництва базового та комплексного технологічного процесу, скориставшись даними щодо трудомісткості операцій;
- б) кількість верстатів на кожну операцію C_p (формула 6.1);
- в) прийнята кількість робочих місць P (формула 6.4);
- г) фактичний коефіцієнт завантаження верстата η_{zn} (формула 6.5).

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

Кількість операцій O , що виконуються на робочому місці:

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

Таблиця 6.3 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт}$, хв.	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	$K_{зoi}$
025	Токарна	2,35	0,11	1	0,11	1,11	1,11
030	Токарна	4,76	0,22	1	0,22	3,43	3,43
035	Токарна	5,41	0,25	1	0,045	2,15	2,15

Коефіцієнт закріплення операцій $K_{30i}=6,69/3=2,23$. Отже, тип виробництва – багатосерійний.

Таблиця 6.4 – Розрахунок коефіцієнта закріплення операцій комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	C_p	P	$\eta_{зф}$	O	K_{30i}
025	Токарна з ЧПК	7,2	0,34	1	0,34	1,15	1,15

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

Таблиця 6.5 – Заробітна плата верстатника базового ТП

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$K_б$	$З_о, грн$
025	Токарна	2,35	65,1	1,2	1,4	1	4,28
030	Токарна	4,76	65,1	1,2	1,4	1	8,68
035	Токарна	5,41	65,1	1,2	1,4	1	9,86

$$\sum Z_o = 22,82$$

Таблиця 6.6 – Заробітна плата верстатника комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$T_{шт, хв.}$	$C_{тар, грн}$	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$K_б$	$З_о, грн$
025	Токарна з ЧПК	7,2	65,1	1,2	1,4	1	13,12

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

Таблиця 6.7 – Заробітна плата наладчиків за базовим ТП

№ опер	Найменування операції	$C_{тар.н, грн}$	$\Phi_p, год$	Ψ_n	$k_{доп}$	$k_{соц}$	$З_n, грн$
025	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
030	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42
035	Токарна	50,9	2028	1	1,2	1,4	173,42

$$\sum = 520,26$$

Таблиця 6.8 – Заробітна плата наладчика комплексної операції

№ опер	Найменування операції	$C_{\text{тар.н.}}$, грн	Φ_p , год	Ψ_n	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_n$, грн
025	Токарна з ЧПК	50,2	2028	1	1,2	1,4	173,42

Амортизаційні відрахування на обладнання – за формулою (4.3).

Таблиця 6.9 – Відрахування на амортизацію обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	$T_{\text{шт.}}$, хв.	K , грн	H_a , %	F_d	$A_{\text{від}}$, грн.
025	Токарна	2,35	856000	12,2	2056	0,02
030	Токарна	4,76	856000	12,2	2056	0,04
035	Токарна	5,41	856000	12,2	2056	0,05

$$\sum A_{\text{від}} = 0,11$$

Таблиця 6.10 – Відрахування на амортизацію обладнання комплексної операції

№ опер.	Найменування операції	$T_{\text{шт.}}$, хв.	K , грн	H_a , %	F_d	$A_{\text{від}}$, грн.
025	Токарна з ЧПК	7,2	1245300	12,2	2056	0,08

Витрати на інструмент розраховуємо за формулою (6.4).

Таблиця 6.11 – Витрати на інструмент базового ТП

№	Операція	$T_{\text{шт.}}$, хв.	Ψ_i , грн	Інструменти	n_i , кількість інстр.	Стійкість T , хв	Число переточок, n	$\eta_{\text{мі}}$	$S_{\text{ін}}$, грн
025	Токарна	2,35	294	Різець	1	60	40	0,2	1,15
030	Токарна	4,76	294	Різець	1	60	40	0,2	2,33
035	Токарна	5,41	294	Різець	1	60	40	0,2	2,65

$$\sum = 3$$

$$\sum = 6,13$$

Таблиця 6.12 – Витрати на інструмент комплексної операції

№	Операція	Т _{шт} , хв.	Вартість			Стійкість Т, хв	η _{мі}	Число ріж. граней n	S _{ін} , грн
			Інст-рументальний блок*, у.о.	Інструмент*, у.о.	Пластина у.о.				
025	Токарна з ЧПК	7,2	300	294	13,5	60	0,2	4	3,53
				231	13,5	60	0,05	4	0,69
				162	13,5	60	0,2	4	1,94

* – Витрати, включені в договір про постачання обладнання

 $\Sigma = 6,16$

Витрати на технологічну електроенергію розраховуємо за формулою (4.5).

Таблиця 6.13 – Витрати на силову електроенергію базового ТП

№	Найменування операції	Т _{шт} , хв.	Ц _е , грн./кВт·год	N _е , кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _W	η _е	k _в	S _е
025	Токарна	2,35	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,31
030	Токарна	4,76	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,63
035	Токарна	5,41	3,45	11	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,72

 $\Sigma = 1,66$

Таблиця 6.14 – Витрати на силову електроенергію комплексної операції

№ опера	Найменування операції	Т _{шт} , хв.	Ц _е , грн./кВт·год	N _е , кВт	k _N	k _ч	k _{од}	k _W	η _е	k _в	S _е
025	Токарна з ЧПК	7,2	3,45	10	0,9	0,7	1	1,08	0,85	1,1	0,87

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

Таблиця 6.15 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання базового ТП

№ опер.	Найменування операції	Коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, K_p	C_p	S_p , грн
025	Токарна	0,02	0,041	0,82
030	Токарна	0,02	0,041	0,82
035	Токарна	0,02	0,041	0,82

$$\Sigma = 2,46$$

Таблиця 6.16 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання комплексної операції

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

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

Таблиця 6.17 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти	
		Базовий ТП	Комплексна операція
1		2	3
Заробітна плата верстатника	Z_o	22,82	13,12
Заробітна плата наладчика	Z_n	520,26	173,42
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{від}$	0,11	0,08

Продовження таблиці 6.17

1	2	3	4
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	S_p	2,46	4,1
Витрати на різальний інструмент	$S_{ін}$	6,13	6,16
Витрати на електроенергію	S_e	1,66	0,87
Витрати інші	I_n	7,2	2,8
Технологічна собівартість	C_T	560,64	200,55

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

$$E_{yp} = (C_1 - C_2) \cdot N, \quad (4.9)$$

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

N – річний випуск продукції, шт.

$$E_{yp} = (560,64 - 200,55) \cdot 5000 = 1800450 \text{ грн.}$$

Отже, впровадження комплексної операції в ТП знижує витрати на 1800450 грн. щорічно, що свідчить про успішність та ефективність запропонованих технологічних заходів.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ

Для забезпечення безпеки та мінімізації промислового травматизму комплексний підхід, з урахуванням організаційних та технічних заходів, є ключовим фактором. Фактори ризику отримання різноманітних травм при порушенні правил експлуатації обладнання, технологічних рекомендацій та вимог інструкцій наведено на рис 7.1. Як свідчить наведена на схемі інформація основними небезпеками на механічній ділянці є ймовірність отримання травм, які можуть бути механічні та під впливом електричного струму. Електричний струм, проходячи через організм людини спричиняє термічну, електролітичну та біологічну дію. Ступінь враження електричним струмом залежить від різних факторів, а саме: частоти струми, напруги (до 1000В чи більше), шляху проходу через тіло людини, часу впливу, індивідуальних особливостей організму і здоров'я людини, зовнішніх факторів. Крім того коротке замикання може викликати пожежу. Щоб уникнути механічних та електричних травм під час технологічного процесу передбачені заходи по проведенню періодичного навчання, перевірки знань з питань охорони праці. Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є: недоступність струмопровідних частин, що забезпечується при розміщенні їх на висоті, під підлогою чи приховано в стінах. Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують [9,10]. Згідно ПУЕ все обладнання застосовується тільки з захисним заземленням. В установках напругою до 1000 В опір захисного заземлення в будь-яку пору року не повинен перевищувати 4 Ом. [10].

Від ураження електричним струмом та можливих механічних пошкоджень передбачене обов'язкове застосування індивідуальних захисних засобів (НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями»). [11].

На будь якому підприємстві передбачаються організаційні та технічні заходи по запобіганню виникнення і швидкого розповсюдження пожежі. Дотримання правил та вимог з пожежної безпеки дає можливість не тільки уникнути небезпеки для людей але і запобігти матеріальним збиткам та негативному впливу на екологію. Заходи з пожежної безпеки для виробничих приміщень розробляються по НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні». Обов'язково враховується які матеріали є в даному приміщенні та особливості їх горіння (ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» та

визначається клас можливої пожежі. Наприклад, механічна дільниця відноситься до класу – А, тому що пожежа супроводжується горінням твердих матеріалів [12].



Рисунок 7.1 – Фактори ризику отримання різноманітних травм при порушенні правил експлуатації обладнання, технологічних рекомендацій та вимог інструкцій

ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» регламентує категорію приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою (механічна дільниця відповідає категорії «Д» – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані).

Проаналізуємо наслідки для підприємства, якщо внаслідок недотримання правил зберігання горючих матеріалів виникне загорання, а потім і вибух ємності з бензином. Об'єм резервуара $V_{рез} = 160 \text{ м}^3$, заповнення ємності бензином $V_{бенз.} = 85\%$, зміст бензину в паровій фазі, $\Delta m = 2.5\%$, густина бензину $\rho = 0,75 \text{ т/м}^3$, відстань до цеху $L = 200 \text{ м}$. [13].

Визначаємо об'єм парів бензину (m) в резервуарі за формулою (7.1):

$$V_{пар} = V_{рез} - V_{бенз}, \text{ м}^3 \quad (7.1)$$

$$V_{пар} = 160 - (160 \cdot 85) / 100 = 24 \text{ м}^3$$

Визначаємо об'єм бензину, який знаходиться в пароподібному стані за формулою (7.2):

$$V_{\text{пар.бенз}} = V_{\text{пар}} * \Delta m / 100, \text{ м}^3 \quad (7.2)$$

де Δm - вміст бензину (%), який знаходиться в пароподібному стані.

$$V_{\text{пар.бенз}} = 24 * 2.5 / 100 = 0,6 \text{ м}^3$$

Розраховуємо масу бензину (m), який знаходиться в пароподібному стані за формулою (7.3):

$$Q_{\text{бен.}} = V_{\text{пар.бенз}} * \rho \quad (7.3)$$

де ρ - густина бензину, $0,75 \text{ т/м}^3$.

$$Q_{\text{бен.}} = 0,6 * 0,75 = 0,45 \text{ т,}$$

Враховуючи значення $L = 200 \text{ м}$ та $Q_{\text{бен.}} = 0,45 \text{ т}$, [14] визначаємо $\Delta P = 20 \text{ кПа}$.

При вибуху випарів бензину надлишковий тиск у фронті ударної хвилі ΔP в районі цеху може становити приблизно 20 кПа . Наслідком вибуху може бути легке руйнування. Будівля з категорією вогнестійкості II не отримає руйнувань. Особи, що працюють на даному виробництві можуть отримати легкі ураження (забиті місця, вивихи, тимчасова втрата слуху, загальна контузія) [15].

Таким чином, для забезпечення безпеки працюючих необхідним є комплексний підхід в розробці заходів безпеки. Дотримання вимог нормативно правових актів, технологій та правил з пожежної безпеки дасть можливість зберегти здоров'я працюючим протягом тривалого часу.

ВИСНОВОК

Аналіз існуючих технологій виготовлення валів в авіаційній галузі: У роботі проведено глибокий аналіз існуючих методів та технологій виготовлення валів у контексті авіаційної промисловості. Проведено аналіз особливостей виготовлення вал передній ротора компресору високого тиску відповідно до умов його експлуатації.

Розроблено технологічний процес виготовлення на сучасному верстатному обладнанні з числовим програмним керування. Для характерних операцій механічної обробки використано спеціальне програмне забезпечення та отримано програми обробки в G код.

Розроблено та розраховано конструкція верстатного пристосування.

У розділі автоматизація розглянута можливість використання бесконтактних систем контролю для перевірки розмірів після обробки.

У спеціальному завданні розглянуто особливості застосування сучасного оснащення для магнітопорошкового контролю для перевірки циліндричних поверхонь.

Для валу переднього ротора компресору високого тиску виконано розрахунок на міцність, встановлено слабкі місця для яких необхідно виконувати зміцнення.

Виконано розрахунок економічного ефекту від розробки технологічного процесу з врахуванням особливостей виготовлення валу переднього ротора компресору високого тиску. Економічний ефект склав 1800450 грн.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Справочник технолога - машиностроителя. Т.1 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение, 1985.
2. Маталин А.А. и др. Проектирование технологических процессов обработки деталей на станках с числовым программным управлением.-Л., 1977г.
3. 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.
4. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение,1961.-Т.2.- 890 с.
5. В.А. Богуслаев, В.А. Лиховицер, А.С.Смирнов. Станочные приспособления, монография., – г. Запорожье , изд. ОАО «Мотор Сич». 2000 г.,461 с.
6. <https://metrology.news/portable-spindle-control-measures-axial-and-radial-run-out/>
7. <https://www.nationalboard.org/PrintPage.aspx?pageID=164&ID=377>
- 8.Методичні рекомендації для дипломного проектування “Оцінка економічної ефективності технічних рішень” для студентів зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл. Г.В. Пухальська - Запоріжжя: НУ«Запорізька політехніка», 2023 - 43 с
- 9.Жидацький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3
10. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.
11. 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
12. 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)
13. 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)

14. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT) [Текст] : ДСТУ EN 2:2014. – На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016 / Мінекономрозвитку України, 2014. – 7 с. (Державний Стандарт України).

15. Методичні вказівки до розрахунково-графічної роботи «Розрахунок зон ураження від вибухів і пожеж, що виникли у наслідок надзвичайної ситуації техногенного характеру або терористичного акту» з дисципліни «Цивільний захист і охорона праці в галузі» для студентів усіх спеціальностей та форм навчання / Укл.: М. О. Журавель, О. Б. Курков, С. М. Журавель – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 19 с.

Додаток А Специфікація робочого пристосування

[illegible]

Додаток Б Специфікація контрольного пристосування

Пер. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
Стр. №											
		A1		НУЗП 438514.034	Збірне креслення						
Підп. і дата				1		Основа	1				
				2		Втулка	1				
				3		Кільце	1				
				4		Кільце	1				
				5		Гвинт спеціальний	1				
				6		Стійка	1				
				7		Рукоятка	1				
				8		Гайка упорна	1				
				9		Кільце	1				
				10		Кришка	1				
				11		Опора	1				
				12		Упор	1				
				13		Підшипник	2				
				14		Оправка	1				
				15		Індикаторний годинник	1				
Взам. інв. №											
Підп. і дата											
Інв. № подл.		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	НУЗП 438514.034 Пристосування контрольне Копіював				
		Разроб.		Криворучко Г.О.					Лист	Лист	Листов
		Проб.		Винетольський ЕВ						1	2
		Т.контр.		Винетольський ЕВ					НУЗП		
		Н.контр.							гр. М-122М		
		Утв.		Дядя С.І.			Формат А4				