

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 технології виготовлення тонкостінних великогабаритних
деталей»

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

Спеціальності 131 Прикладна механіка

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Технології машинобудування

НЕМЧИН О.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник СТЕПАНОВ Д.М.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ШИРОКОБОКОВ В.В.

(ПРІЗВИЩЕ та ініціали)

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

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 Сергій ДЯДЯ
 « » 20 року

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

НЕМЧИН Ольга Володимирівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту (роботи) Особливості технології виготовлення тонкостінних великогабаритних деталей

керівник проєкту (роботи) к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Дмитро Миколайович,
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 02.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проєкту (роботи) робоче креслення деталі; програма випуску N=1000шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Технологічна частина; 2. Конструкторська частина; 3. Автоматизація; 4. Розрахунок деталі на міцність; 5. Спеціальне завдання; 6. Економічне обґрунтування вибору варіанта операції; 7. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки; 3D-моделі деталі та заготовки; маршрут виготовлення деталі; плакат зображення обробки для верстата з ЧПК; плакат автоматизації; креслення робочого та контрольного пристосувань; плакат розрахунку деталі на міцність; плакати спецзавдання. Кількість слайдів -

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1-6	к.т.н., доц. СТЕПАНОВ Д.М.		
5	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 01.09.2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2023	
2	Конструкторська частина	08.10.2023	
3	Автоматизація	15.10.2023	
4	Розрахунок на міцність	22.10.2023	
5	Спецзавдання	05.11.2023	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності	12.11.2023	
7	Охорона праці	26.11.2023	
8	Оформлення пояснювальної записки	02.12.2023	
9	Нормоконтроль	05.12.2023	
9	Рецензія	07.12.2023	
10	Захист дипломного проекту	12.12.2023	

Студент

_____ Ольга НЕМЧИН
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник проекту (роботи)

_____ Дмитро СТЕПАНОВ
(підпис) (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 113 с., 44 рис., 22 табл., 3 додатки, 28 джерел.

ВАЛ ВІЛЬНОЇ ТУРБІНИ, ВЕРСТАТ, ЗАГОТОВКА, ІНСТРУМЕНТ, МАРШРУТ ОБРОБКИ, НОРМУВАННЯ, ОПЕРАЦІЯ, ПРИСТОСУВАННЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС.

Об'єкт дослідження – вал вільної турбіни.

Мета роботи – розробити технологію виготовлення тонкостінної великогабаритної деталі.

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

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення тонкостінної великогабаритної деталі – валу вільної турбіни, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовано робоче пристосування для свердління отворів на фланці валу та контрольне пристосування для контролю биття при установці деталі на призмах, проведено розрахунок деталі на міцність за допомогою комп'ютерного моделювання в програмі NX, розроблено керуючі програми для операцій токарної, фрезерної та свердлильної з ЧПК, розглянуті методи неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей та обрано магнітопорошковий контроль як найкращий для неруйнівного контролю валу вільної турбіни, автоматизовано токарну обробку за допомогою роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження тонкостінних великогабаритних деталей, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Технологічна частина.....	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	9
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням..	11
1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі.....	15
1.4.1 Вибір технологічних баз.....	15
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь.....	15
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі.....	21
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	24
1.6 Розрахунок режимів різання.....	30
1.6.1 Операція 015 – токарна з ЧПК.....	30
1.6.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК.....	34
1.6.3 Операція 130 – шліфувальна.....	37
1.6.4 Операція 045 – свердлильна з ЧПК.....	39
1.7 Технічне нормування операції.....	43
1.7.1 Технічне нормування токарної операції 015.....	43
1.7.2 Технічне нормування фрезерної операції 050.....	44
1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 130.....	46
1.7.4 Технічне нормування свердлильної операції 045.....	47
1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК.....	49
1.8.1 Операція 015 – токарна з ЧПК.....	47
1.8.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК.....	53
1.8.3 Операція 045 – свердлильна з ЧПК.....	55
2 Конструкторська частина.....	58
2.1 Проектування робочого пристосування.....	58

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	58
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосувань на точність.....	59
2.1.3 Розрахунок необхідної сили затиску. Вибір приводу.....	62
2.2 Проектування контрольного пристосування.....	64
2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування.....	64
2.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність.....	65
3. Автоматизація.....	67
3.1 Автоматизація токарної обробки за допомогою роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження деталей.....	67
4 Розрахунок деталі на міцність.....	71
4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі.....	71
4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції....	72
4.3 Оптимізація геометрії деталі.....	73
5 Методи неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей.....	74
5.1 Види неруйнівного контролю.....	74
5.2 Аналіз магнітопорошкового контролю.....	83
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів.....	91
7 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	101
7.1 Аналіз потенційних небезпек.....	101
7.2. Заходи по забезпеченню безпеки.....	102
Висновки	105
Перелік джерел посилання.....	106
Додаток А. Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX.....	109
Додаток Б. Специфікація робочого пристосування	111
Додаток В. Специфікація контрольного пристосування	113

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

ВТП – вихрострумний перетворювач

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампвальний прес

КП – керуюча програма

МВД – маршрут виготовлення деталі

МНК – методами неруйнівного контролю

МОП – маршрут обробки поверхні

НК – неруйнівний контроль

ППТЯ – послідовність показників точності та якості

РК – радіографічного контролю

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

ТО – термічна обробка

ТП – технологічний процес

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

В сучасному промисловому виробництві тонкостінні великогабаритні деталі відіграють ключову роль в численних галузях, включаючи авіаційну, космічну та енергетичну промисловість. Виготовлення цих деталей є складним технологічним завданням, вимагаючи високої точності та якості виготовлення. У даній магістерській роботі розглядаються особливості технології виготовлення тонкостінних великогабаритних деталей, а також представлена розроблена технологія виготовлення, спрямована на оптимізацію процесу та підвищення якості виробництва.

Основною метою дослідження є розробка та впровадження ефективної технології виготовлення тонкостінних великогабаритних деталей, яка враховує вимоги сучасного виробництва. В рамках дослідження також вивчаються методи неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей, зокрема, здійснюється аналіз різних видів неруйнівного контролю.

Одним із основних результатів роботи є обрання магнітопорошкового контролю як найбільш ефективного методу неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей. Висока чутливість та точність цього методу дозволяє виявляти найменші дефекти та деформації, забезпечуючи високий рівень якості виробництва.

Крім того, у роботі досліджено можливості автоматизації токарної обробки тонкостінних великогабаритних деталей за допомогою роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження. Це сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню витрат на виробництво.

Загальною метою цієї магістерської роботи є створення інноваційного підходу до вирішення проблеми виготовлення та контролю тонкостінних великогабаритних деталей, що відкриває перспективи для подальшого розвитку та вдосконалення виробничих процесів в даній галузі.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Представником тонкостінних великогабаритних деталей, які мають найбільші труднощі у виготовленні, авіаційного двигуна AI-20 є «Вал вільної турбіни» (рис. 1.1). Дана деталь входить до складу вузла «Турбіна». Вузол «Турбіна» служить для перетворення теплової енергії гарячих газів на механічну роботу. Ця робота витрачається на привід компресора, гвинта та агрегатів. Практично весь теплоперепад спрацьовується на турбіні. Двигун AI-20 є авіаційним висотним турбогвинтовим двигуном, що працює з першим повітряним гвинтом.

Деталь «Вал вільної турбіни» складається з основних частин: переднього носка, циліндричної середньої частини, посадкового пояса під підшипник та заднього фланця. Передній носок валу має внутрішні евольвентні шліци, за допомогою яких з'єднується зі шліцами заднього валу компресора. Посадковий поясок під підшипник виготовлений за першим класом точності, на пояску виконані поздовжні пази з метою зменшення поверхні контакту з підшипником. У передній частині пояска є різьблення під гайку кріплення внутрішньої обойми підшипника.

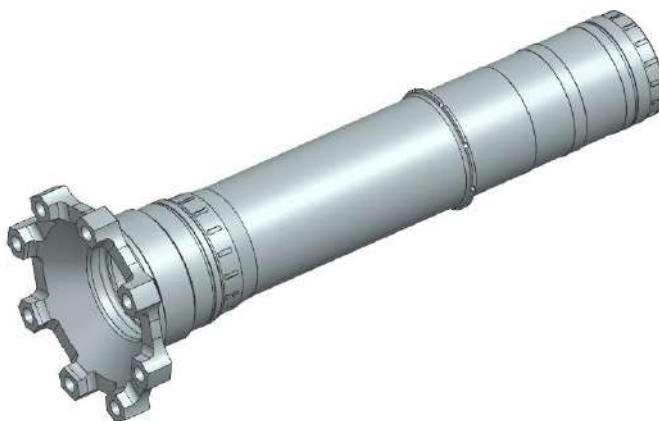


Рисунок 1.1 – Модель деталі

Матеріал деталі – корозійностійка мартенситного класу сталь 07X12НМБФ, механічні та хімічні властивості якої наведено в таблицях 1.1, 1.2.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 07X12НМБФ [1]

C	Cr	Ni	Mn	Mo	Si	V	S	P
0,05...0,09	10,5...12	1,4...1,8	>0,6	0,35..0,5	>0,6	0,15...0,25	<0,02	<0,03

Таблиця 1.2 – Механічні властивості 07X12НМБФ [1]

σ_T	σ_B	δ_5	Ψ	KCU	HB
МПа	МПа	%	%	кДж/м ²	МПа
≥ 833	≥ 980	≥ 12	≥ 55	≥ 588	302...387

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Залежно від розміру виробничої програми, характеру продукції, а також технічних та економічних умов здійснення виробничого процесу всі різноманітні виробництва умовно поділяються на три основні види: одиничне, серійне та масове. У кожного з цих видів виробничий та технологічний процеси (ТП) мають свої характерні особливості, і кожному з них властива певна форма організації роботи.

На даному етапі проектування складно правильно визначити вид виробництва і тому проведемо попереднє визначення типу виробництва за виробничою програмою та масою деталі [2, 3]. Попередньо тип виробництва вибираємо за таблицею 1.3, знаючи масу деталі (11,4 кг) та річну програму випуску (1000 шт). Форми організації ТП залежить від встановленого порядку виконання операцій, розташування технологічного обладнання, кількості виробів. Для обробки цієї деталі вибираємо змінно потокову форму організації ТП.

Таблиця 1.3 – Вибір типа виробництва

Тип виробництва	Кількість оброблюваних деталей в рік		
	m>100 кг	m=10..100	m<10 кг
одиничне	до 5	до 10	до 100
дрібносерійне	5...10	10...200	100...500
серійне	100...300	200...500	500...5000
крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
масове	> 1000	> 5000	> 50000

Кількість партії оброблюваних деталей розраховуємо за формулою:

$$n = \frac{a \cdot N}{A}, \text{ шт} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску;

a – періодичність запуску партій деталей в виробництво;

A – кількість робочих днів на рік.

$$n = \frac{5 \cdot 1000}{250} = 20 \text{ шт}$$

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

В якості методів отримання заготовки для «Валу вільної турбіни» обираємо:

- штампуванням на вертикальному штампувальному пресі;
- кування на молоті.

Для штампованої та кованої заготовок згідно рекомендацій [4] встановлюємо наступні характеристики: клас точності – Т3; група сталі – М2;

ступінь складності – С3; нахили для зовнішніх поверхонь – 5° ; зовнішні радіуси заокруглень – 8 мм.

Припуски для штамповки на пресі [5]: для розмірів до 50 мм – 2,7 мм; для розмірів 50...120 мм – 2,8 мм, для розмірів 120...180 мм – 3 мм, для розмірів 180...260 мм – 3,1 мм. Припуски при куванні на молоті [5]: для розмірів до 50 мм – 2,9 мм; для розмірів 50...120 мм – 3 мм, для розмірів 120...180 мм – 3,1 мм, для розмірів 180...260 мм – 3,3 мм

Ескізи заготовок отриманих методом штамповки на пресі та на молоті наведені на рис. 1.2, 1.3.

Маси заготовок визначаємо за допомогою 3D-моделювання (Додаток А).

Для техніко-економічне обґрунтування методу отримання заготовок оцінимо собівартість їх виготовлення.

Собівартість виготовлення однієї заготовки:

$$B = \frac{B_B}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_3 \cdot K_{\Pi} - (Q - q) \frac{B_{\text{відх}}}{1000}, \text{ грн} \quad (1.2)$$

де Q – вага заготовки, кг;

q – вага деталі, кг;

B_B – базова собівартість виготовлення 1 т заготовки заготовок, грн. [5];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [5];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [5];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [5];

K_3 – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [5];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [5];

$B_{\text{відх}}$ – вартість 1 т стружки [5].

$$B_{\Pi} = \frac{3500}{1000} \cdot 44,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (44,6 - 11,4) \cdot \frac{140}{1000} = 225,8 \text{ грн}$$

$$B_{\text{мол}} = \frac{3150}{1000} \cdot 63,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1 - (63,7 - 11,4) \cdot \frac{140}{1000} = 288,9 \text{ грн}$$

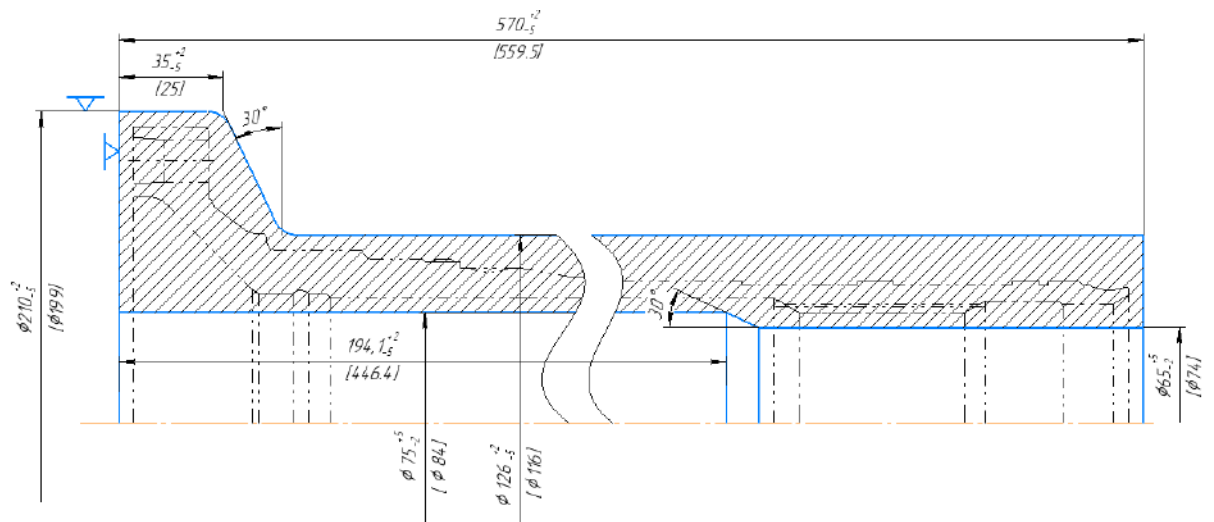


Рисунок 1.2 – Ескіз заготовки отриманої на пресі

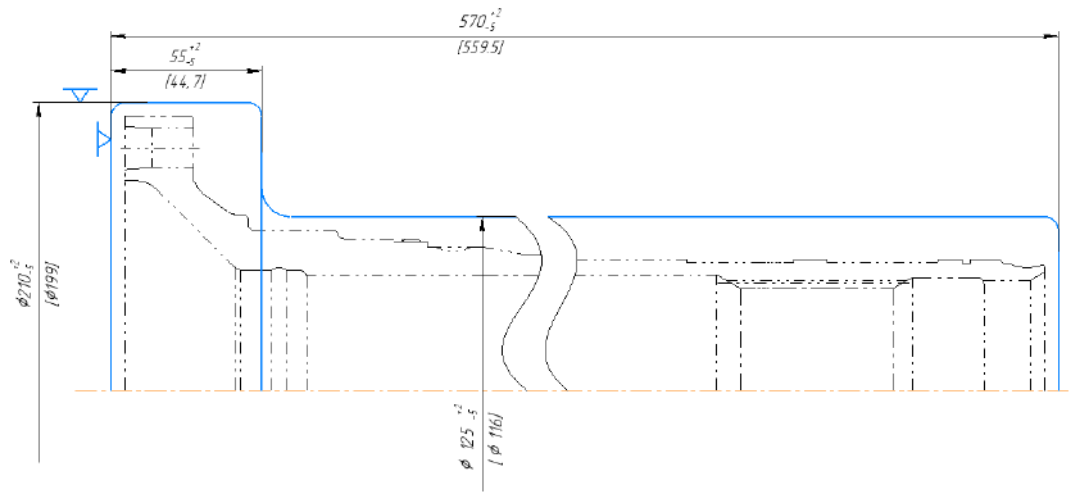


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки отриманої на молоті

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховується за формулою:

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$\eta_{\Pi} = \frac{11,4}{44,6} = 0,25$$

$$\eta_{\text{мол}} = \frac{11,4}{63,7} = 0,17$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблиці 1.4.

Річні заощадження за вартістю виготовлення заготовок:

$$E_B = (B_{\text{КГШП}} - B_{\text{мол}}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма випуску, шт.

$$E_B = (288,9 - 225,8) \cdot 1000 = 63100 \text{ грн}$$

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків вибору заготовок

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			Прес	Молот
Вага заготовки	Q	кг	44,6	63,7
Базова вартість 1 т заготовки	B_B	грн	3500	3150
Коефіцієнти	K_T		1,0	1,0
	K_M		1,51	1,51
	K_C		0,77	0,77
	K_3		1,27	1,27
	K_P		1,0	1,0
Вартість 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення	B_3	грн	225,8	288,9
Коефіцієнт використання матеріалу	η		0,25	0,17

Заощадження на металі при виготовленні заготовки штампуванням:

$$M_e = \frac{q(\eta_{\text{ГКМ}} - \eta_{\text{мол}})}{\eta_{\text{ГКМ}} \cdot \eta_{\text{мол}}} \cdot N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{11,4 \cdot (0,25 - 0,17)}{0,25 \cdot 0,17} \cdot 1000 = 21458,8 \text{ кг}$$

Штампування на пресі обираємо економічно доцільним методом отримання заготовки, так як при цьому економія становить 63100 грн та 21458,8 кг металу.

1.4 Проектування технологічного маршруту виготовлення деталі

1.4.1 Вибір технологічних баз

На першій токарній чорновій операції бази приймаємо наступні: зовнішня циліндрична поверхня $\varnothing 199$, лівий крайній торець та центральний отвір (рис. 1.1). На даній операції готуються поверхні, які в подальшому будуть використовуватися в якості баз. При призначенні баз подальших операцій витримуємо співпадіння установочної та вимірювальної баз та зберігаємо принцип постійності баз.

Для токарних чистових операцій призначаємо наступні бази: центральний отвір, зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 86$, $\varnothing 110$ та $\varnothing 199$, крайні торці.

Для фрезерування фланцю та свердління отворів в фланці в якості баз призначаємо: зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 110$ та $\varnothing 86$, крайній торець.

Для шліфування в якості баз використовуємо фаски центрального отвору.

Для фрезерування пазів в якості баз використовуємо зовнішні циліндричні поверхні $\varnothing 119$, крайній торець та центровий отвір.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Перетворення грубих за формою, розмірами та шорсткістю поверхонь заготовок на готові деталі економічно доцільно здійснювати за кілька переходів (стадій) обробки. Кількість переходів, їх послідовність та зміст визначають при проектуванні маршруту обробки поверхні (МОП). МОП - це певна послідовність технологічних переходів обробки поверхні заготівлі, необхідні досягнення заданих показників якості цієї поверхні в деталі. МОП є технологічною основою ТП механічної обробки, оскільки саме у МОП, у технологічних переходах

закладаються фізико-механічні, хіміко-термічні процеси на поверхню заготовки. Технологічна розмітка поверхонь деталі показана на рис. 1.4.

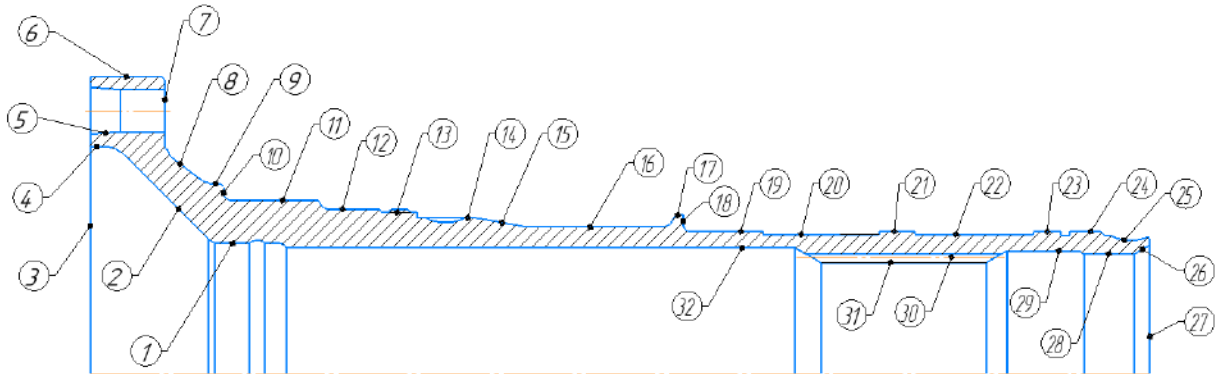


Рисунок 1.4 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d} \quad (1.6)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d} \quad (1.7)$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{\Delta_3}{\Delta_d}, \quad (1.8)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм;

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм;

Δ_3 – похибка форми заготовки, мкм;

Δ_d – похибка форми деталі, мкм.

Для поверхні 11 – $\varnothing 116g5_{-0,027}^{-0,012}$ уточнення дорівнюють:

$$\varepsilon_d = \frac{4,8}{0,015} = 320;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0,8} = 62,5;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1,5}{0,02} = 75;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.9)$$

$$k = 2 \cdot \lg 320 = 5 \rightarrow 5$$

Послідовність показників точності та якості (ППТЯ):

1) Для допуску – IT17→h14→h11→h9→TO→h7→g5;

2) Для шорсткості – Ra50→Ra12,5→Ra6,3→Ra3,2→TO →Ra1,6 →Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння напівчистове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: $T_{D1}=870$ мкм; $T_{Ra1}=12,5$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{4800}{870} = 5,5;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{50}{12,5} = 4.$$

Другий перехід – точіння напівчистове: $T_{D2}=220$ мкм; $T_{Ra2}=6,3$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{870}{220} = 4;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{12,5}{6,3} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 5,5 \cdot 4 = 22 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 4 \cdot 2 = 8 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=87$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{220}{87} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 22 \cdot 2,5 = 55 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 8 \cdot 2 = 16 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=35$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{87}{35} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\prod \varepsilon_{di} = 55 \cdot 2,5 = 137,5 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\prod \varepsilon_{Ra} = 16 \cdot 2 = 32 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

П'ятий перехід – чистове шліфування: $T_{D5}=15$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d5} = \frac{35}{15} = 2,4;$$

$$\varepsilon_{Ra5} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 137,5 \cdot 2,4 = 330 \geq \varepsilon_d = 320;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 32 \cdot 2 = 64 \geq \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Для поверхні 12 – Ø110m5^{+0.028}_{+0.013} уточнення дорівнюють:

$$\varepsilon_d = \frac{4,8}{0,015} = 320;$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{50}{0,8} = 62,5;$$

$$\varepsilon_{\Delta} = \frac{1,5}{0,02} = 75;$$

Розраховуємо кількість переходів за формулою (1.9):

$$k = 2 \cdot \lg 320 = 5 \rightarrow 5$$

ПШТЯ:

3) Для допуску – IT17→h14→h11→h9→TO→h7→m5;

4) Для шорсткості – Ra50→Ra12,5→Ra6,3→Ra3,2→TO →Ra1,6 →Ra0,8

МОП: заготовка, точіння чорнове, точіння напівчистове, точіння чистове, шліфування чорнове, чистове шліфування.

Перший перехід – точіння чорнове: T_{D1}=870 мкм; T_{Ra1}=12,5 мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d1} = \frac{4800}{870} = 5,5;$$

$$\varepsilon_{Ra1} = \frac{50}{12,5} = 4.$$

Другий перехід – точіння напівчистове: T_{D2}=220 мкм; T_{Ra2}=6,3 мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{870}{220} = 4;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{12,5}{6,3} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 5,5 \cdot 4 = 22 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 4 \cdot 2 = 8 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Другий перехід – точіння чистове: $T_{D2}=87$ мкм; $T_{Ra2}=3,2$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d2} = \frac{220}{87} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra2} = \frac{6,3}{3,2} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 22 \cdot 2,5 = 55 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 8 \cdot 2 = 16 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Четвертий перехід – шліфування чорнове: $T_{D4}=35$ мкм; $T_{Ra4}=1,6$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d4} = \frac{87}{35} = 2,5;$$

$$\varepsilon_{Ra4} = \frac{3,2}{1,6} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 55 \cdot 2,5 = 137,5 < \varepsilon_d = 320;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 16 \cdot 2 = 32 < \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

П'ятий перехід – чистове шліфування: $T_{D5}=15$ мкм; $T_{Ra5}=0,8$ мкм [6].

Уточнення:

$$\varepsilon_{d5} = \frac{35}{15} = 2,4;$$

$$\varepsilon_{Ra5} = \frac{1,6}{0,8} = 2.$$

Перевірка:

$$\Pi \varepsilon_{di} = 137,5 \cdot 2,4 = 330 \geq \varepsilon_d = 320;$$

$$\Pi \varepsilon_{Ra} = 32 \cdot 2 = 64 \geq \varepsilon_{Ra} = 62,5.$$

Цим же методом виконуємо розрахунок для інших поверхонь. Отримані дані заносимо до таблиці 1.5.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) – це послідовність виконання певних операцій, для яких необхідно визначити обладнання та технологічне оснащення.

При проектуванні технологічного процесу виготовлення деталі маємо головне завдання – забезпечити необхідну якість, максимальну продуктивність, мінімальну собівартість і знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Технологічні основи для цього встановлюються при призначенні переходів маршрутів обробки поверхонь.

Технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на етапи: заготівельний, чорновий, напівчистовий, чистовий, фінішний та доводочний. Кожен з цих етапів виконує свої завдання і спрямований на досягнення встановлених технічних та якісних параметрів деталі.

Таблиця 1.5 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	Шор-ть	розміру	Шор-ті
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня 11 $\varnothing 116g5_{-0,027}^{-0,012}$ Ra0,8	Td Ra	320 62,5	5	5	$\Delta IT = IT17 - g5 = 12$ $IT17 \rightarrow h14 \rightarrow h11 \rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow g5$ $Ra50 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	1	Заготовка-штамповка	4800	50	-	-
						2	Точіння чорнове	870	12,5	5,5	4
						3	Точіння напівчистове	220	6,3	4	2
						4	Точіння чистове	87	3,2	2,5	2
						5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Шліфування чорнове	35	1,6	2,5	2
						7	Шліфування чистове	15	0,8	2,4	2
Зовнішня циліндрична поверхня 12 $\varnothing 110m5_{+0,013}^{+0,028}$ Ra0,8	Td Ra	320 62,5	5	5	$\Delta IT = IT17 - m5 = 12$ $IT17 \rightarrow h14 \rightarrow h11 \rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow m5$ $Ra50 \rightarrow Ra12,5 \rightarrow Ra6,3 \rightarrow Ra3,2 \rightarrow Ra1,6 \rightarrow Ra0,8$	1	Заготовка-штамповка	4800	50	-	-
						2	Точіння чорнове	870	12,5	5,5	4
						3	Точіння напівчистове	220	6,3	4	2
						4	Точіння чистове	87	3,2	2,5	2
						5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Шліфування чорнове	35	1,6	2,5	2
						7	Шліфування чистове	15	0,8	2,4	2

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Зовнішня циліндрична поверхня 6 Ø199 _{-0,29} Ra1,6	Td	18,6	3	3	Δ IT = IT17 – h11 = 6	1	Заготовка-штамповка	5400	50	-	-
	Ra	31,2			IT17 → h14 → h12 → h11	2	Точіння чорнове	1150	6,3	4,7	7,9
					Ra50 → Ra6,3→ Ra3,2→	3	Точіння напівчистове	460	3,2	2,5	2
					Ra1,6	4	Точіння чистове	290	1,6	1,6	2
						5	Термічна обробка	-	-	-	-
Зовнішня циліндрична поверхня 21 Ø95m6 ^{+0.035} _{+0.013} Ra0,8	Td	218	4,6	5	Δ IT = IT17 – m6= 11	1	Заготовка-штамповка	4800	50	-	-
	Ra	62,5			IT17 → h14 → h11 → h9 →	2	Точіння чорнове	870	12,5	5,5	4
					h7 → m6	3	Точіння напівчистове	220	6,3	4	2
					Ra50 → Ra12,5 → Ra6,3 →	4	Точіння чистове	87	3,2	2,5	2
					Ra3,2→ Ra1,6→ Ra0,8	5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Шліфування чорнове	35	1,6	2,5	2
						7	Шліфування чистове	22	0,8	2,4	2
Зовнішня торцюва поверхня 3 25-0,36 Ra0,8	Td	118	2,2	4	Δ IT = IT17 – h14 = 3	1	Заготовка-штамповка	3900	50	-	-
	Ra	62,5			IT17→ h14 → h12 → h10→	2	Точіння чорнове	520	6,3	7,5	7,9
					h8	3	Точіння напівчистове	210	3,2	2,5	2
					Ra50 → Ra6,3→ Ra3,2→	4	Точіння чистове	84	1,6	2,5	2
					Ra1,6→ Ra0,8	5	Термічна обробка	-	-	-	-
						6	Шліфування	33	0,8	2,5	2

Для деталі «Вал вільної турбіни» МВД складається з наступних етапів:

- 1) I етап – отримання заготовки;
 - Термічна обробка (ТО);
- 2) II етап – механічна обробка:
 - чорнова токарна обробка;
 - чистова токарна обробка;
 - свердлильна обробка;
 - фрезерна обробка;
 - протяжна обробка;
- 3) III етап – мийка, контроль.
- 4) IV етап – ТО;
- 5) V етап – механічна обробка:
 - чорнове шліфування;
 - чистове шліфування.

Маршрут виготовлення деталі наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715003.037.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Припуск – це додатковий шар матеріалу на поверхні заготовки, який може містити різні дефекти, недопустимі за умовами службового призначення деталі. Цей шар матеріалу необхідно видалити з поверхні заготовки з метою досягнення заданих властивостей обробленої поверхні. Припуск виступає як компенсатор похибок попередніх етапів обробки, забезпечуючи точність та якість готової деталі.

Для поверхні 12 – $\varnothing 116g5_{-0,027}^{0,012}$ припуск розрахуємо розрахунково-аналітичним методом:

- 1) для заготовки: $Rz_1 = 320$ мкм та $h_1 = 350$ мкм [6];

Просторові відхилення заготовки:

$$\rho_1 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.10)$$

де $\rho_{зм} = 1,8$ мм – відхилення від соосності [6];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення.

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell, \text{ мм} \quad (1.11)$$

де $\Delta_{кор} = 1,4$ мкм/мм кривизна поковки [6].

$$\rho_{кор} = 1,8 \cdot 570 = 1026 \text{ мкм};$$

$$\rho_1 = \sqrt{1,026^2 + 1,8^2} = 2,07 \text{ мм}.$$

2) для чорнового точіння: $Rz_2=125$ мкм та $h_2=120$ мкм [6];

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою:

$$\rho_j = K_{ут} \cdot \rho_i, \text{ мм} \quad (1.12)$$

де $K_{ут} = 0,06$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки по [6].

$$\rho_2 = 0,06 \cdot 2070 = 124 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення: $\varepsilon_2 = 1,2$ мм [6].

3) для напівчистового точіння: $Rz_3=40$ мкм та $h_3=40$ мкм [6];

$$\rho_3 = 0,05 \cdot 120 = 6,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_3 = K_{ут} \cdot \varepsilon_{i-1} \quad (1.13)$$

$$\varepsilon_3 = 0,05 \cdot 1220 = 61 \text{ мкм}$$

4) для чистового точіння: $Rz_3=20$ мкм та $h_3=20$ мкм [6];

$$\rho_4 = 0,04 \cdot 6,2 = 0,2 \text{ мкм}$$

Похибка закріплення:

$$\varepsilon_4 = 0,04 \cdot 61 = 2,4 \text{ мкм}$$

5) для ТО:

$$\rho_5 = \Delta_k \cdot L \quad (1.14)$$

де $\Delta_{\text{кор}} = 0,06 \text{ мкм/мм}$ кривизна після ТО [6].

$$\rho_5 = 0,06 \cdot 570 = 34 \text{ мкм}$$

6) для шліфування чорнового: $Rz_5=10 \text{ мкм}$ та $h_5=15 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_6 = 0,03 \cdot (34 + 0,2) = 1 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_6 = 0,03 \cdot 2,4 = 0,07 \text{ мкм}.$$

7) для шліфування чистового: $Rz_6=6,3 \text{ мкм}$ та $h_6=10 \text{ мкм}$ [6];

$$\rho_7 = 0,02 \cdot 1 = 0 \text{ мкм};$$

$$\varepsilon_7 = 0,02 \cdot 0,07 = 0 \text{ мкм}.$$

Мінімальні припуски для переходів механічної:

$$2z_i^{\min} = 2 \left(Rz_{i-1} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2} \right), \quad (1.15)$$

$$2z_2^{\min} = 2(320 + 350 + \sqrt{2070^2 + 1220^2}) = 6145 \text{ мкм};$$

$$2z_3^{\min} = 2(125 + 120 + \sqrt{120^2 + 61^2}) = 766 \text{ мкм};$$

$$2z_5^{\min} = 2 \left(40 + 40 + \sqrt{6,2^2 + 2,4^2} \right) = 173 \text{ мкм};$$

$$2z_6^{\min} = 2 \left(20 + 20 + \sqrt{34,2^2 + 0,07^2} \right) = 145 \text{ мкм}.$$

$$2z_7^{\min} = 2 \left(10 + 15 + \sqrt{1^2 + 0^2} \right) = 52 \text{ мкм}.$$

Максимальний розмір поверхні:

$$d_7^{\max} = d_7^{\min} + ES_{d7} \quad (1.16)$$

$$d_7^{\max} = 116 - 0,012 = 115,988 \text{ мм}$$

Максимальний розмір для механічних переходів:

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

$$d_6^{\max} = 115,988 + 0,052 + 0,035 = 116,075 \text{ мкм};$$

$$d_5^{\max} = 116,075 + 0,145 + 0,087 = 116,307 \text{ мкм};$$

$$d_3^{\max} = 116,307 + 0,173 + 0,22 = 116,7 \text{ мкм};$$

$$d_2^{\max} = 116,7 + 0,87 + 0,766 = 118,336 \text{ мкм};$$

$$d_1^{\max} = 118,336 + 6,145 + 4,8 = 129,281 \rightarrow 129,3 \text{ мкм}.$$

Мінімальний розмір поверхні:

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

$$d_7^{\min} = 115,988 - 0,015 = 115,973 \text{ мм};$$

$$d_6^{\min} = 116,075 - 0,035 = 116,04 \text{ мм};$$

$$d_5^{\min} = 116,307 - 0,087 = 116,22 \text{ мм};$$

$$d_3^{\min} = 116,7 - 0,22 = 116,48 \text{ мм};$$

$$d_2^{\min} = 118,336 - 0,87 = 117,446 \text{ мм};$$

$$d_1^{\min} = 129,3 - 4,8 = 124,5 \text{ мм}.$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою:

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

$$2z_2^{\max} = 129,3 - 117,466 = 11,815 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 118,336 - 116,48 = 1,856 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 116,7 - 116,22 = 0,48 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 116,307 - 116,04 = 0,267 \text{ мм}.$$

$$2z_7^{\max} = 116,075 - 115,973 = 0,102 \text{ мм}.$$

Схема розташування допусків, припусків та технологічних розмірів наведено на рис. 1.5 та таблиці 1.6.

Перевірка правильності розрахунків технологічних розмірів:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}}; \quad (1.20)$$

$$2z_0^{\max} = d_1^{\max} - d_6^{\min}; \quad (1.21)$$

$$2z_0^{\min} = d_1^{\min} - d_6^{\max}; \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\max} = 129,3 - 115,973 = 13,327 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\min} = 124,5 - 115,988 = 8,512 \text{ мм};$$

$$TD_0 = 4,8 + 0,015 = 4,815 \text{ мм};$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 13,327 - 8,512 = 4,815 \text{ мм}.$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 126,1_{-1,6}^{+3,2}$ мм.

Для поверхонь $\varnothing 110_{+0,013}^{+0,028}$ та $25_{-0,36}$ припуски призначаємо табличним методом. Згідно цього методу припуски на всі переходи призначаються по таблицям довідкової літератури [4].

Для поверхні $\varnothing 110_{+0,013}^{+0,028}$:

1) Чорнове точіння: $2Z^{\min} = 3,5 \text{ мм};$

2) Напівчистове точіння: $2Z^{\min} = 1,4 \text{ мм};$

- 3) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1$ мм;
- 4) Шліфування чорнове: $2Z^{min}=0,5$ мм;
- 5) Шліфування чистове: $2Z^{min} = 0,2$ мм.

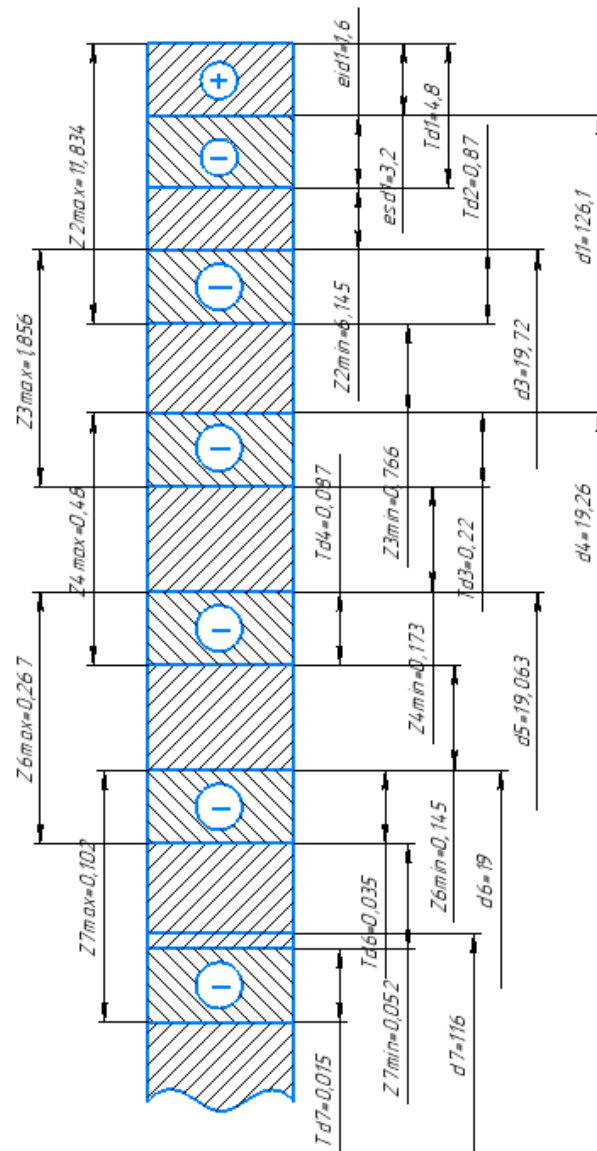


Рисунок 1.5 – Схема розташування припусків та технологічних розмірів

Для поверхні $25_{-0,36}^0$:

- 6) Чорнове точіння: $2Z^{min} = 3,5$ мм;
- 7) Напівчистове точіння: $2Z^{min} = 1,4$ мм;
- 8) Чистове точіння: $2Z^{min} = 1$ мм;

Таблиця 1.6 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхонь	МОП		Допуск	Граничні значення розмірів		Граничні значення припуску		Виконавчий розмір
	ІТ	Метод обробки		$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$	$2z_i^{\min}$	
Ø116 ^{-0,012} _{-0,027} Ra=0,8 ↑=0,02	17	Заготовка	4,8	129,3	124,5	-	-	Ø126,1 ^{+3,2} _{-1,6}
	12	Точен. чорн.	0,87	118,336	117,466	11834	6145	Ø 118,33 ^{-0,87}
	11	Точен. напівч.	0,22	116,7	116,48	1856	766	Ø 116,7 ^{-0,22}
	-	Точен. чист.	0,087	116,307	116,22	480	173	Ø 116,3 ^{-0,087}
	9	ТО	-	-	-	-	-	-
	7	Шліф. чорн.	0,035	116,075	116,04	267	145	Ø 116,07 ^{-0,035}
	5	Шліф. чист	0,015	115,988	115,973	102	52	Ø116 ^{-0,012} _{-0,027}
	13,327-8,512=4,8+0,015 4,815=4,815					13,327	8,512	
Ø110 ^{+0,028} _{+0,013} Ra=0,8 ↑=0,025		Заготовка	4,8	129,3	124,5	-	-	Ø126,1 ^{+3,2} _{-1,6}
		Точен. чорн.	0,87	114,34	113,47	15830	3500	Ø 114,34 ^{-0,87}
		Точен. напівч.	0,22	112,07	111,85	2490	1400	Ø 112,07 ^{-0,22}
		Точен. чист.	0,087	110,85	110,763	1307	1000	Ø 110,85 ^{-0,087}
		ТО	-	-	-	-	-	-
		Шліф. чорн.	0,035	110,263	110,228	622	500	Ø 110,26 ^{-0,035}
		Шліф. чист	0,015	110,028	110,013	250	200	Ø110 ^{+0,028} _{+0,013}
	19,287-14,472=4,8+0,015 4,815=4,815					19,287	14,472	
25 ^{-0,36} Ra=0,8 ↑=0,02		Заготовка	3,90	36,1	32,2	-	-	34,7 ^{+1,4} _{-0,8}
		Точін. чорн.	0,52	28,714	28,194	7906	3500	28,71 ^{-0,52}
		Точен. напівч.	0,21	26,794	26,584	2130	1400	25,58 ^{-0,084}
		Точін. чист.	0,084	25,584	25,5	1294	1000	-
		ТО	-	-	-	-	-	25 ^{-0,36}
		Шліф. чист	0,033	25	24,967	617	500	
	11,133-7,2=3,9+0,033 3,933=3,933					11,133	7,2	

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 015 – токарна з ЧПК

Чорнове точіння деталі виконуємо на токарному верстаті з ЧПК 16К30Ф3. Операційний ескіз операції наведений на рис. 1.6. В якості пристосування використовується патрон трьохкулачковий. Технічна характеристика верстата:

1) Найбільший діаметр оброблюваної деталі, мм:

- при встановленні над станиною – 630;

- при встановленні над супортом – 320;
- 2) Найбільша довжина обробки, мм – 1400;
- 3) Діаметр отвору у шпинделі, мм – 82;
- 4) Кількість інструментів – 6;
- 5) Частота обертання, шпинделя, об/хв – 6,3...1600;
- 6) Подача, мм/хв:
 - Поздовжні – 0,01...20,47;
 - Поперечні – 0,01 – 20,47;
- 7) Максимальні переміщення, мм:
 - Поздовжні – 1200;
 - Поперечні – 300;
- 8) Максимальна швидкість (повздовжньої/поперечної) подачі, м/хв – 10;
- 9) Потужність головного електродвигуна, кВт – 30.

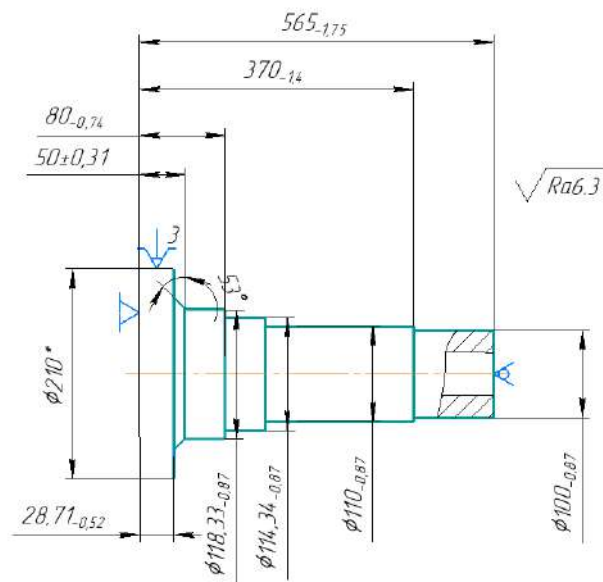


Рисунок 1.6 – Операційний ескіз

В якості інструменту обираємо різець прохідний упорний $\varphi=95^\circ, \alpha=10^\circ, \gamma=8^\circ; r=0,5$ мм, 25x20x140, T15K6 ГОСТ 18880-73 [7];

Глибина різання:

$$h = \frac{D_{\text{заг}} - D_{\text{дет}}}{2}, \quad (1.23)$$

де $D_{\text{заг}}$ – розмір заготовки, мм;

$D_{\text{дет}}$ – операційний розмір деталі, мм.

$$h = \frac{126,1 - 118,33}{2} = 3,9 \text{ мм}$$

Глибина різання для одного проходу:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.24)$$

де h – припуск на обробку, мм;

$i=3$ – кількість проходів.

$$t = \frac{3,9}{3} = 1,3 \text{ мм}$$

Розрахуємо подачу за формулою:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S, \text{ мм/об} \quad (1.25)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі [8];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу

$$K_S = K_{Sp} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sp} \cdot K_{Sm} \cdot K_{S\ell} \cdot K_{S\varepsilon} \quad (1.26)$$

де K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує установку деталі [8];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини [8];

K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує квалітет обробки [8];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{S\ell}$ – коефіцієнт, що враховує радіус вершини різця [8];

$K_{S\varepsilon}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8].

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,8$$

$$S_0 = 0,34 \cdot 0,8 = 0,27 \text{ мм/об}$$

Приймаємо за паспортом верстата $S_0 = 0,2 \text{ мм/об}$.

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.27)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання [8];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання:

$$K_V = K_{V_m} \cdot K_{V_{\text{и}}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{\text{НВ}}} \cdot K_{V_{\varepsilon}} \cdot K_{V_{\text{ж}}} \quad (1.28)$$

де K_{V_m} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, [8];

$K_{V_{\text{и}}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, [8];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата [8];

K_{V_o} – коефіцієнт, що враховує вид обробки [8];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента [8];

$K_{V_{\text{НВ}}}$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу [8];

$K_{V_{\varepsilon}}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця [8];

$K_{V_{\text{ж}}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням [8].

$$K_V = 0,85 \cdot 0,6 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,22$$

$$V = 487 \cdot 0,22 = 109 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.29)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 109}{3,14 \cdot 210} = 165,3 \text{ об/хв}$$

Приймаємо фактичну частоту обертання шпинделя верстата згідно паспорту $n_d = 150$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.30)$$

$$V_d = \frac{150 \cdot 3,14 \cdot 210}{1000} = 99 \text{ м/хв}$$

Довжина робочого ходу:

$$L_{px} = l_{обр} + l_{вр} + l_{пер}, \quad (1.31)$$

де $l_{обр}$ – довжина обробки, мм;

$l_{вр}$ – величина врзання [8];

$l_{пер}$ – перебігу [8].

$$L_{px} = 2 + 17,5 + 195 + 5 + 235 + 2,2 + 55 + 2 + 30 + 23 + 25 + 2 = 593,7 \text{ мм}$$

Основний час:

$$t_o = \frac{L_{px}}{S_o \cdot n} \cdot i, \text{ хв} \quad (1.32)$$

$$t_o = \frac{593,7}{0,2 \cdot 150} \cdot 3 = 59,4 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК

Для фрезерування пазу обираємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК МА-655. Операційний ескіз представлено на рис. 1.7. Технічні характеристики верстата:

1) найбільше переміщення столу:

- повздовжнє – 1000 мм;
- поперечне – 500 мм;
- вертикальне – 630 мм;

2) конус шпинделя – ВТ50;

3) діапазон частот обертання шпинделя, об/хв – 20...2500;

4) розмір столу, мм – 1250x500

5) повздовжня та поперечна подача столу, мм/хв – 1...10000;

6) потужність двигуна – 17 кВт;

Інструмент: кінцева фреза 2223-0026 D=50 мм, z=6, L=63 мм P6M5 за ГОСТ 17026-71 [7].

Подача [7]: $Sz_{\text{табл}}=0,022$ мм/зуб.

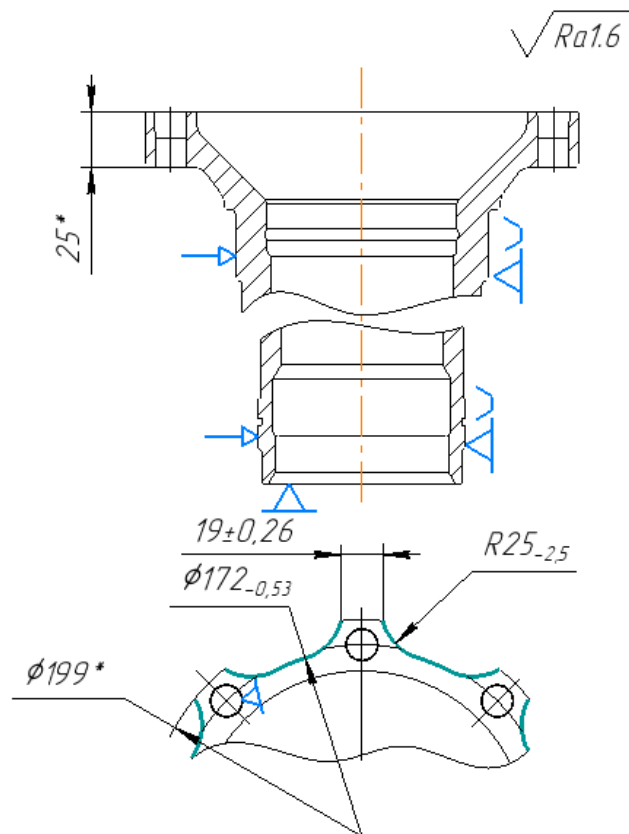


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Глибина різання: $t=2$ мм та кількість проходів $i=7$.

Розраховуємо швидкість різання:

$$V_p = \frac{C_v \cdot D_\phi^q}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_{VM} \cdot K_{VI} \cdot K_{V\Pi}, \text{ м/хв} \quad (1.33)$$

де C_v, q, x, y, u, p, m – показники ступеня [7];

K_{VM} – коефіцієнт оброблюваності матеріалу [7];

K_{VI} – коефіцієнт, враховуючий властивості матеріалу ріжучої частини інструмента [7];

K_{VII} – коефіцієнт, враховуючий стан поверхні заготовки [7];

T – період стійкості інструменту;

D_ϕ – діаметр фрези.

$$K_{VM} = \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n = \left(\frac{750}{650} \right)^{0.9} = 1.13 \quad (1.34)$$

$$V_p = \frac{12 \cdot 50^{0.3}}{80^{0.26} \cdot 2^{0.3} \cdot 0.022^{0.25} \cdot 25^0 \cdot 6^0} \cdot 1.13 \cdot 1 \cdot 1 = 17.3 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 17.3}{3.14 \cdot 50} = 110.2 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d = 100 \text{ об/хв}$.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.30):

$$V_d = \frac{3.14 \cdot 50 \cdot 100}{1000} = 16 \text{ м/хв}$$

Визначаємо хвилинну подачу інструменту за формулою:

$$S_m = S_z \cdot n \cdot z \quad (1.35)$$

$$S_{m \text{ повз}} = 0.022 \cdot 100 \cdot 6 = 13.2 \text{ мм/хв}$$

Обираємо за паспортом верстата $S_{m \text{ повз}} = 15 \text{ мм/хв}$.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l + l_1}{S} \cdot i \cdot n, \text{ хв} \quad (1.36)$$

де l – довжина фрезерування, мм;

l_1 – довжина врізання, мм;

n – кількість місць фрезерування.

$$l_1 = 0,5 \cdot D_\phi \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot t}{D_\phi} \right) \right), \text{ мм} \quad (1.37)$$

$$l_1 = 0,5 \cdot 50 \cdot \sin \left(\arccos \left(1 - \frac{2 \cdot 2}{50} \right) \right) = 9,7 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{27,6+9,7+4}{15} \cdot 7 \cdot 8 = 154,2 \text{ хв.}$$

1.6.3 Операція 130 – шліфувальна

Шліфування виконуємо на круглошліфувальний верстат 3132, в якості інструменту використовуємо шліфувальний круг 1 600х63х305 15А 40Н СТ1 6 К8 А 50 м/с ГОСТ 2424-83. Операційний ескіз зображено на рис. 1.8. Пристосування – центри, хомутик повідковий. Технічні характеристики верстата:

- 1) найбільший діаметр оброблюваної заготовки – 280мм;
- 2) найбільша довжина оброблюваної заготовки – 1000 мм;
- 3) частота обертання круга – 1112об/хв;
- 4) частота обертання шпинделя (безступінчаста) – 50...400 об/хв;
- 5) потужність – 5,5 кВт.

Глибина різання:

$$t = 2z_{\max} / 2 \quad (1.38)$$

де $2z_{\max}$ – припуск, $2z_{\max} = 0,102$ мм (таблиця 1.4).

$$t = 0,102 / 2 = 0,056 \text{ мм}$$

Подача радіальна розраховуємо по формулі (1.25), (1.26):

де S_T – табличне значення подачі $S_T = 0,008$ мм/об [8];

K_D – коефіцієнт враховуючий діаметр круга $K_D = 0,9$ [8];

K_R – поправочний коефіцієнт враховуючий радіус галтелі $K_R = 0,85$ [8];

K_T – поправочний коефіцієнт враховуючий стійкість круга $K_T = 1,0$ [8];

K_h – поправочний коефіцієнт враховуючий припуск на обробку $K_h = 1,0$ [8];

K_{IT} – коефіцієнт враховуючий квалітет виконання розміру $K_{IT} = 0,8$ [8];

K_M – поправочний коефіцієнт враховуючий матеріал деталі $K_M = 1,0$ [8].

$$S_{\text{поп}} = 0,008 \cdot 0,9 \cdot 0,85 \cdot 1 \cdot 0,8 \cdot 1 = 0,0048 \text{ мм/об}$$

Обираємо з паспорту верстату: $S_{\text{рад}} = 0,005 \text{ мм/об}$.

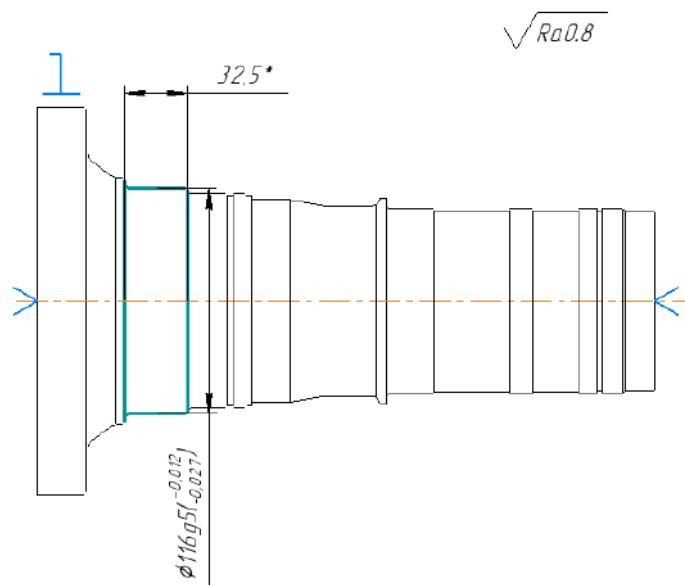


Рисунок 1.7 – Операційний ескіз

Табличне значення швидкості різання:

- для круга – $V_{\text{ш.кр.}} = 50 \text{ м/с}$ [8];
- для деталі – $V_{\text{ш.дет.}} = 50 \text{ м/хв}$ [8].

Частоту обертання розраховуємо за формулою:

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot V_{\text{ш.дет.}}}{\pi \cdot d}, \text{ об/хв} \quad (1.39)$$

$$n_{\text{дет.}}^p = \frac{1000 \cdot 50}{3,14 \cdot 116} = 137,2 \text{ об/хв.}$$

Приймаємо за паспортом верстату: $n_{\text{дет.}}=130$ об/хв.

Фактичну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.30):

$$V_{\text{ш.кр.}} = \frac{3,14 \cdot 600 \cdot 1112}{1000 \cdot 60} = 35 \text{ м/с};$$

$$V_{\text{дет.}} = \frac{3,14 \cdot 116 \cdot 130}{1000} = 47 \text{ м/хв.}$$

Визначаємо основний час:

$$T_o = \frac{z \cdot k}{n_{\text{дет.}} \cdot S_{\text{поп}}}, \text{ хв} \quad (1.40)$$

де $k=1,7$ – коефіцієнт уточнення.

z – припуск під шліфування, мм.

$$T_o = \frac{0,056 \cdot 1,7}{130 \cdot 0,005} = 0,14 \text{ хв.}$$

1.6.4 Операція 045 – свердлильна з ЧПК

]

Для свердління отворів на фланці обираємо вертикально-фрезерний верстат з ЧПК МА-655. Операція складається з наступних переходів: сверління отвору, зенкерування отвору, розгортання отвору, розгортання конусу. Для свердління отворів вибираємо свердло спіральне діаметром 12 мм з Р6М5 ГОСТ 10902-77. Для зенкерування – зенкер діаметром 14 мм з Р6М5 ГОСТ 3231-71. Для розгортання – розгортка діаметром 14,2 мм з Р6М5 ГОСТ 1672-80. Для розгортання конусу – спеціальна розгортка з Р6М5. Операційний ескіз зображено на рис. 1.9.

Глибина різання t , мм розраховується за формулою [1.24]:

$$t_1 = \frac{12}{2} = 6 \text{ мм}$$

$$t_2 = \frac{14 - 12}{2} = 1 \text{ мм}$$

$$t_3 = \frac{14,2 - 14}{2} = 0,1 \text{ мм}$$

$$t_4 = \frac{14,62 - 14,2}{2} = 0,21 \text{ мм}$$

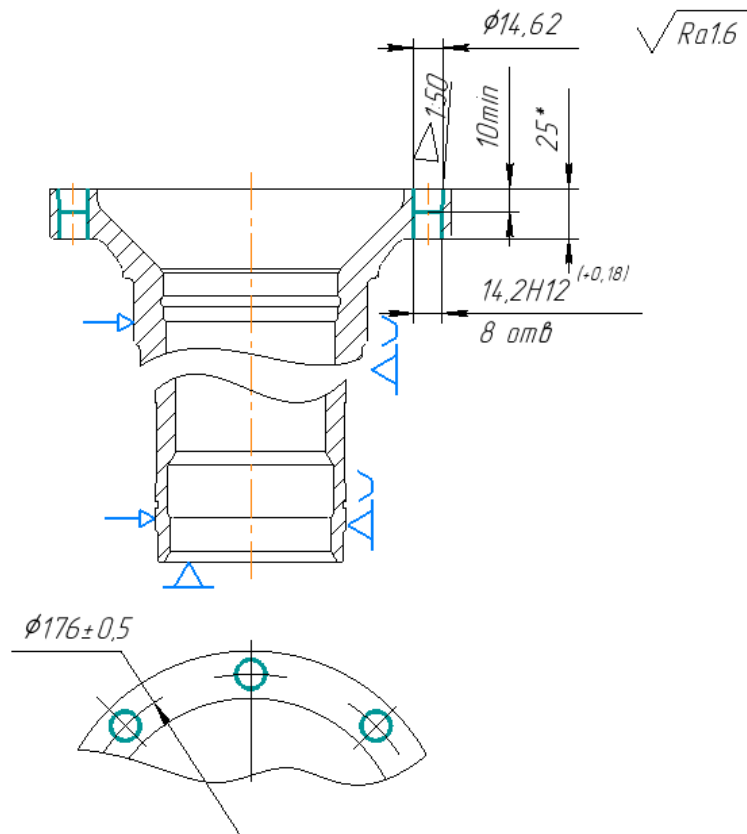


Рисунок 1.9 – Операційний ескіз

Для свердління подачу розраховуємо за формулами (125, 1.26):

де S_{0T} – табличне значення подачі, $S_{0T} = 0,35$ [8];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези $K_{SI} = 0,9$ [8];

K_{SZ} – коефіцієнт, що враховує заточку свердла $K_{SZ} = 0,9$ [8];

K_{SI} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла $K_{SI} = 0,9$ [8];

K_{SM} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу $K_{SM} = 0,9$ [8].

$$K_S = 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 \cdot 0,9 = 0,59$$

$$S_0 = 0,35 \cdot 0,59 = 0,2 \text{ мм/об}$$

Розраховуємо швидкість різання для свердління за формулами (1.27), (1.28):

де V_T – табличне значення швидкості різання $V_T = 45,7 \text{ м/хв}$ [8];

K_{Vc} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{Vc} = 1$ [8];

K_{Vi} – коефіцієнт, що враховує матеріал фрези, $K_{Vi} = 1$ [8];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента $K_{VT} = 1$ [8];

K_{Vj} – коефіцієнт, що враховує довжину свердла $K_{Vj} = 1,0$ [8];

K_{Vo} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні $K_{Vo} = 1,0$ [8];

$K_{Vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням $K_{Vж} = 0,8$ [8].

$$K_V = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,8$$

$$V = 45,7 \cdot 0,8 = 36,5 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя за формулою (1.29):

$$n = \frac{1000 \cdot 36,5}{3,14 \cdot 12} = 968,7 \text{ об/хв}$$

Приймаємо по паспорту верстата: $n_d = 950 \text{ об/хв}$.

Дійсну швидкість різання розраховуємо за формулою (1.30):

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 12 \cdot 950}{1000} = 35,7 \text{ м/хв}$$

Для інших переходів режими різання розраховуємо аналогічно і заносимо до таблиці 1.7.

Визначення машинного часу:

$$t_o = \frac{l+l_2+l_1}{nS} \cdot n, \text{ хв} \quad (1.41)$$

де l – довжина різання, мм;

l_2 – величина перебігу, мм;

l_1 – величина врізання, мм;

n – кількість отворів.

$$l_1 = \frac{D_{\text{св}}}{2tg60}, \text{ мм} \quad (1.42)$$

$$l_1 = \frac{12}{2tg60} = 3,5 \text{ мм};$$

$$t_o = \frac{25+3,5+2}{0,2 \cdot 950} \cdot 8 + \frac{25+2+2}{0,2 \cdot 950} \cdot 8 + \frac{25+2+2}{0,1 \cdot 500} \cdot 8 + \frac{10+2}{0,1 \cdot 500} \cdot 8 = 9,1 \text{ хв.}$$

Результати розрахунку режимів різання для решти операцій приведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати розрахунку режимів різання та норм часу

Номер та назва операції	Номер переходу	Режими різання				
		глибина різання t , мм	кількість проходів i	подача S , мм/об	швидкість різання V , м/хв	частота обертів шпинделя n , об/хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна з ЧПК	01	1,3	3	0,2	99	150
020 Токарна з ЧПК	01	1,5	2	0,2	99	150
	02	1,5	4	0,2	95	250
025 Токарна з ЧПК	01	1	4	0,2	99	450
	02	1	4	0,2	95	450
030 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	110	150
	02	0,5	2	0,1	115	250
035 Токарна з ЧПК	01	0,5	2	0,1	125	500
040 Протяжна	01	2,4	1	2м/хв	5	-
045 Свердлильна з ЧПК	01	6	8	0,2	35,7	950
	02	1	8	0,2	42	950
	03	0,1	8	0,1	22,2	500
	04	0,1	8	0,1	22,3	500
050 Фрезерна з ЧПК	01	2	56	15 мм/хв	16	100
055 Фрезерна з ЧПК	01	2	8	25 мм/хв	15	150
060 Фрезерна	01	3	16	25 мм/хв	35	500
065 Фрезерна	01	3	16	25 мм/хв	35	500
070 Фрезерна	01	2,5	8	25 мм/хв	35	630
090 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/37	1112/100
095 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/35	1112/100
100 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/34	1112/100

Продовження таблиці 1.7

71	2	3	4	5	6	7
105 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/35	1112/100
110 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/37	1112/100
115 Круглошліфувальна	01	0,2	25	0,008	35/33	1112/100
120 Внутрішньошліфувальна	01	0,2	50	0,005	45/45	10000/200
125 Внутрішньошліфувальна	01	0,2	50	0,005	45/45	10000/200
130 Круглошліфувальна	01	0,056	12	0,005	35/47	1112/130
135 Круглошліфувальна	01	0,1	20	0,005	35/33	1112/100
140 Круглошліфувальна	01	0,1	20	0,005	35/34	1112/100
145 Круглошліфувальна	01	0,1	20	0,005	35/38	1112/100
150 Круглошліфувальна	01	0,1	20	0,005	35/37	1112/100
155 Внутрішньошліфувальна	01	0,1	50	0,002	45/45	10000/200
160 Внутрішньошліфувальна	01	0,1	50	0,002	45/45	10000/200

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції 015

Допоміжний час на операцію:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}} + t_{\text{уп}} + t_{\text{пр.рух.}} + t_{\text{контр}}, \quad (1.43)$$

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,5$ хв [9];

$t_{\text{уп}}$ – час на управління верстатом $t_{\text{уп}} = 0,2$ хв [9];

$t_{\text{пр.рух.}}$ – час пришвидшених рухів $t_{\text{пр.рух.}} = 0,3$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, $t_{\text{контр}} = 0,2$ хв [9].

$$t_{\text{доп}} = 0,5 + 0,2 + 0,3 + 0,2 = 1,2 \text{ хв}$$

Оперативний час:

$$t_{\text{оп}} = t_0 + t_{\text{доп}} \quad (1.44)$$

$$t_{\text{оп}} = 59,4 + 1,2 = 60,6 \text{ хв}$$

Додатковий час:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.45)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 60,6 \cdot 0,1 = 6,06 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.46)$$

$$t_{\text{шт}} = 60,6 + 6,06 = 66,66 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою :

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} \quad (1.47)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 15$ хв [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс $t_{\text{пз2}} = 12$ хв [9].

$$t_{\text{пз}} = 15 + 10 = 27 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою:

$$t_{\text{шт-к}} = T_{\text{шт}} + \frac{T_{\text{пз}}}{n} \quad (1.48)$$

$$t_{\text{шт-к}} = 66,66 + \frac{27}{20} = 68 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування фрезерної операції 050

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,25$ хв [9];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{\text{мд}} = 0,5$ хв [9];

$t_{\text{контр}}$ – час на вимірювання $t_{\text{контр}} = 0,05$ хв [9].

$$t_{\text{доп}} = 0,25 + 0,5 + 0,05 = 0,8 \text{ хв.}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{оп}} = 154,2 + 0,8 = 155 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 155 \cdot 0,1 = 15,5 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт}} = 155 + 15,5 = 170,5 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 12$ хв [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс $t_{\text{пз2}} = 7$ хв [9].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 7 = 19 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт-к}} = 170,5 + \frac{19}{20} = 171,45 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування шліфувальної операції 130

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{\text{вст}}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{\text{вст}} = 0,4 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{мд}}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{\text{мд}} = 0,5 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{контр}}$ – час на вимірювання $t_{\text{контр}} = 0,1 \text{ хв}$ [9].

$$t_{\text{доп}} = 0,4 + 0,5 + 0,1 = 1 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{\text{оп}} = 0,14 + 1 = 1,14 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{\text{дод}} = 1,14 \cdot 0,1 = 0,11 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт}} = 1,14 + 0,11 = 1,25 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{пз1}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{пз1} = 12$ хв [9];

$t_{пз2}$ – час на додаткові прийоми, що не увійшли в комплекс $t_{пз2} = 10$ хв [9].

$$t_{пз} = 12 + 10 = 22 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{шт-к} = 1,25 + \frac{22}{20} = 2,35 \text{ хв}$$

1.7.4 Технічне нормування свердлильної операції 045

Допоміжний час на операцію розраховується за формулою (1.43):

де $t_{вст}$ – час на встановлення та зняття деталі $t_{вст} = 0,5$ хв [9];

$t_{мд}$ – машино-допоміжний час, пов'язаний з виконанням допоміжних рухів та прийомів при обробці поверхонь $t_{мд} = 0,75$ хв [9];

$t_{контр}$ – час на контроль деталі, $t_{контр} = 0,15$ хв [9].

$$t_{доп} = 0,5 + 0,75 + 0,15 = 1,4 \text{ хв}$$

Оперативний час розраховується за формулою (1.44):

$$t_{оп} = 9,1 + 1,4 = 10,5 \text{ хв}$$

Додатковий час розраховується за формулою (1.45):

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [9].

$$t_{дод} = 10,5 \cdot 0,1 = 1,05 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі розраховується за формулою (1.46):

$$t_{\text{шт}} = 10,5 + 1,05 = 11,55 \text{ хв}$$

Підготовчо-заключний час для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.47):

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початок роботи та здача в кінці зміни $t_{\text{пз1}} = 12 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз2}}$ – час на додаткові прийоми, що не ввійшли в комплекс $t_{\text{пз2}} = 13 \text{ хв}$ [9];

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі $t_{\text{пз3}} = 5 \text{ хв}$ – [9].

$$t_{\text{пз}} = 12 + 13 + 5 = 30 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час розраховується за формулою (1.48):

$$t_{\text{шт-к}} = 11,55 + \frac{30}{20} = 13,05 \text{ хв}$$

Результати розрахунків для решти операцій наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Зведена таблиця норм часу

Номер та назва операції	t_o , хв	$t_{\text{доп}}$, хв	$t_{\text{дод}}$, хв	$t_{\text{шт}}$, хв	$t_{\text{пз}}$, хв	$t_{\text{шт-к}}$, хв
1	2	3	4	5	6	7
015 Токарна з ЧПК	59,4	1,2	6,06	66,66	27	68,00
020 Токарна з ЧПК	184	1,2	18,52	203,72	27	205,07
025 Токарна з ЧПК	45	1,2	4,62	50,82	27	52,17
030 Токарна з ЧПК	37	1,2	3,82	42,02	27	43,37
035 Токарна з ЧПК	84	1,2	8,52	93,72	27	95,07
040 Протяжна	3	0,5	0,35	3,85	15	4,60
045 Свердлильна з ЧПК	9,1	1,4	1,05	11,55	25	12,80
050 Фрезерна з ЧПК	154,2	0,8	15,50	170,50	19	171,45
055 Фрезерна з ЧПК	127	0,8	1,00	128,80	19	129,75
060 Фрезерна	25	0,9	2,59	28,49	20	29,49
065 Фрезерна	25	0,9	2,59	28,49	20	29,49
070 Фрезерна	18	0,9	1,89	20,79	20	21,79
090 Круглошліфувальна	0,5	1	0,15	1,65	22	2,75

Продовження таблиця 1.8

1	2	3	4	5	6	7
095 Круглошліфувальна	0,45	1	0,15	1,60	22	2,70
100 Круглошліфувальна	0,35	1	0,14	1,49	22	2,59
105 Круглошліфувальна	0,64	1	0,16	1,80	22	2,90
110 Круглошліфувальна	0,52	1	0,15	1,67	22	2,77
115 Круглошліфувальна	0,4	1	0,14	1,54	22	2,64
120 Внутрішньошліфувальна	1,37	1,3	0,27	2,94	25	4,19
125 Внутрішньошліфувальна	1,45	1,3	0,28	3,03	25	4,28
130 Круглошліфувальна	0,34	1	0,13	1,47	22	2,57
135 Круглошліфувальна	0,25	1	0,13	1,38	22	2,48
140 Круглошліфувальна	0,32	1	0,13	1,45	22	2,55
145 Круглошліфувальна	0,18	1	0,12	1,30	22	2,40
150 Круглошліфувальна	0,25	1	0,13	1,38	22	2,48
155 Внутрішньошліфувальна	0,8	1,3	0,21	2,31	25	3,56
160 Внутрішньошліфувальна	0,9	1,3	0,22	2,42	25	3,67

1.8 Розробка керуючої програми на операцію з ЧПК

1.8.1 Операція 015 – токарна з ЧПК

За допомогою програми Siemens.NX для токарної операція створюємо керуючу програму (КП) розробимо. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.10, 1.11.



Рисунок 1.10 – Модель деталі після точіння



Рисунок 1.11 – Модель заготовки

Далі задаємо систему координат верстату та деталі, накладаємо модель деталі на модель заготовки (рис. 1.12).

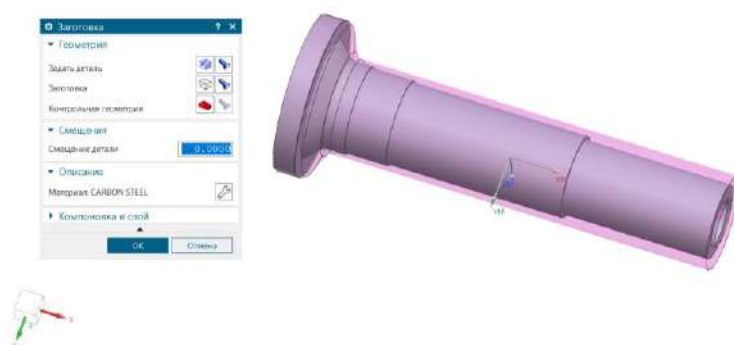


Рисунок 1.12 – Визначення умов обробки

Після цього генеруємо токарний переріз та визначаємо початкові точки руху інструменту (рис. 1.13).

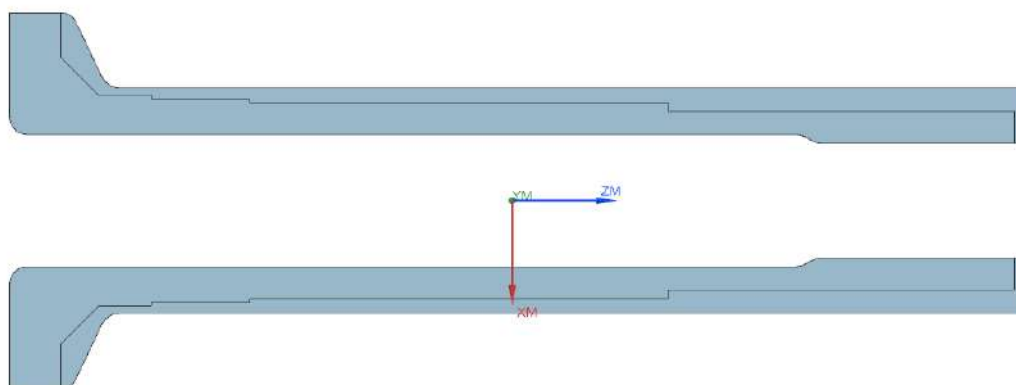


Рисунок 1.13 – Токарний переріз

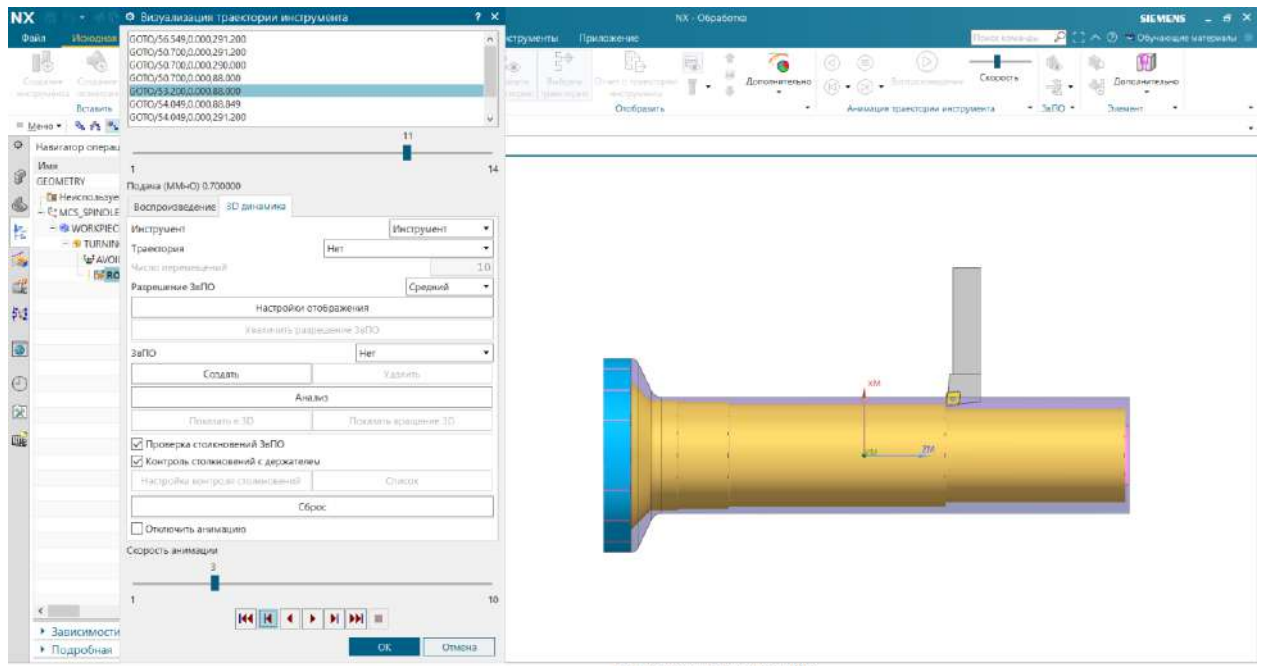


Рисунок 1.16 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП токарної операції в модулі Siemens.NX наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715004.037.

1.8.2 Операція 050 – фрезерна з ЧПК

Керуючу програму (КП) розробимо для фрезерної операції 035 за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.17, 1.18.



Рисунок 1.17 – 3D зображення деталі



Рисунок 1.18 – 3D зображення заготовки

Далі було визначено робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.17).



Рисунок 1.17 – Визначення робочої геометрії

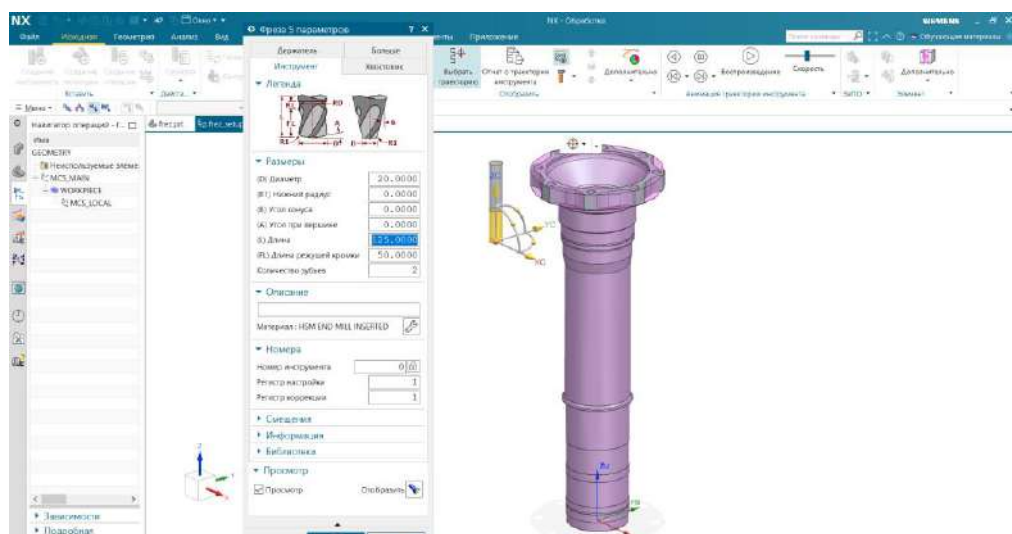


Рисунок 1.18 – Створення інструменту

Розроблюємо операцію фрезерування периферії фланцю (рис. 1.19). Візуалізація обробки зображено на рис. 1.20.

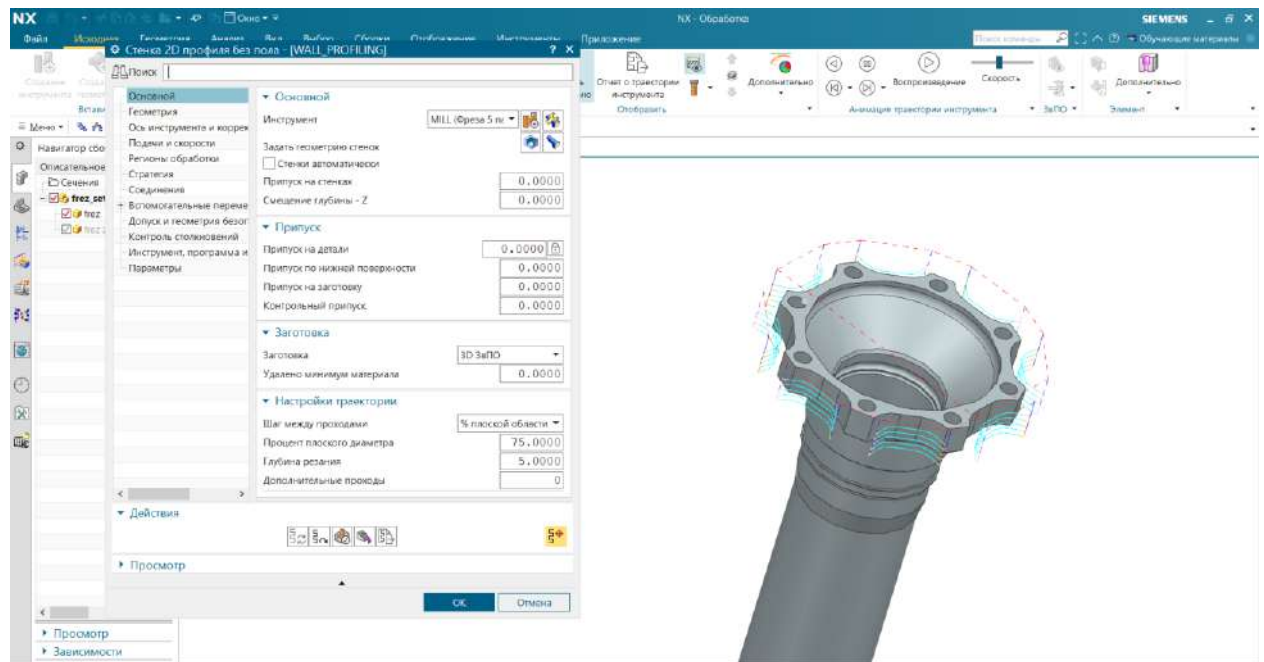


Рисунок 1.19 – Траектория обработки

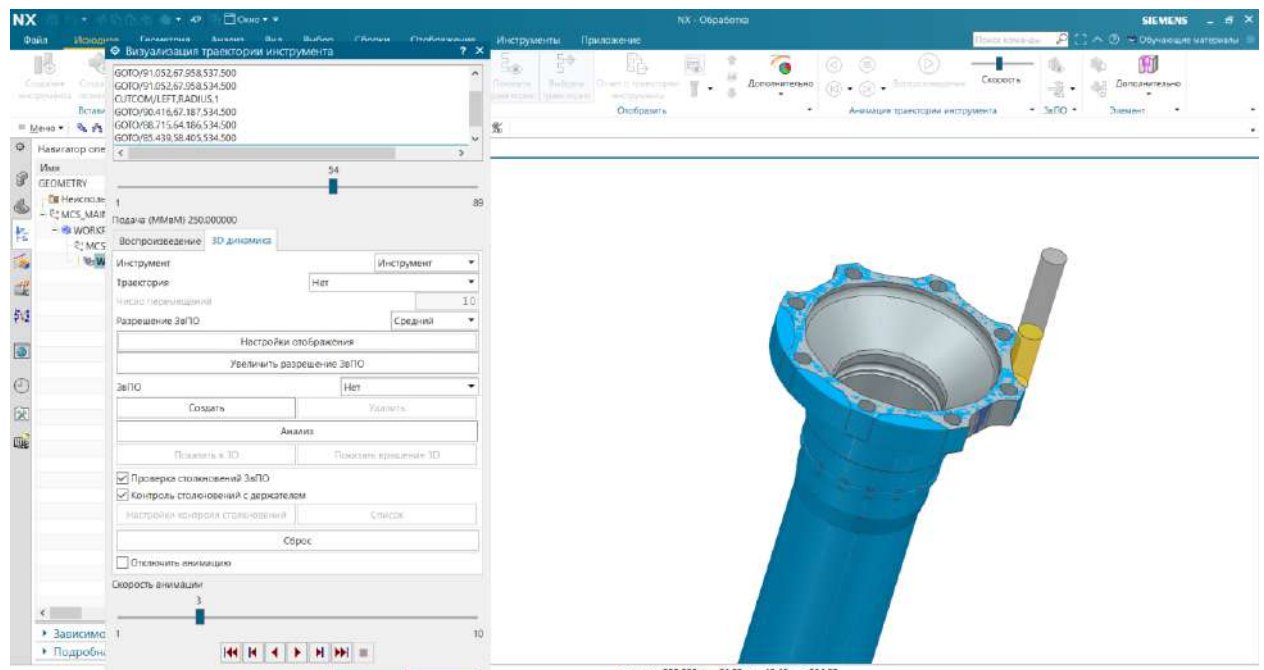


Рисунок 1.20 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП фрезерної операції наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715004.037.

1.8.3 Операція 045 – свердлильна з ЧПК

Керуючу програму (КП) розробимо для свердлильної за допомогою програми Siemens.NX. 3D моделі деталі та заготовки зображено на рис. 1.21, 1.22.

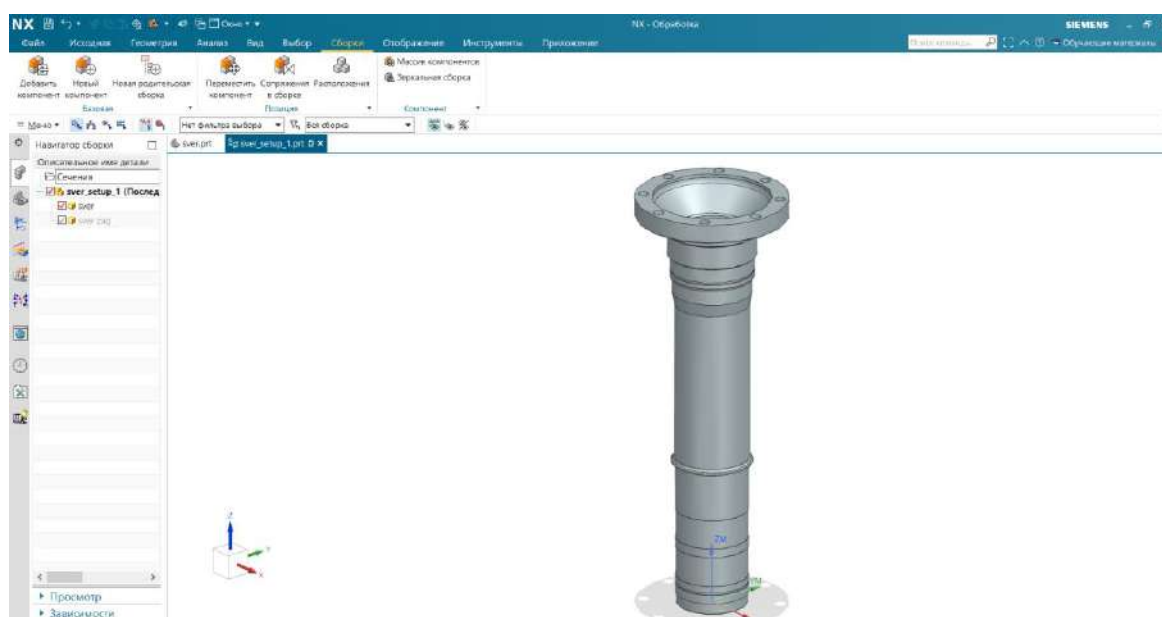


Рисунок 1.21 – 3D зображення деталі після обробки

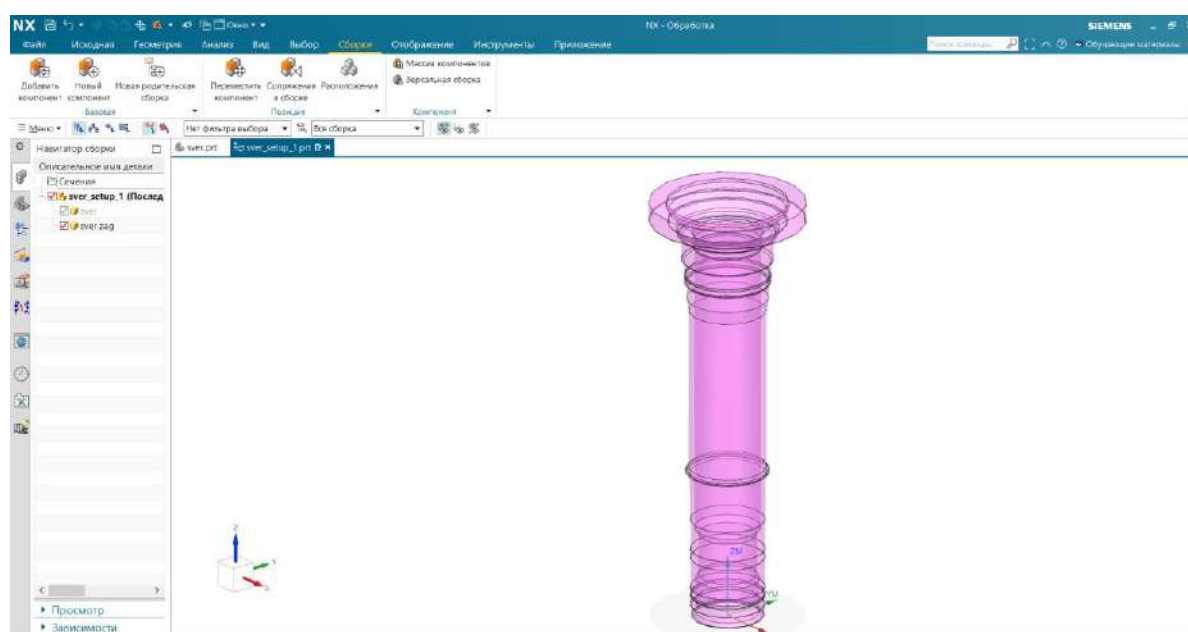


Рисунок 1.22 – 3D зображення заготовки

Далі було визначено робочу геометрію, контрольну геометрію, деталь та заготовку (рис. 1.23), створено інструмент (1.24).

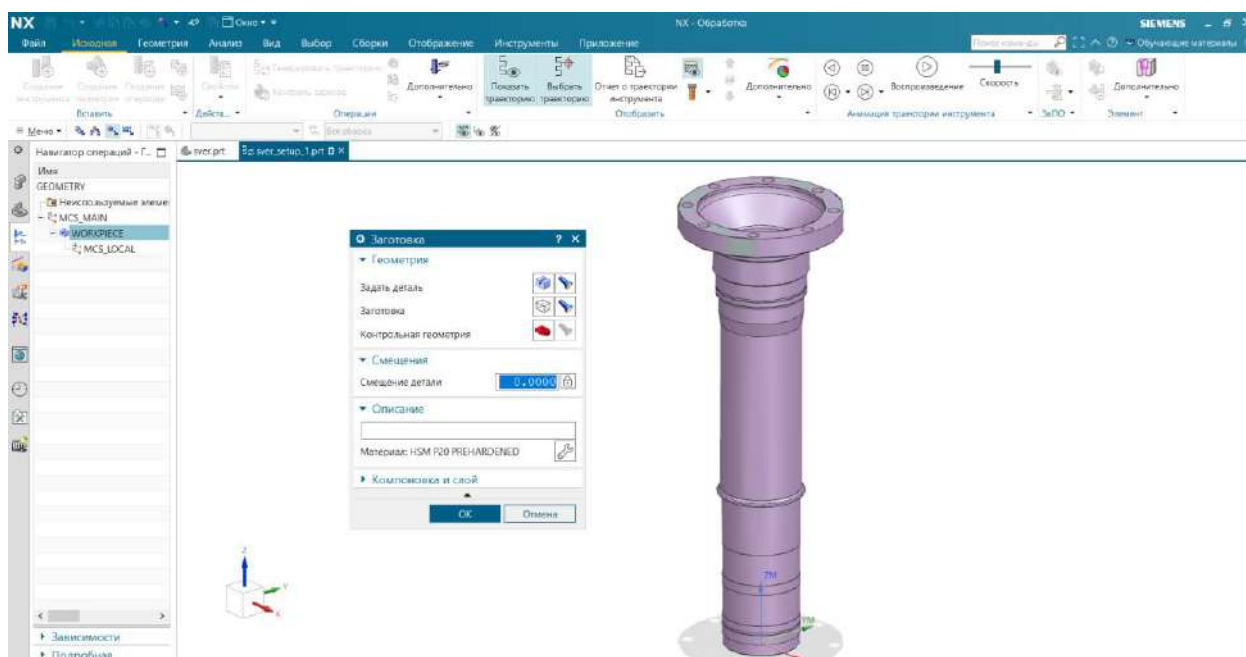


Рисунок 1.23 – Визначення робочої геометрії

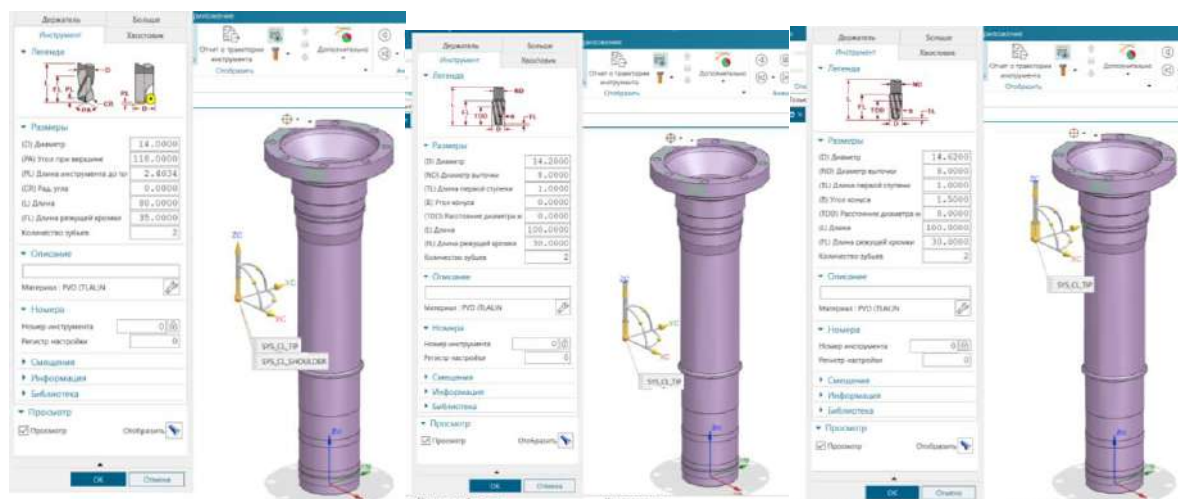


Рисунок 1.24 – Створення інструменту

Розроблюємо операцію послідовного свердління, зенкерування, розгортання 8 отворів (рис. 1.25). Візуалізація та траєкторія обробки зображено на рис. 1.26.

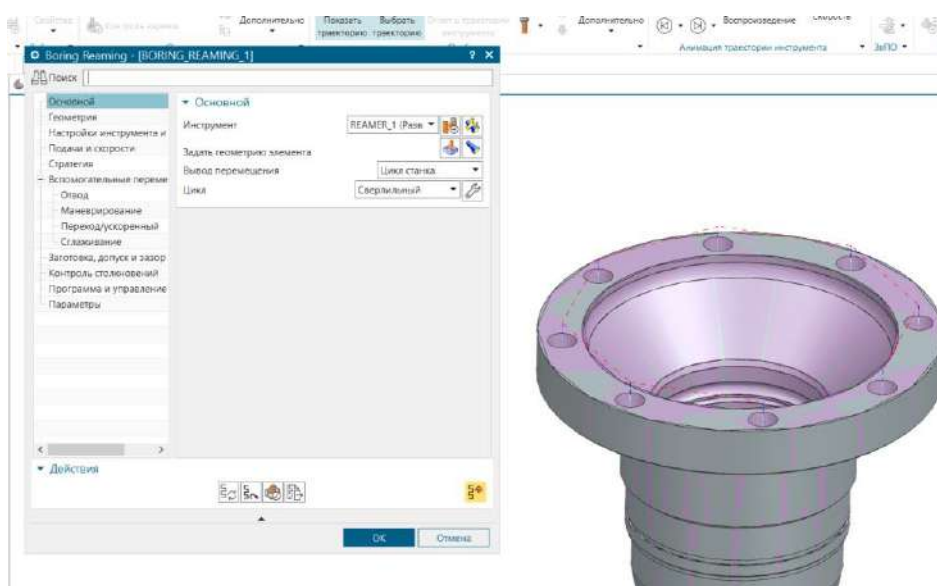


Рисунок 1.25 – Траектория обработки

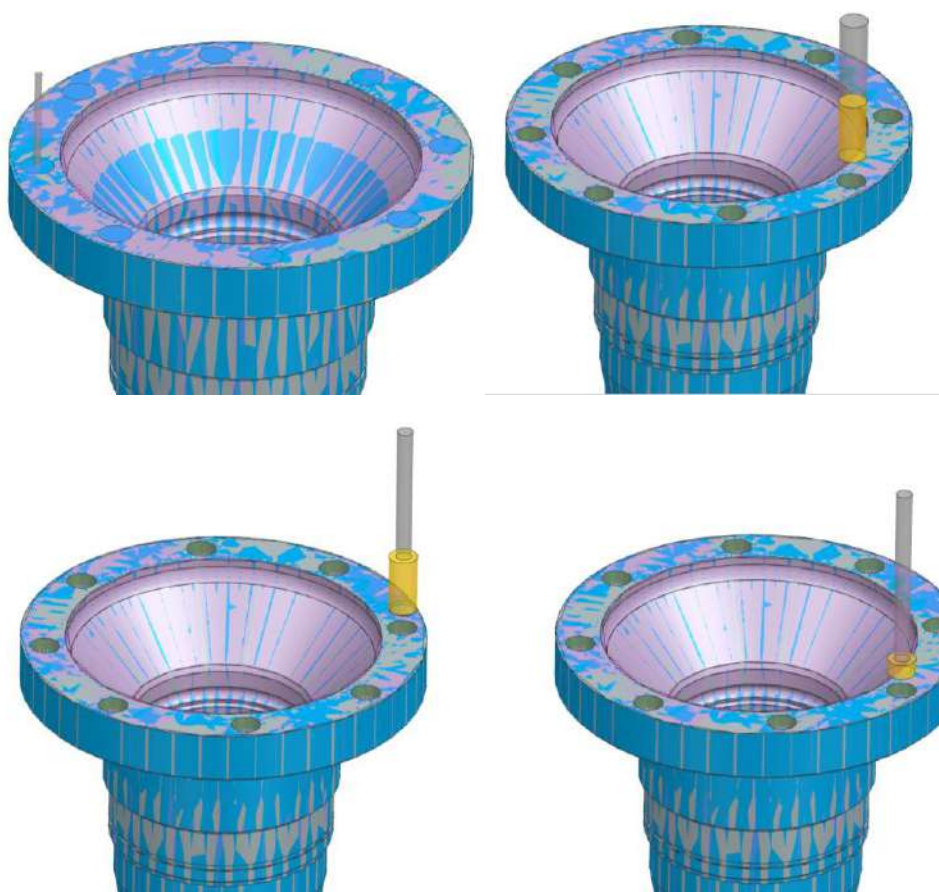


Рисунок 1.26 – Візуалізація обробки

Послідовність розробки КП свердлильної операції наведено в графічній частині дипломної роботи на плакаті НУЗП 715004.037.

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Спроековано пристрій (рис. 2.1) для свердління 8 отворів 14,2 мм, він призначений для швидкого та надійного закріплення заготовок. Заготовка в пристрої встановлюється по діаметру 110 мм та 95,2, які є напрямними базами. Установчою базою є крайній торець заготовки.

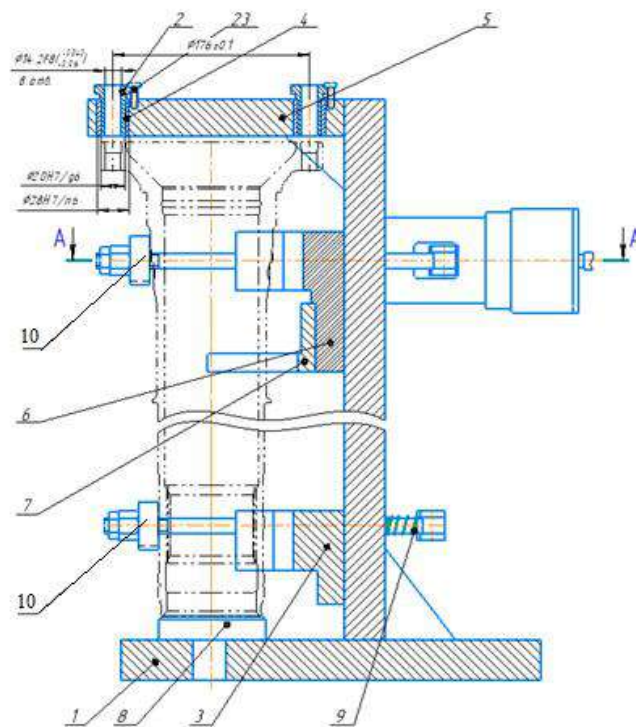


Рисунок 2.1 – Конструкція пристосування

При обробці деталь встановлюється на призми 3, 6, затискається у пристосуванні прихватами 10. Верхній важіль 10 затискає деталь за рахунок роботи гідроциліндру, а нижній за рахунок ручного закручування гайок. При затиску рідина в гідроциліндрі за допомогою штока 12 тисне на прихват 10, який у свою чергу притискає заготовку. Фіксування відбувається завдяки заклиненню механізму і після обробки знімається подачею тиску в зворотню

порожнину гідроциліндру.

На верстат пристосування встановлюється по напрямних та кріпиться болтами у відповідних місцях.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.

Похибка установки – різниця граничних відхилень вимірювальної бази щодо встановленого розміру ріжучого інструменту.

Похибка встановлення розраховується за формулою:

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

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

$\varepsilon_{\text{закр}}$ – похибка закріплення

Деталь встановлюється по $\varnothing 110,85_{-0,087}$ у призму (рис. 2.2).

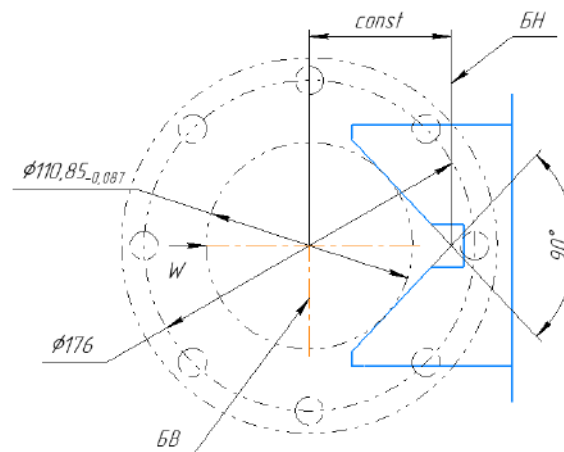


Рисунок 2.2 – Схема установки у призму

Похибка базування розраховується за формулою:

$$\varepsilon_{\text{баз}} = K_1 \cdot Td \quad (2.2)$$

де Td – допуск на діаметр базування;

K_2 – коефіцієнт, що характеризує тип базування, $K_2=0,7$.

$$\varepsilon_{\text{баз}} = 0,7 \cdot 0,087 = 0,06 \text{ мм}$$

Похибку закріплення $\varepsilon_{\text{зак}}=0,035$ мм визначаємо з довідкової літератури [10].

Похибка встановлення згідно формули (2.1) дорівнює:

$$\varepsilon_{\text{вст}} = \sqrt{0,06^2 + 0,035^2} = 0,07 \text{ мм}$$

Розрахунок на точність пристосування полягає у визначенні виконавчих розміру та допуску на розташування осей кондукторних втулок (рис. 2.3).

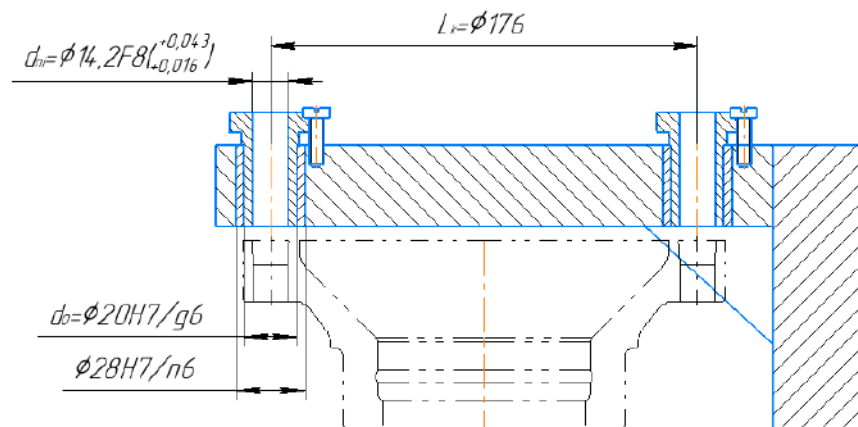


Рисунок 2.3 – Схема розрахунку розміру розміщення кондукторних втулок

Визначаємо номінальні розміри між осями кондукторних втулок. Оскільки допуски на оброблені отвори задаються симетрично, то $L_k=L_d=176$ мм.

Розраховуємо допуск на розмір кондукторних втулок L_{k1}, L_{d1} :

$$T_k \leq T_d - \kappa \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{зак}}^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2 + \Delta_5^2} \quad (2.3)$$

де $T_d=0,16$ мм – повне поле допуску розмір обробки;

$k=1$ – коефіцієнт, враховуючий відхил відстані складових величин від закону нормального розподілу, і залежить від кількості складових похибок;

Δ_2 – частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі змінної втулки щодо постійної:

$$\Delta_2 = S_{2\max} = d_{\max} - d_{0\min} = 20,018 - 19,983 = 0,035 \text{ мм} \quad (2.4)$$

$\Delta_3 = 0,01 \text{ мм}$ – частка похибки обробки, викликана зміщенням осі свердла внаслідок ексцентриситету обох втулок;

$\Delta_4 = 0,015 \text{ мм}$ – частка похибки обробки, яка залежить від величини допустимого зносу;

Δ_5 – частка похибки обробки, що враховує перебіс інструменту в процесі обробки:

$$\Delta_5 = \frac{\Delta_1 \cdot (H + 2a)}{H} = \frac{0,065 \cdot (27 + 2 \cdot 8)}{27} = 0,103 \text{ мм} \quad (2.5)$$

де Δ_1 – частка похибки обробки, яка залежить від зміщення осі свердла щодо осі отвору змінної втулки;

a – відстань від кондукторної втулки до деталі;

$$\Delta_1 = S_{1\max} = d_{\text{зм.}\max} - d_{\text{св.}\min} = 14,235 - 14,17 = 0,065 \text{ мм} \quad (2.6)$$

$$a = (0,5 - 0,8) d_{\text{св}} = 0,5 \cdot 14,2 = 8 \text{ мм} \quad (2.7)$$

$$T_k \leq 0,16 - 1 \cdot \sqrt{0,059^2 + 0,035^2 + 0,035^2 + 0,01^2 + 0,015^2 + 0,103^2} = 0,09 \text{ мм}$$

$$\frac{T_k}{2} \leq \frac{0,09}{2} \Rightarrow \pm 0,05$$

Виконавчий розмір установка:

$$[L_k] = L_k \pm \frac{T_k}{2} \quad (2.8)$$

$$L_k = 176 \pm 0,05$$

2.1.3 Розрахунок необхідного сили затиску. Вибір приводу

Ефективність затиску багато в чому залежить від напрямку та місця застосування сили. Затискні пристрої служать для утримання заготовлі під час її обробки.

За методикою [11] (рис. 2.4) визначимо всі моменти та сили що діють в закріпленні:

$$\sum M_O = 0 \quad (2.9)$$

$$F_{\text{тр}} = F \quad (2.10)$$

$$M_p = F \cdot R \quad (2.11)$$

$$F_{\text{тр}} = fN \quad (2.12)$$

$$N = W \cos \alpha \quad (2.13)$$

$$W \cos \alpha = M/R \quad (2.14)$$

$$W = \frac{M}{Rf \cos \alpha}; \quad (2.15)$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя;

R – радіус прикладання моменту.

$$W_{\partial} = \kappa \cdot W \quad (2.16)$$

де κ – коефіцієнт запасу закріплення.

Визначення моменту різання:

$$M_{\text{кр}} = 10 C_m D^q s^y K_p \quad (2.17)$$

де C_m, q, y, K_p – коефіцієнти.

$$K_p = \left(\frac{\sigma_T}{750} \right)^n \quad (2.18)$$

$$K_p = \left(\frac{650}{750} \right)^{0.75} = 0.89$$

$$M_{kp} = 10 \cdot 0,0345 \cdot 14,2^2 \cdot 0,1^{0.8} \cdot 0,89 = 9,8 \text{ Нм}$$

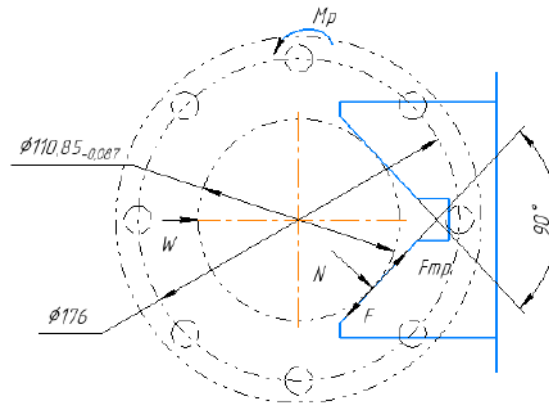


Рисунок 2.4 – Схема до визначення сили закріплення [11]

Коефіцієнт запасу закріплення:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6; \quad (2.19)$$

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

k_1 – коефіцієнт нерівномірності сил різання через непостійність припуску, що знімається при обробці $k_1=1$;

k_2 – коефіцієнт, що враховує збільшення сил різання від прогресуючого затуплення інструменту $k_2=1,7$;

k_3 – коефіцієнт, що враховує переривчастість різання $k_3=1,2$;

k_4 – коефіцієнт, що враховує мінливість сил затиску, що розвиваються приводами $k_4=1$;

k_5 – коефіцієнт, що враховує зручність розташування рукояток $k_5=1$;

k_6 – коефіцієнт невизначеності положення місць контакту $k_6=1$.

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 3,06$$

Сила закріплення згідно формули (2.29):

$$W = \frac{3,06 \cdot 9,8}{0,15 \cdot \cos 45 \cdot 0,088} = 3213 \text{ Н}$$

Мінімальний діаметр штоку:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot \alpha \cdot W}{\pi \cdot [\sigma]}} \quad (2.20)$$

де α – коефіцієнт затягування $\alpha=2,25$;

$[\sigma]$ – допустима напруга на розтяг для сталі 45, $[\sigma]=100$ МПа.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,25 \cdot 3213}{3,14 \cdot 100}} = 9,5 \rightarrow 36 \text{ мм}$$

Діаметр циліндра:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot W}{p \cdot \eta \cdot \pi} + d^2} \quad (2.21)$$

де η – коефіцієнт корисної дії (ККД), що враховує втрати на тертя $\eta = 0,85 \dots 0,9$.

p – тиск в гідросистемі $p=5 \dots 10$ МПа;

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 3213}{3,14 \cdot 5 \cdot 0,85} + 36^2} = 77,5 \rightarrow 80 \text{ мм}$$

2.2 Проектування контрольного пристосування

2.2.1 Конструкція і принцип роботи контрольного пристосування

Для контролю радіального биття 0,02 мм діаметра 116 мм відносно баз Б, Г розроблено контрольне пристосування (рис. 2.5), яке включає в себе корпус 11 з двома встановленими на ньому призми 1 і 2. Також на корпусі

11 розташована штанга 3 з індикаторним годинником, яка може рухатися вертикально і обертатися. Під час контролю деталь позиціонується за допомогою призм 1 і 2 по діаметрам 110 мм та 95,2 мм. За допомогою індикаторного годинника вимірюють радіальне биття, проводячи обертання деталі.

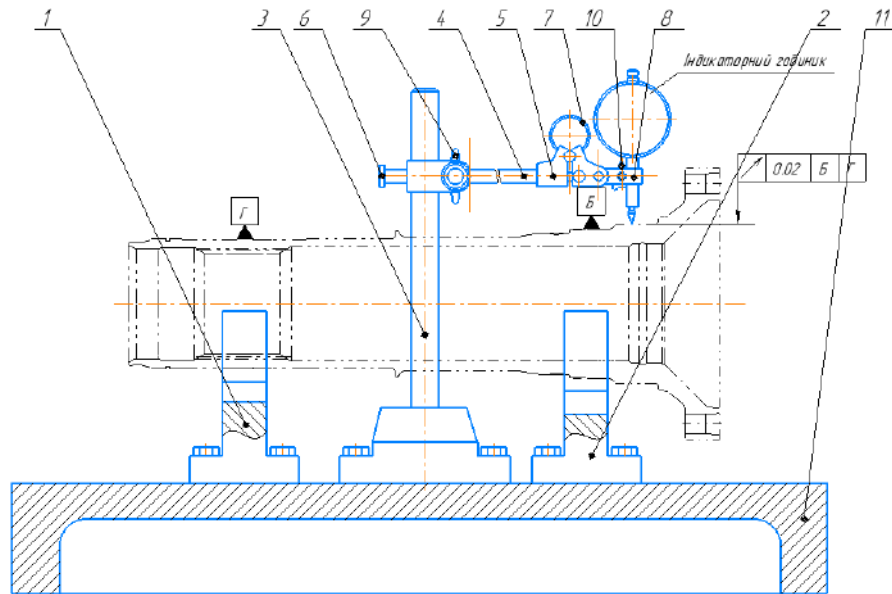


Рисунок 2.5 – Контрольне пристосування

2.2.2 Розрахунок контрольного пристосування на точність

Допустиму сумарну похибку вимірювання визначають за формулою [10]:

$$\varepsilon_{изм} = \varepsilon_{uy} + \varepsilon_{un} + \varepsilon_{um} + \sqrt{\varepsilon_{нб}^2 + \varepsilon_3^2 + \varepsilon_{uc}^2 + \varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{cu}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (2.22)$$

де $\varepsilon_{им}=0$ – похибка, спричинена неточністю еталону. У цьому пристрої еталон не використовується.

$\varepsilon_{нб}=0$ – похибка базування, тому що настроювальна та вимірювальні бази збігаються;

$\varepsilon_{ис}=0$ – похибка закріплення, оскільки схема виміру в пристосуванні не затискається;

$\varepsilon_{иу}=0,0015\text{мм}$ – частка похибки конструкції пристосування;

$\varepsilon_{зп}=0,006\text{мм}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передавальних пристроїв за їх наявності;

$\varepsilon_{си}=0,001\text{мм}$ – похибка засобу вимірювання;

$\varepsilon_{др}=0,0015\text{мм}$ – похибка, викликана дією випадкових факторів.

$$\varepsilon_{ип}=\Delta_{рд}+\Delta_{ру}+\Delta_{рн}+\Delta_{рк}+\Delta_{ра} \quad (2.23)$$

$\Delta_{рд}=0$ – похибка від неточності виготовлення довжин плечей важелів;

$\Delta_{ру}=0$ – похибка від неточності виготовлення кута плечей важелів;

$\Delta_{рн}=0$ – похибка від непропорційного переміщення плечей важелів;

$\Delta_{рк}=0$ – похибка від зміщення точки контакту важелів;

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі.

$$\varepsilon_{ип}=0+0+0+0+0,0002=0,0002 \text{ мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,0015 + 0,0002 + 0 + \sqrt{0 + 0 + 0 + 0,006^2 + 0,001^2 + 0,0015^2} = 0,005\text{мм}$$

$$\varepsilon_{узм} = 0,005\text{мм} \leq [\varepsilon_{узм}] = 0,025\text{мм}$$

Умова придатності виконується, пристрій можна використовувати для даної контрольної операції.

3. АВТОМАТИЗАЦІЯ

3.1 Автоматизація токарної обробки за допомогою роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження деталей

Виробничі процеси обробки металічних деталей з використанням токарних верстатів є невід'ємною частиною сучасної промисловості [12]. З постійним прагненням до підвищення ефективності та точності, увага приділяється впровадженню автоматизованих систем. Однією з ключових тенденцій у цій галузі є автоматизація токарної обробки за допомогою роботизованих рук (рис. 3.1) та систем автоматичного завантаження/вивантаження деталей (рис. 3.2).



Рисунок 3.1 – Роботизована рука [13]

Автоматизація токарної обробки з використанням роботизованих рук надає низку значних переваг. По-перше, це підвищує продуктивність процесу. Роботи можуть працювати безперервно без необхідності перерв, що скорочує час обробки і збільшує вихід продукції [14]. По-друге, автоматизація сприяє покращенню якості обробки. Роботи можуть виконувати завдання з високим

ступенем точності та повторюваності, виключаючи людський фактор та зменшуючи кількість дефектів.



Рисунок 3.2 – Система автоматичної загрузки деталей [15]

Роботизовані руки відіграють важливу роль у автоматизації токарної обробки. Ці системи обладнані датчиками та інтегрованими камерами, що дозволяє їм розпізнавати деталі, визначати їхнє положення та орієнтацію. Завдяки цьому роботи здатні підлаштовуватися під різні розміри і форми деталей, що забезпечує універсальність виробництва.

Крім роботизованих рук системи автоматичного завантаження і вивантаження деталей є невід'ємною частиною автоматизації токарної обробки. Ці системи оснащені конвеєрами, що подають деталі на обробку, та маніпуляторами для їхнього прибирання після завершення обробки. Це дозволяє мінімізувати час простою між циклами обробки та максимально використовувати роботизований токарний верстат.

Сучасні системи автоматизації токарної обробки не лише забезпечують ефективність та якість, а й мають високотехнологічні функції. Наприклад, деякі системи оснащені штучним інтелектом та машинним навчанням, дозволяючи аналізувати дані про обробку для оптимізації виробничих процесів.

У світі є кілька провідних компаній, що спеціалізуються на розробці та виробництві роботизованих систем для автоматизації токарної обробки. Лідируючі компанії у цій галузі постійно інвестують у дослідження та розробки, що дозволяє їм впроваджувати передові технології, такі як штучний інтелект, машинне навчання та системи комп'ютерного зору. Продукти від цих компаній відомі своєю високою надійністю та довговічністю, що забезпечує безперебійну роботу у промислових умовах. Рішення від лідерів надають можливість налаштувати роботу під конкретні потреби виробництва та різні типи деталей, що забезпечує гнучкість виробничих процесів. Лідери компанії зазвичай надають широкий спектр сервісних послуг, включаючи навчання, технічну підтримку та обслуговування, що допомагає клієнтам ефективно використовувати роботизовані системи. Деякі компанії приділяють особливу увагу розробці колаборативних роботів, які можуть безпечно співіснувати та взаємодіяти з операторами, що підвищує безпеку та ефективність робочих процесів.

Лідируючі компанії у виробництві роботизованих систем для токарної обробки уособлюють передовий прогрес у галузі автоматизації та відіграють ключову роль в оптимізації виробничих процесів промисловості. Деякі з них займають ключові позиції завдяки високій якості своїх продуктів, інноваційним технологіям та широкому спектру рішень, а саме:

1) FANUC – це японська компанія, яка є одним із світових лідерів у галузі промислової автоматизації та робототехніки. Вона пропонує роботизовані руки та системи керування для різних областей, включаючи токарну обробку. Продукти FANUC відрізняються високою надійністю, точністю та інноваційними технологіями, такими як системи штучного інтелекту та навчання.

2) KUKA – німецька компанія, відома своїми передовими рішеннями у галузі промислової автоматизації та робототехніки. Вона також надає роботизовані системи для токарної обробки, включаючи високотехнологічні рішення з додатковими функціями маніпуляції та взаємодії з довкіллям.

3) Yaskawa, особливо відома під брендом MOTOMAN, є світовим лідером у галузі індустріальних роботів та автоматизованих систем. Компанія пропонує широкий асортимент роботів для токарної обробки, з різними вантажопідйомностями та характеристиками, а також сучасними системами управління.

4) Universal Robots – датська компанія, що виділяється на ринку завдяки своїм колаборативним роботам (cobots). Ці роботи призначені для співпраці з людьми та надають зручні та гнучкі рішення для автоматизації токарної обробки.

Автоматизація токарної обробки з використанням роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження деталей є важливим кроком у розвитку сучасної промисловості. Ці технології сприяють підвищенню ефективності, точності та якості виробництва, а також покращують умови праці та безпеку робітників. Впровадження автоматизації в токарну обробку підтверджує прагнення інновацій та поліпшення виробничих процесів.

4. РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

4.1 Визначення напружено-деформованого стану деталі

При роботі вал вільної турбіни фланцем через отвори кріпиться до приводного механізму, а через внутрішні евольвентні шліци з'єднується зі шліцями заднього валу компресора та передає крутний момент 150 Нм. Під дією крутного моменту вал вільної турбіни зазнає кручення. Розрахунок валу на міцність проведено за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX. Спочатку створено 3D-модель фрагменту деталі (рис. 4.1).

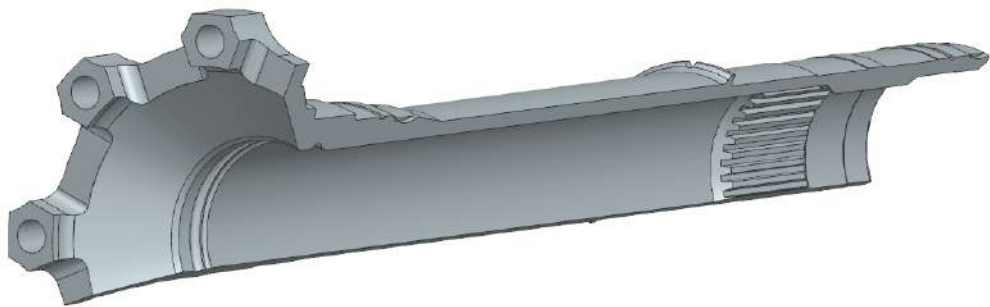


Рисунок 4.1 – Фрагмент деталі для розрахунку

Далі модель розбиваємо на сітку кінцевих елементів, яка зображена на рис. 4.2.



Рисунок 4.2 – Модель деталі розбита на сітку кінцевих елементів

В місці закріплення валу по отворах був прикладений крутний момент (рис. 4.3). По шліцам було закріплено вал.



Рисунок 4.3 – Модель з накладеними обмеженнями

4.2 Визначення допустимих навантажень при різних варіантах конструкції

Результат виконаного розрахунку напружено-деформованого стану валу за допомогою програмного забезпечення Siemens.NX зображено на рис. 4.4.

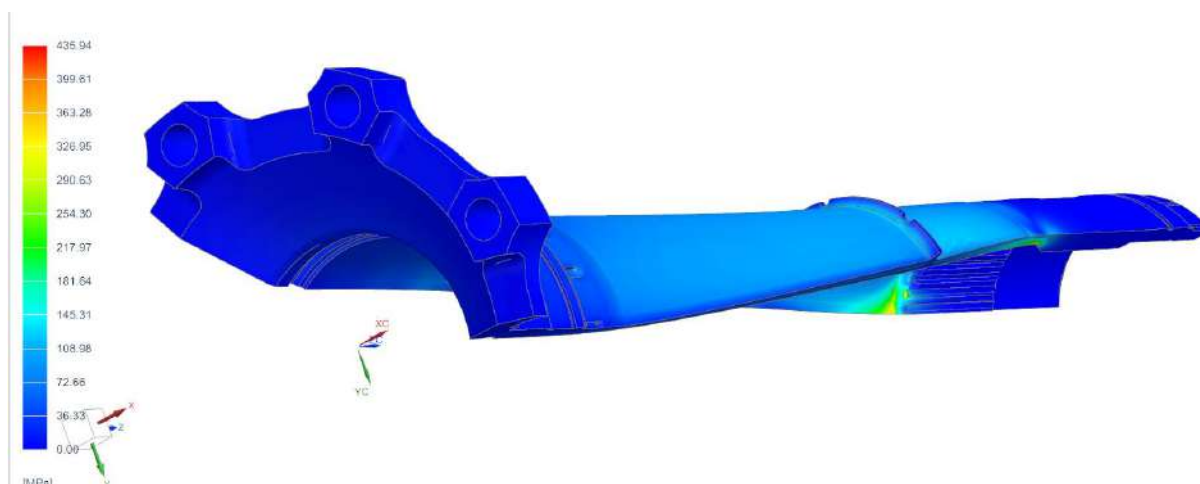


Рисунок 4.4 – Напруження в деталі

Максимальне напруження виникає у куті переходу діаметра отвору на шліци, дорівнює $\sigma_{\max} = 435,94$ МПа.

4.3 Оптимізація геометрії деталі

Спочатку необхідно розрахувати коефіцієнт запасу міцності по напруженням за формулою:

$$k = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\max}} \quad (4.1)$$

де $[\sigma]$ – допустиме значення границі плинності для сталі 07Х12НМБФ $[\sigma] = 785$ МПа;

$\sigma_{\max}$ – максимальне напруження.

$$k = \frac{785}{435,94} = 1,8$$

Згідно розрахунків конструкція валу вільної турбіни відповідає діючим навантаженням, тому що запас міцності дорівнює 1,8. Оптимізація геометрії деталі не потрібна.

5. МЕТОДИ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ТОНКОСТІННИХ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ

5.1 Види неруйнівного контролю

Дослідження та впровадження методів неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей є однією з основних чинників ефективної технології виготовлення, яка враховує вимоги сучасного виробництва.

Контроль якості продукції – найбільш популярна технологічна операція у виробництві та експлуатації різного обладнання [16]. Постійна перевірка техніки дуже актуальна, тому що виробники промислової продукції хочуть мінімізувати збитки і скоротити свої витрати. Великі збитки через низьку якість продукції зазнають промислові підприємства країн СНД. У 100 млрд доларів оцінюють у США щорічні втрати від дефектів внаслідок втоми металу та у 200 млрд доларів – від дефектів внаслідок корозії. Близько 10% національного доходу втрачають щорічно розвинені країни через низьку якість продукції.

Витримувати високі стандарти за умов виробництва на сильно зношеному устаткуванні стає дедалі складніше. А нові установки та матеріали впроваджуються повільно. При цьому використання системи контролю якості підвищує ціну продукції. Згідно з експертною оцінкою в розвинених країнах витрати на контроль якості в аерокосмічній та оборонній галузях, а також в атомній енергетиці становлять 12-18% вартості продукції [17]. Але варто зазначити, що, на противагу великим витратам, застосування ефективної системи перевірки якості на всіх етапах життєвого циклу продукції дозволяє:

- 1) суттєво підвищити її надійність;
- 2) продовжити ресурс устаткування;
- 3) збільшити безпеку експлуатації деталей, механізмів, агрегатів;
- 4) в окремих випадках – зберегти життя та здоров'я робітників;

- 5) отримати масштабах країни економічний ефект.

Неруйнівним контролем (НК) називається перевірка надійності як цілого об'єкта, так і його складових. При НК використовуються спеціальні методи, що дозволяють провести роботи без розбирання або виведення з експлуатації. Базою для методів та засобів контролю, що зберігають цілісність об'єктів та їх експлуатаційні характеристики, є дослідження фізичних принципів.

Неруйнуючий контроль визначений у нормативних документах як «контроль, який не руйнує», тобто не порушує придатність деталі або об'єкта до використання за призначенням. "Контролювати якість" – означає періодично вимірювати значення робочих характеристик і властивостей об'єкта і перевіряти, наскільки вони відповідають допустимим величинам. Процес неруйнівного контролю простий і передбачає, що:

- 1) не доведеться демонтувати конструкцію чи її частину;
- 2) не потрібно зупиняти роботу об'єкта;
- 3) можна безпосередньо не втручатися у досліджуване середовище.

Спосіб полягає у впливі на предмет контролю акустичними, електричними, магнітними та іншими полями, а також проникаючими речовинами. Щоб достовірно виявити дефекти різних об'єктів, потрібно лише проаналізувати дані дослідницьких приладів контролю, що не руйнує. Дефекти, згідно з діючими стандартами, можуть бути різними.

У процесі НК визначення недоліків об'єкта використовують різні фізичні поля і речовини. Залежно від фізичних явищ, що лежать в основі вимірювань, переважно виділяють дев'ять видів неруйнівного контролю:

- 1) магнітний;
- 2) електричний;
- 3) вихрострумний;
- 4) радіохвильовий;
- 5) тепловий;
- 6) оптичний;

- 7) радіаційний;
- 8) акустичний (ультразвуковий);
- 9) дія проникаючими речовинами.

Кожен названий вид НК може містити кілька методів. Ця особливість залежить від типу впливу одна на одну фізичних полів (речовин) та об'єкта контролю, первинних інформативних параметрів, способів отримання початкових даних.

Усі відомі прийоми, а налічується їх понад 100, якими здійснюється НК, називають методами неруйнівного контролю (МНК).

МНК, засновані на подібних фізичних законах, умовно групують у види та класифікують за трьома ознаками:

- 1) за принципом взаємодії фізичного поля чи речовини з контрольованим об'єктом;
- 2) за вихідним інформативним параметром (відмінні властивості проникаючої речовини або фізичного поля, що реєструються після його взаємодії з предметом контролю);
- 3) за способом отримання первинних відомостей (тобто. сукупності властивостей проникаючої речовини або фізичного поля, що реєструються після закінчення його впливу на контрольований об'єкт).

Застосовуючи лише один метод або вид неруйнівного контролю, неможливо отримати повне уявлення про якість виробу та виявити всі дефекти, різні за типорозмірами, формою, розташуванням або орієнтацією.

У кожної групи методів НК своє завдання, наприклад:

- 1) магнітопорошковий і капілярний спрямовані на виявлення дефектів, що виходять на поверхню виробу;
- 2) методи радіаційного контролю дозволяють розглянути внутрішню структуру, але не забезпечують виявлення площинних дефектів, особливо розташованих вздовж напрямку випромінювання і т.д.

Візуальний і вимірювальний контроль (рис. 5.1) відноситься до найбільш дешевих, швидких і водночас інформативних методів неруйнівного

контролю [18]. Цей метод є базовими і передусє решті методів дефектоскопії. Зовнішнім оглядом перевіряють якість підготовки та збирання заготовок під зварювання, якість виконання швів у процесі зварювання, а також якість основного металу. Мета візуального контролю – виявлення вм'ятин, задирок, іржі, пропалів, напливів та інших видимих дефектів. Візуальний та вимірювальний контроль може проводитися із застосуванням найпростіших вимірювальних засобів, у тому числі неозброєним оком або за допомогою візуально-оптичних приладів до 20-кратного збільшення, таких як лупи, ендоскопи та дзеркала. Незважаючи на технічну простоту, ґрунтовний підхід до проведення візуального контролю передбачає розробку технологічної карти - документа, в якому викладаються найбільш раціональні способи та послідовність виконання робіт.



Рисунок 5.1 – Візуальний контроль

Ультразвуковий контроль (рис. 5.2) – один із головних методів неруйнівного контролю, був запропонований радянським ученим С.Я. Соколовим у далекому 1928 році. Ультразвукова дефектоскопія охоплює багато сфер, перевіряючи зварні з'єднання, трубопроводи, апарати високого тиску та іншу різноманітну продукцію. Існує безліч виробів, від яких залежить безпека тисяч людей: рейки для залізничного сполучення, елементи авіаційних двигунів, трубопроводи атомних реакторів та ін. При виробництві та експлуатації такої складної продукції обов'язковий ультразвуковий контроль [19].

Переваги ультразвукового методу порівняно з іншими методами НК:

- 1) Підвищена чутливість, яка дозволяє виявити небезпечні дефекти - тріщини, непровари та ін.
- 2) Економічність.
- 3) Безпека здоров'ю (порівняно з рентгенівським методом).
- 4) Можливість проводити процедуру без переривання робочого процесу.
- 5) Збереження цілісності об'єкта, що досліджується.
- 6) Можливість досліджувати матеріали різного походження.



Рисунок 5.2 – Ультразвуковий контроль

За всіх переваг ультразвуковий метод має і свої недоліки. По-перше, він не дає уявлення ні про реальний розмір дефекту, ні про його характер. По-друге, при контролі металів з крупнозернистою структурою виникають труднощі через розсіюння та згасання ультразвуку та високі вимоги до поверхні контролю.

Для проведення НК виникає безліч завдань, і їх вирішення дала поштовх до розвитку низки акустичних методів контролю. Якщо звернутися до ГОСТ 23829-85, такі методи діляться на активні і пасивні. Активні методи засновані на випромінюванні та прийомі акустичних хвиль та коливань, а пасивні – тільки на прийомі.

В основі радіографічного контролю (РК) лежить залежність інтенсивності проходить через досліджуваний об'єкт гамма-випромінювання

від матеріалу та товщини виробу (рис. 5.3). Про наявність дефектів сигналізує нерівномірність випромінювання, що поглинається. Робити висновки про будову об'єкта контролю можна, реєструючи розподіл випромінювання на виході [20].



Рисунок 5.3 – Радіографічного контролю

РК дає можливість виявити тріщини, пори, перевищення проплаву, спотворення кореня шва, непровари, сторонні включення у зварних з'єднаннях.

Радіографічний метод здатний виявити дефекти мінімальних розмірів, але багато залежить від їхньої форми та місцезнаходження. Найпростіше виявити дефект, довжина якого збігається з пучком випромінювання. У такому разі вдається отримати чітке зображення на знімку кордонів (порівняно з дефектами криволінійної форми).

Капілярний контроль (рис. 5.4) вважається найбільш чутливим методом контролю, що не руйнує. Капілярні методи засновані на тому, що спеціальні рідини проникають у поверхневі та наскрізні дефекти. У процесі індикаторні рідини залишають сліди – їх реєструють візуально або за допомогою перетворювача. Капілярні методи допомагають визначити, де розташований дефект, яка його довжина та орієнтація на поверхні. Для проведення капілярного контролю створено ГОСТ 18442-80.

Якщо дефект настільки малий, що його неможливо виявити, застосовується капілярна дефектоскопія. Такого методу вдаються під час

роботи з об'єктами всіх розмірів і форм. Що стосується матеріалів, використаних для виготовлення об'єктів, то до них відносяться метали та сплави (кольорові та чорні), а також неферомагнітні матеріали (скло, пластмаса та ін.). Про контроль виконаних із феромагнітних матеріалів об'єктів треба сказати окремо. Капілярна дефектоскопія допомагає впоратися із завданням, якщо з якоїсь причини використовувати магнітопорошковий метод не можна [21].

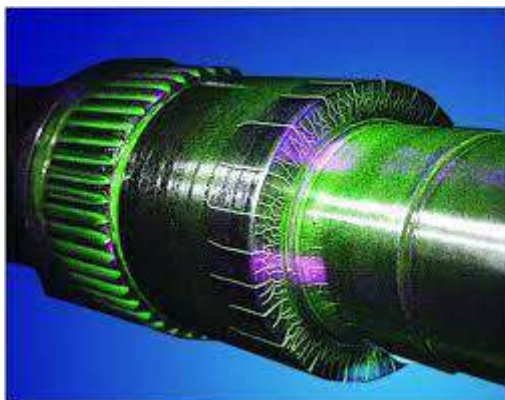


Рисунок 5.4 – Капілярний контроль

Список областей, де буває задіяний капілярний контроль, дуже широкий: це авіа-, ракето-, авто- та суднобудування, металургія, енергетика, хімічна промисловість. Капілярна дефектоскопія застосовується для моніторингу важливих об'єктів перед введенням в експлуатацію і в процесі роботи.

Це сукупність способів НК, необхідні виявлення дефектів у феромагнітних металах і сплавах. Магнітна дефектоскопія дозволяє виявити включення неметалічного походження, тріщини, волосин, флокени. Знайти дефекти можна за умови їх знаходження на поверхні виробу або залягання на невеликій глибині (2-3 мм).

Суть магнітних методів (рис. 5.5) полягає у дослідженні магнітних полів розсіювання біля феромагнітних матеріалів, що пройшли намагнічування. На

місце дефекту вказують перерозподілені магнітні потоки та сформовані магнітні поля розсіювання [22].



Рисунок 5.5 – Магнітний контроль

Тепловий метод неруйнівного контролю використовують у всіх промислових областях, у яких про стан об'єктів можна судити з неоднорідності теплового поля (рис. 5.6). Сьогодні тепловий метод дуже затребуваний у будівництві, виробництві та теплоенергетиці. Після того, як було ухвалено новий закон про регламентування енергоаудиту об'єктів, спрямований на економію ресурсів, інтерес до теплового контролю посилюється. В даний час цей метод є базовим методом для оцінки стану об'єктів [23].

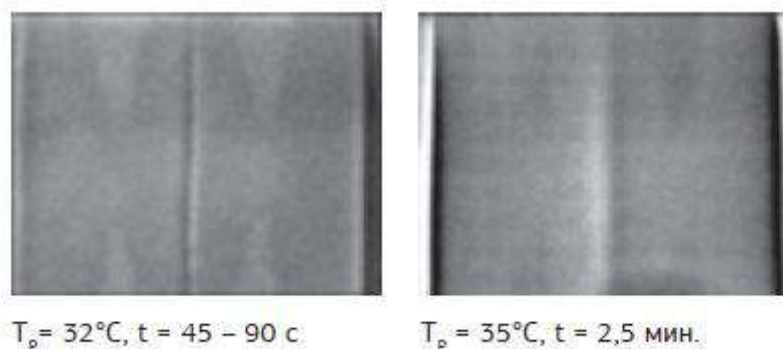


Рисунок 5.6 – Тепловізійне зображення зразку з розшаруванням з передній сторони

У теплового контролю маса плюсів – універсальність застосування, оперативність, велика продуктивність. Крім того, тепловий контроль можна

здійснювати дистанційно. Є кілька видів методу - контроль густини теплових потоків, контроль температури, контроль теплопровідності та тепловізійний контроль.

Основою для вихрострумового методу (рис. 5.7) НК служить взаємодія електромагнітних полів - зовнішнього та поля вихрових струмів, створюваних в об'єкті контролю. Вихрові потоки помітив фізик із Франції Араго у 1824 році. Вчений зазначив, що мідний диск, що знаходиться під магнітною стрілкою, обертається за рахунок вихрових струмів [24].



Рисунок 5.7 – Вихрострумовий метод

Зазвичай джерелами електромагнітного поля стає вихрострумовий перетворювач (ВТП) – індуктивна котушка. У котушках діє струм, який створює електромагнітне поле, що збуджує вихрові струми. Їхнє поле діє на ВТП, створюючи в них перетворюючи їх опір. Напруга або опір, що з'явилося на котушках, – ключ до інформації про властивості об'єкта.

За допомогою вихрострумового методу можна не тільки виявити дефекти та оцінити властивості об'єктів контролю. Вихрострумовий контроль широко застосовується і при виробництві деталей, і при їх ремонті. Високоточне сучасне обладнання - це можливість обробки та зберігання великого обсягу даних про результати контролю. Системи сканування автоматизовані, що підвищує точність візуалізації об'єкта контролю у багато разів.

Список областей де використовують вихрострумний контроль широкий. Вихрострумовим методом досліджують зварні та різьбові з'єднання, деталі різноманітних форм та розмірів для обладнання. Крім того, це метод контролю корпусного обладнання, згинання трубопроводів, лопаток парових турбін. За допомогою вихрострумового методу також перевіряють поверхню осевого каналу роторів турбін. Вихрострумний контроль потрібен, щоб вимірювати товщину захисних покриттів, тонких труб та тонкого листового прокату. Крім цього, за допомогою вихрострумового методу шукають корозійні ушкодження. Вихрострумний метод дозволяє оцінити стан металу тепломеханічного обладнання (як вихідний, так і поточний). Метод застосовний і для оцінки якості термообробки; з його допомогою проводять сортування об'єктів та визначають склад контрольованої речовини.

З вихрових струмів вимірюють глибину поверхневих тріщин, виявлених на електропровідних матеріалах.

Усі методи та прилади неруйнівного контролю служать однієї мети - виявити навіть незначні ушкодження, зокрема грибок, корозію, розшарування. Затребуваність НК пояснюється просто: його методи поєднують у собі безліч переваг та відповідають суворим вимогам промислової безпеки.

5.2 Аналіз магнітопорошкового контролю

Магнітні методи контролю засновані на реєстрації магнітних полів розсіяння, що виникають над дефектами, але тільки у матеріалів, здатних намагнічуватись [25]. Носії магнетизму в металі – елементарні електричні точки атомах, що створюються обертанням електронів навколо ядра (рис. 5.8, а) прецесійним рухом електронних орбіт (рис. 5.8, б) та обертанням електронів навколо осі – спином електрона (рис. 5.8, в). Останній робить основний внесок у освіту магнетизму. Елементарні точки в кожному атомі формують атомні

магнітні моменти, які взаємодіють між собою, утворюючи магнітне поле деталі в цілому, проте більшість речовин не виявляють магнітних властивостей, оскільки магнітні моменти їх атомів спрямовані довільно та взаємно компенсують одне одного, тобто. розмагнічують.

Існують матеріали з високою здатністю до намагнічування – ферромагнетики. Їх у природі налічується небагато. Головний серед них – залізо. На його основі з добавками нікелю, кобальту, вольфраму та алюмінію створено всі ферромагнітні сплави. У них особлива структура, навіть якщо ні зовнішнього магнітного поля, моменти мільйонів сусідніх атомів мимоволі вишиковуються паралельно один одному, утворюючи мікроскопічні області – так звані домени – ідеальні магніти в мініатюрі. Це крихітні у звичному уявленні, але величезні, порівняно із розмірами атомів, області. Число атомів у них становить порядку 10^{15} , а розміри в діаметрі – близько 10 мкм.

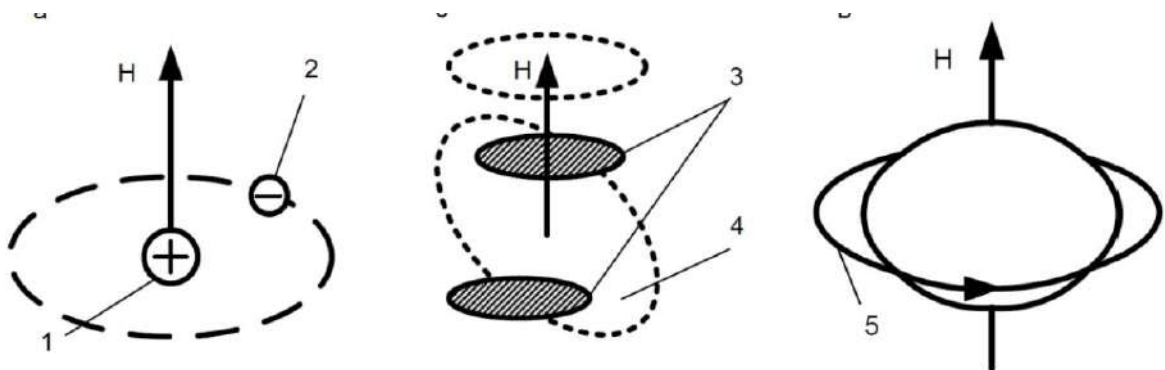


Рисунок 5.8 – Схеми руху електронів та прецесійні рухи електронних орбіт: 1 – ядро; 2 – рух електрона навколо ядра; 3 – траєкторії прецесійного руху електронної орбіти; 4 – площина електронної орбіти; 5 – напрямок обертання електрона; H – індукція магнітного поля [25]

Усі магнітні моменти атомів усередині домену спрямовані однаково, тобто. ця область намагнічена до насичення і є відносно сильним постійний магніт. Вона характеризується магнітним моментом домену. Якщо немає зовнішнього магнітного поля, то магнітні моменти доменів спрямовані безладно та взаємно компенсують один одного. Тому ферромагнетик немає

результативного магнітного моменту, тобто. його намагніченість дорівнює нулю. При включенні зовнішнього магнітного поля число та розмір областей, намагніченості яких паралельні полю, зростають за рахунок областей, намагнічених у протилежному напрямку, і тіло в цілому намагнічується. Якщо після цього зовнішнє поле вимкнути, то одного разу виникла впорядкованість напрямів намагнічування окремих областей частково зберігається (залишкова намагніченість) доти, поки її не знищують нові фактори: підвищення температури, магнітне поле зворотного напрямку, що перевищує певний мінімум (коерцитивна сила) та інші впливи. Якщо взяти якийсь виріб – ферромагнетик із однорідними магнітними властивостями та магнітною проникністю μ_1 і помістити його в поздовжнє магнітне поле H_0 (рис. 5.9), то ферромагнетик намагнітиться і набуде магнітної індукції B , лінії якої практично не виходять із деталі. Це пояснюється тим, що магнітна проникність μ_2 довкілля значно менше магнітної проникності μ_1 ферромагнетика.

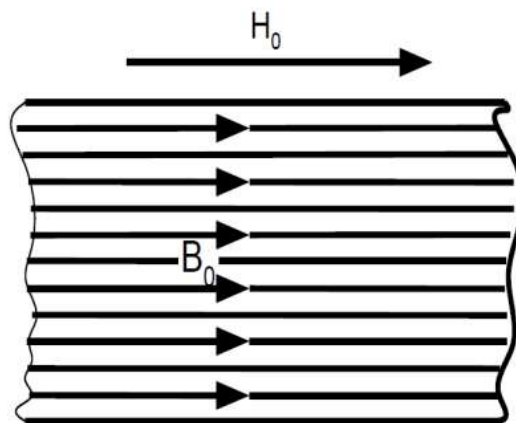


Рисунок 5.9 – Ферромагнетик у зовнішньому магнітному полі [25]

Якщо ж деталь має дефект у вигляді поверхневої тріщини, що проходить перпендикулярно до напрямку поля B , то відбувається перерозподіл магнітного потоку в зоні розташування тріщини: одна частина магнітного потоку проходить через тріщину, інша – через повітряні шляхи над дефектом і третина проходить під тріщиною по металу деталі (рис. 5.10) [25].

З цієї причини в зоні тріщин з'являються позитивні та негативні «магнітні заряди» розташовані як на поверхні, так та всередині деталі. Це явище називається магнітною поляризацією металу в зони дефекту. Кожен «магнітний заряд» створює магнітне поле, направлене з нього як із центру. Сумарне поле «магнітних зарядів» утворює поле дефекту H_g , спрямоване у той самий бік, як і зовнішнє намагнічуюче поле H_0 , тим самим забезпечуючи місцеве його концентрацію. Але називають полем дефекту, або полем розсіювання над дефектом.

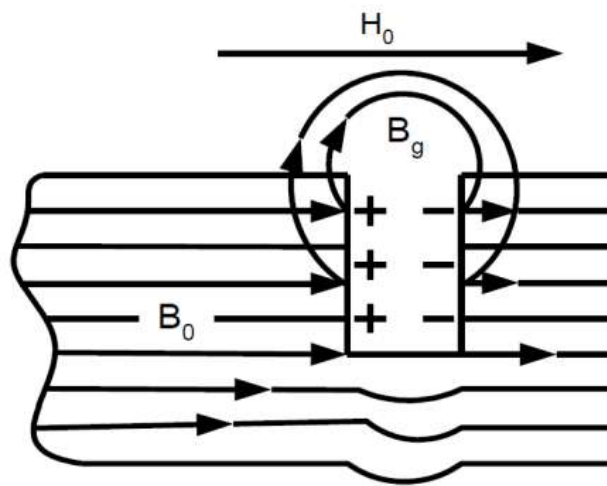


Рисунок 5.10 – Перерозподіл магнітного потоку в зоні розташування тріщини

Формуванню цього поля сприяє також те, що тріщини в місці виходу на поверхню мають загострені краї, відстані між якими можуть становити десятки та сотні мікрон, які відіграють роль концентраторів поля зарядів магнітної поляризації. Формування магнітного поля над дефектом свідчить про те, що деталь дефектна. Необхідна умова застосування магнітного методу контролю – це намагнічування деталей. Напрямок намагнічування має бути перпендикулярно до орієнтації дефекту. Це забезпечує максимальне магнітне поле розсіювання дефекту Використовують для цього поздовжній (полюсний), циркулярний та комбінований способи намагнічування. Поздовжнє намагнічування здійснюється за допомогою електромагніту або соленоїда (рис. 5.11).

На ярмі 2 знаходиться котушка 3, що намагнічує, з'єднана з джерелом постійного струму чи змінного струму. При такому намагнічуванні замкнуті силові лінії перетинають поверхню контрольованої деталі в зоні входу та виходу з неї, де утворюються магнітні полюси: північний N та південний S.

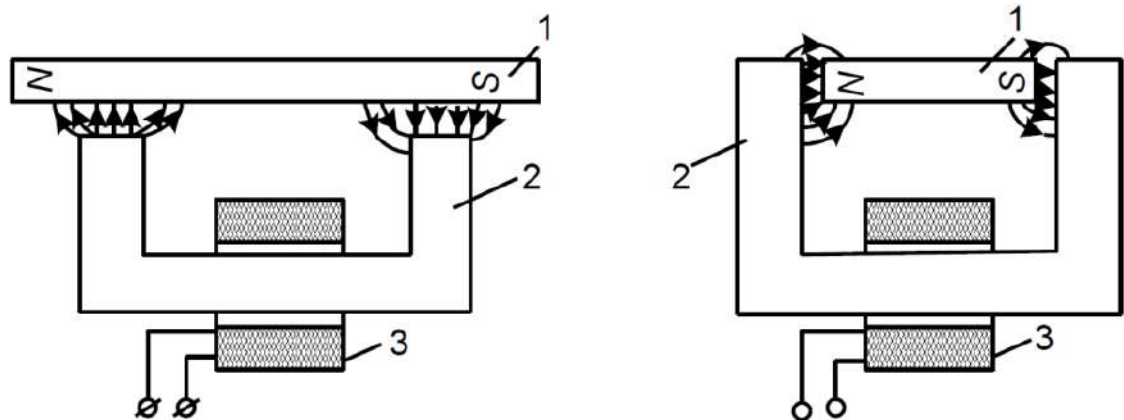


Рисунок 5.11 – Полюсне намагнічування деталей електромагнітом: 1 – деталь; 2 – ярмо; 3 - котушка, що намагнічує [25]

Тому намагнічування електромагніт називається полюсним. Полюси на поверхні деталі, що перевіряються – це області з яскраво вираженою неоднорідністю поля, не пов'язаного з дефектами. Освіта на поверхні полюсів є небажаною з точки зору у цій зоні дефектів. На ділянці деталі знаходяться між полюсами ярма електромагніта, деталь 1 намагнічується рівномірно всій довжині ділянки у поздовжньому напрямку. У цьому полі найбільша поляризація стінок виникає у поперечних дефектів, розташованих перпендикулярно до ліній поздовжнього магнітного поля.

Магнітопорошковий метод застосовується для контролю виробів з феромагнітних матеріалів, що мають відносну магнітну проникність не менше 40. Чутливість контролю даним методом залежить від різних факторів, у тому числі від магнітних характеристик досліджуваного матеріалу, форми, розмірів та шорсткості об'єкта контролю (макс. $Ra10/Rz63$), напруженості прикладеного поля, розташування та орієнтації дефектів та властивостей магнітного порошку. Відповідно до ГОСТ 21105 встановлюються 3 умовні

рівні чутливості (А, Б, В). Вони характеризуються мінімальною шириною розкриття і мінімальною протяжністю дефекту, що виявляється.

Магнітопорошковий метод включає наступні операції:

- 1) підготовка до контролю;
- 2) намагнічування;
- 3) нанесення дефектоскопічного матеріалу;
- 4) огляд поверхні та реєстрація індикаторних малюнків;
- 5) розмагнічування

Перед проведенням контролю виріб має бути зачищений від олії, окалини та інших забруднень. Підготовку поверхні для зменшення сил тертя здійснюють піскоструминною та механічною обробкою. Застосовується також ґрунтування поверхні фарбами та лаками, що забезпечують необхідний контраст із порошком.

Для намагнічування та розмагнічування об'єктів контролю застосовуються стаціонарні або пересувні магнітні дефектоскопи. Дефектоскопи забезпечуються вимірювачами струму, що намагнічує, а також пристроями для огляду поверхні та реєстрації індикаторних картинок (вимірювальні лупи, мікроскопи, ендоскопи або автоматизовані системи отримання зображень). Використовуються різні види намагнічування: циркулярне, поздовжнє, комбіноване.

Магнітопорошковий метод контролю може здійснюватися двома різними способами [25]. При застосуванні способу залишкової намагніченості дефектоскопічний порошок наносять після зняття поля, що намагнічує. При застосуванні способу прикладеного поля операція намагнічування та нанесення порошку здійснюються одночасно. Вибір способу контролю залежить від магнітних властивостей матеріалу виробу та необхідної чутливості.

Матеріали, що застосовуються для контролю, можуть мати різні відтінки (від світло-сірих і жовтуватих до червоно-коричневих і чорних) в залежності

від кольору контрольованої поверхні. Магнітні порошки, на поверхню яких завдано шар люмінофора, дозволяють підвищити чутливість методу.

Нанесення магнітного матеріалу здійснюють наступними способами:

- 1) з використанням магнітного порошку (сухий спосіб);
- 2) з використанням магнітної суспензії (вологий спосіб);
- 3) магнітогумованої пасти

Сухий порошок рівномірно розподіляють на поверхні за допомогою розпилювачів або зануренням виробу в ємність із порошком. Суспензію наносять шляхом поливу або занурення у ванну з суспензією. Зручні у користуванні аерозольні балончики, що містять суспензії магнітних матеріалів на водній або олійній основі.

Якість застосовуваних магнітних матеріалів оцінюється за методиками, наведеними в нормативній документації з їхньої поставку. Перед проведенням контролю якість готових порошків та суспензій визначається на контрольних (стандартних) зразках, які мають дефекти відомого розміру та атестовані в установленому порядку. За допомогою контрольних зразків також відпрацьовується технологія контролю для досягнення заданої чутливості.

При проведенні контролю частки матеріалу намагнічують і під дією результуючих сил утворюють скупчення у вигляді смужок (валиків). Після формування індикаторної картини з порошку, що осів, здійснюється огляд контрольованого виробу. Під час візуального огляду можуть бути використані оптичні пристрої, що дозволяють збільшити зображення. Рекомендується застосовувати комбіноване освітлення (місцеве та загальне).

При застосуванні порошків люмінесцентних огляд поверхні проводять при ультрафіолетовому опроміненні. Використовуються ультрафіолетові ліхтарі, лампи та індукційні джерела ультрафіолетового випромінювання.

Переваги магнітопорошкового методу неруйнівного контролю полягають у його відносно невеликій трудомісткості, високій продуктивності та можливості виявлення поверхневих та підповерхневих дефектів. З допомогою цього виявляються як порожнисті несплошності, а й дефекти,

заповнені стороннім речовиною. Магнітопорошковий метод може бути застосований не тільки при виготовленні деталей, а й у ході їх експлуатації, наприклад, для виявлення тріщин втоми.

До недоліків методу можна віднести складність визначення глибини поширення тріщин у металі.

Іншими методами магнітної дефектоскопії є феррозондовий та магнітографічний методи.

Феррозондовий метод заснований на реєстрації магнітних полів феррозондовими перетворювачами, в яких взаємодіють вимірюване поле та власне поле збудження.

У магнітографічному методі застосовується запис магнітних полів на магнітний носій запису (магнітну стрічку) із подальшим формуванням сигналогами.

.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХОДІВ

При вдосконаленні технологічного процесу виготовлення деталі «Вал вільної роботи» було замінено обробку на універсальних токарних верстатах обробкою на верстатах з ЧПК (таблиця 6.1). Розрахунок проводимо згідно [26].

Таблиця 6.1 – Вихідні дані

Розрахункові параметри	Базова технологія						Нова технологія				
Модель верстата	16К30	16К30	16К30	16К30	16К30	16К30	16К30Ф3	16К30Ф3	16К30Ф3	16К30Ф3	16К30Ф3
Штучний час $t_{шт}$, хв	120	280	82	75	42	65	66,66	203,72	50,82	42,02	93,72
Розряд верстатника	6	6	6	6	6	6	4	4	4	4	4
Розряд наладчика	-	-	-	-	-	-	5	5	5	5	5
Число верстатів, що обслуговуються за зміну: верстатником наладчиком	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4
Тарифна ставка основного робітника, грн/год	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	76,6	57,5	57,5	57,5	57,5	57,5
Тарифна ставка наладчика, грн/год	-	-	-	-	-	-	57,7	57,7	57,7	57,7	57,5
Число змін m	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Оптова ціна верстата F , грн	326524						638133				
Число верстатів, C_p	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Норма амортизаційних відрахувань H_a , %	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	12,2	12,2	12,2	12,2	12,2
Встановлена потужність електродвигунів N , кВт	17	17	17	17	17	17	30	30	30	30	30

Визначимо заробітну плату основних виробничих робітників по формулі [26]:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^{m_{оп}} t_{шт-кі} \cdot C_{тар} \cdot K_б \cdot k_{доп} \cdot k_{соц}}{60} \quad (6.1)$$

де $m_{оп}$ – кількість операцій у технологічному процесі;

$t_{умі}$ – норма штучного часу виконання і-ой операції, год;

$C_{тар}$ – годинна тарифна ставка виробничого робітника на операції, грн/год;

$K_б$ – коефіцієнт, що враховує оплату основного робітника при багатOVERCLOCKING обслуговуванні, $K_б=0,39$;

$k_{доп}$ – коефіцієнт, що враховує додаткову заробітну плату, $k_{доп} = 1,2$;

$k_{соц}$ – коефіцієнт, що враховує страхові внески, $k_{соц} = 1,4$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.2, 6.3.

Таблиця 6.2 – Заробітна плата верстатника за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
010	Токарна	120	76,6	1,2	1,4	257,38
015	Токарна	280	76,6	1,2	1,4	600,54
020	Токарна	82	76,6	1,2	1,4	175,87
025	Токарна	75	76,6	1,2	1,4	160,86
030	Токарна	42	76,6	1,2	1,4	90,08
035	Токарна	65	76,6	1,2	1,4	139,41
					Σ	1424,15

Таблиця 6.3 – Заробітна плата верстатника за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	$C_{тар}$, грн	$k_{доп}$	$k_{соц}$	Z_o , грн
015	Токарна	66,66	57,5	1,2	1,4	107,32
020	Токарна	203,72	57,5	1,2	1,4	327,99
025	Токарна	50,82	57,5	1,2	1,4	81,82
030	Токарна	42,08	57,5	1,2	1,4	67,75
035	Токарна	93,72	57,5	1,2	1,4	150,89
					Σ	735,77

Визначимо заробітну плату наладчиків верстатів ЧПК за формулою [26]:

$$З_o = \frac{\Phi_p \cdot C_{\text{тар}} \cdot Ч_n \cdot k_{\text{доп}} \cdot k_{\text{соц}}}{N} \quad (6.2)$$

де $C_{\text{тар.н}}$ – годинна тарифна ставка, грн;

$Ч_n$ – чисельність робітників відповідної категорії, чол;

Φ_p – річний фонд часу одного, $\Phi_p = 2028$ год;

m_{on} – кількість операцій у технологічному процесі.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Заробітна плата наладчиків верстатів ЧПК

№ опер	Найменування операції	Φ_p , год	$C_{\text{тар}}$, грн	$Ч_n$	$k_{\text{доп}}$	$k_{\text{соц}}$	$З_o$, грн
015	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	39,4
020	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	39,4
025	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	39,4
030	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	39,4
035	Токарна	2028	57,7	0,25	1,2	1,4	39,4
						Σ	197

Визначимо амортизаційні відрахування на обладнання за формулою [26]:

$$A_{\text{від}} = \sum_{i=1}^{m_{on}} \frac{K_i \cdot H_{ai} \cdot t_{\text{шт-кі}}}{100 \cdot F_d \cdot 60} \quad (6.3)$$

де K_i – первісна вартість обладнання на i -ої операції, грн;

H_{ai} – річна норма амортизаційних відрахувань на обладнання на i -ої операції, %.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.5, 6.6.

Визначимо витрати на інструмент за формулою [26]:

$$S_{in} = \sum_{i=1}^{m_{оп}} \sum_{j=1}^{n_{in}} \frac{C_{inij} \cdot t_{штij} \cdot \eta_m}{T_{ij} \cdot (n_j + 1)} \quad (6.4)$$

де C_{inij} – ціна інструменту j-го виду на i-ої операції, грн/шт;

$t_{штij}$ – штучний час роботи j-го інструменту на i-ої операції, хв;

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

T_{ij} – період стійкості інструменту j-го виду на i-ої операції, хв;

n_{in} – номенклатура інструментів на i-ої операції;

n_j – число переточок інструменту j-го виду до повного зношування або кількість ріжучих граней інструменту.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.7, 6.8.

Таблиця 6.5 – Відрахування на амортизацію обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
010	Токарна	120	326524	12,2	4015	19,84
015	Токарна	280	326524	12,2	4015	46,30
020	Токарна	82	326524	12,2	4015	13,56
025	Токарна	75	326524	12,2	4015	12,40
030	Токарна	42	326524	12,2	4015	6,95
035	Токарна	65	326524	12,2	4015	10,75
					Σ	109,8

Таблиця 6.6 – Відрахування на амортизацію обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт}$, хв	К, грн	На, %	F_d	$A_{від}$, грн
015	Токарна	66,66	638133	14,2	4015	25,07
020	Токарна	203,72	638133	14,2	4015	76,63
025	Токарна	50,82	638133	14,2	4015	19,12
030	Токарна	42,08	638133	14,2	4015	15,83
035	Токарна	93,72	638133	14,2	4015	35,25
					Σ	171,9

Таблиця 6.7 – Витрати на інструмент за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ці грн	п _{ін}	T, хв	п _j	η _{мl}	S _{ін} Грн
010	Токарна	120	Різець прохід.	120	250	2	80	12	0,4
015	Токарна	280	Різець. прохід.	140	250	2	80	12	0,4
			Різець. розт.	80	250	2	80	12	0,4
020	Токарна	82	Різець. прох.	60	250	2	80	12	0,4
			Різець. канав.	42	250	2	80	12	0,4
025	Токарна	75	Різець. розт.	40	250	2	80	12	0,4
			Різець. канав.	35	250	2	80	12	0,4
030	Токарна	42	Різець. прох.	40	250	2	80	12	0,4
			Різець. розточ	42	250	2	80	12	0,4
035	Токарна	65	Різець. прох.	35	250	2	80	12	0,4
			Різець. різб.	30	250	2	80	12	0,4
								Σ	63,85

Таблиця 6.8 – Витрати на інструмент за новою технологією

№ опер	Найменування операції	t _{шт} , хв	Найменування інструменту	Ці грн	п _{ін}	T, хв	п _j	η _{мl}	S _{ін} грн
015	Токарна	66,66	Різець прохід.	250	1	220	4	0,4	6,06
020	Токарна	203,72	Різець прохід.	250	1	220	4	0,4	13,64
			Різець розт.	250	1	220	4	0,4	4,88
025	Токарна	50,82	Різець прохід.	250	1	220	4	0,4	2,80
			Різець розт.	250	1	220	4	0,4	1,82
030	Токарна	42,08	Різець прохід.	250	1	220	4	0,4	2,00
			Різець розт.	250	1	220	4	0,4	1,83
035	Токарна	93,72	Різець прохід	250	1	220	4	0,4	4,82
			Різець розт.	250	1	220	4	0,4	3,70
								Σ	41,55

Визначимо витрати на електроенергію за формулою [26]:

$$S_e = \frac{N_B \cdot k_N \cdot k_q \cdot k_{OD} \cdot k_W \cdot t_{шт-к}}{\eta \cdot k_B \cdot 60} \cdot C_e \quad (6.5)$$

де N_g – встановлена потужність головного електродвигуна, кВт;

k_N – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю (для верстатів з ЧПК – 0,9, для решти обладнання – 0,8);

k_q – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом (для верстатів з ЧПК – 0,7, для решти обладнання – 0,6);

k_{od} – середній коефіцієнт одночасності роботи всіх електродвигунів верстата (для верстатів з ЧПК – 1, для решти обладнання – 0,6);

k_w – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії, $k_w = 1,08$;

η – коефіцієнт корисної дії обладнання;

k_s – коефіцієнт виконання норм часу;

C_e – вартість електроенергії, $C_e = 3,45$ грн/кВт×год.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.9, 6.10.

Таблиця 6.9 – Витрати на електроенергію за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	k_q	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e
010	Токарна	120	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	36,85
015	Токарна	280	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	85,99
020	Токарна	82	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	25,18
025	Токарна	75	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	23,03
030	Токарна	42	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	12,90
035	Токарна	65	3,45	17	0,8	0,6	0,6	1,08	0,9	1,1	19,96
										Σ	203,92

Таблиця 6.10 – Витрати на електроенергію за новою технологією

№ опер	Найменування операції	$t_{шт},$ хв	C_e грн	N_e кВт	k_N	k_q	$k_{од}$	k_w	η_e	k_b	S_e
015	Токарна	66,66	3,45	30	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	88,91
020	Токарна	203,72	3,45	30	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	271,71
025	Токарна	50,82	3,45	30	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	67,78
030	Токарна	42,08	3,45	30	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	56,12
035	Токарна	93,72	3,45	30	0,9	0,7	1	1,08	0,8	1,1	125,00
										Σ	609,52

Визначимо витрати на обслуговування та ремонт обладнання за формулою [26]:

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

де $Ц_{то}$ – залишкова вартість обладнання, грн

K_p – коефіцієнт відрахувань до ремонтного фонду, $K_p = 0,02$.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.11, 6.12.

Таблиця 6.11 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за базовою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
010	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
015	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
020	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
025	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
030	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
035	Токарна	326524	0,02	0,64	4,18
				Σ	25,08

Таблиця 6.12 – Витрати на ремонт та обслуговування обладнання за новою технологією

№ опер	Найменування операції	Ц _{то} , грн	K _p	C _p	S _p , грн
015	Токарна	638133	0,02	0,78	9,95
020	Токарна	638133	0,02	0,78	9,95
025	Токарна	638133	0,02	0,78	9,95
030	Токарна	638133	0,02	0,78	9,95
035	Токарна	638133	0,02	0,78	9,95
				Σ	49,77

Визначимо витрати на налаштування інструментів поза верстатом згідно формули [26]:

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

де φ – коефіцієнт, що враховує випадковий спад інструменту, $\varphi = 1,3$;

$C_{\text{гн}}$ – середньогодинна заробітна плата наладчиків, грн./год;

$t_{\text{ін}}$ – середній час налаштування одного інструменту поза верстатом ($t_{\text{ін}} = 4$ хв – для токарних верстатів з ЧПК; $t_{\text{ін}} = 5$ хв – для верстатів з ЧПК свердлильної, фрезерної та розточувальної груп).

t_o – основний час роботи інструменту на операції, хв;

K_m – коефіцієнт, що враховує питому вагу основного технологічного часу у штучному часі;

T_M – середня стійкість інструменту, хв.;

m – число граней ріжучої пластини, що не переточується, з механічним кріпленням, шт.

Результати розрахунків наведено в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Витрати на налаштування інструментів поза верстатом

№ опер	Найменування операції	Тип інструменту	t_o , хв	$C_{\text{гн}}$, грн/год	n_i	$t_{\text{ін}}$, хв	K_T	T_M	m	S_H грн
015	Токарна	Різець прохід.	55	50,9	6	4	0,9	220	4	0,25
020	Токарна	Різець прохід.	145	50,9	6	4	0,9	220	4	0,65
		Різець розт.	47	50,9	6	4	0,9	220	4	0,21
025	Токарна	Різець прохід.	27	50,9	6	4	0,9	220	4	0,12
		Різець розт.	18	50,9	6	4	0,9	220	4	0,08
030	Токарна	Різець прохід.	20	50,9	6	5	0,9	220	4	0,11
		Різець розт.	18	50,9	6	5	0,9	220	4	0,10
035	Токарна	Різець прохід	48	50,9	6	5	0,9	220	4	0,27
		Різець розт.	37	50,9	6	5	0,9	220	4	0,21
									Σ	2,01

Визначимо інші загальновиробничі витрати за формулою [26]:

$$I_{\text{н}} = Z_{\text{о}} \cdot k_{\text{заг}} \quad (6.8)$$

де $k_{\text{заг}}$ – коефіцієнт, що враховує інші загальновиробничі витрати, віднесені до заробітної плати основних виробничих робітників, $k_{\text{заг}} = 0,20 \dots 0,25$.

$$I_{\text{н1}} = 1424,15 \cdot 0,2 = 284,83 \text{ грн}$$

$$I_{\text{н2}} = 735,77 \cdot 0,2 = 147,15 \text{ грн}$$

Розрахуємо технологічну собівартість за формулою [26]:

$$C_{\text{т}} = Z_{\text{о}} + Z_{\text{н}} + A_{\text{від}} + S_{\text{ін}} + S_{\text{е}} + S_{\text{р}} + S_{\text{н}} + I_{\text{н}} \quad (6.9)$$

Узагальнені результати розрахунку технологічної собівартості обробки за двома варіантами наведено у таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Розрахунок елементів технологічної собівартості, грн.

Елементи собівартості		Варіанти ТП	
		Базовий	Новий
Заробітна плата верстатника	$Z_{\text{о}}$	1424,15	735,77
Заробітна плата наладчика	$Z_{\text{н}}$		197
Відрахування на амортизацію обладнання	$A_{\text{від}}$	109,8	171,9
Витрати на різальний інструмент	$S_{\text{ін}}$	63,85	41,55
Витрати на електроенергію	$S_{\text{е}}$	203,92	609,52
Витрати на ремонт та обслуговування обладнання	$S_{\text{р}}$	25,08	49,77
Витрати на налаштування інструментів поза верстатом	$S_{\text{н}}$		2,01
Витрати інші	$I_{\text{н}}$	284,83	147,15
Технологічна собівартість	$C_{\text{т}}$	2111,63	1954,67

Розрахуємо умовний економічний ефект за формулою [26]:

$$E_{\text{ур}} = (C_{\text{т1}} - C_{\text{т2}}) \cdot N \quad (6.10)$$

$$E_{\text{ур}} = (2111,63 - 1954,67) \cdot 1000 = 156960 \text{ грн}$$

Згідно проведених розрахунків оцінки очікуваної економічної ефективності впровадження вдосконаленої технологічної обробки деталі «Вал вільної турбіни» з заміною обробки на універсальних верстатах обробленням на верстатах з ЧПК дає змогу зекономити 156960 грн.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Основні причини виникнення аварійних та небезпечних ситуацій в машинобудівній галузі обумовлені складністю та різноманітністю технологічних операцій та всього виробничого процесу. Як свідчить статистичний аналіз, в 2020 році кількість нещасних випадків, що пов'язані з виробництвом, (порівняно з 2019) збільшилась на 58%. У 2019 році на виробництві постраждало 3876 людей, із яких 422 чоловіка загинуло, у 2020 році - травмовано 6121 осіб, із яких загинуло 653.

Більшість нещасних випадків пов'язана з організаційними порушеннями, це приблизно 51% від усієї кількості нещасних випадків. Психофізіологічні фактори також дуже часто призводять до травмування людей та погіршення їх здоров'я.

У загальному вигляді аналіз потенційних нещасних випадків представлено на рис.4.1. Порушення інструкцій, що передбачені для виконання різноманітних технологічних операцій, а також посадових інструкцій призводить до різного травмування і погіршення здоров'я на тривалий час.

Наслідком ураження електричним струмом є виникнення електротравм. Також дія електричного струму, що проходить через тіло людини, супроводжується термічним і біологічним впливом. Термічний вплив - це опіки різного ступеню важкості (від другого до, навіть, четвертого у вигляді обуглювання в місцях входу та виходу струпу), а біологічний – скорочення м'язів і травмування тканин людини.

Недостатня кваліфікація фахівців призводить до невміння спрогнозувати наслідки порушення вимог технологічного процесу, незначні, на перший погляд, порушення можуть викликати переломи кінцівок, ушиби, забиття та інші види травмування. Для лікування зазначених механічних травм

необхідно багато часу, що призводить до тривалої відсутності фахівців на роботі, порушення технологічного ритму, економічним збиткам.



Рисунок 7.1 – Загальний вигляд аналізу потенційних нещасних випадків

7.2. Заходи по забезпеченню безпеки

Для запобігання ризиків виникнення травматизму та нещасних випадків, насамперед враховується, що всі співробітники кваліфікаційно відповідають своїй посаді та, крім того, пройшли навчання з охорони праці та пам'ятають вимоги інструктажів. Для контролю загального здоров'я обов'язковим є

проходження медичного огляду, особливо для осіб, що працюють в шкідливих умовах праці.

Для запобігання технічним причинам травмування необхідно приділяти особливу увагу якості та безпечності всього обладнання, що використовується для виготовлення деталей. Воно повинно відповідати українським та міжнародним стандартам, «Технічному регламенту безпеки», ДСТУ EN 1050:2003 «Безпечність машин. Принципи оцінювання ризику», НПАОП 0.00-1.71-13 «Правила охорони праці під час роботи з інструментом та пристроями» [27, 28].

Крім того, обладнання повинно відповідати ергономічним вимогам ДСТУ EN 894-3:2017 «Безпечність машин. Ергономічні вимоги до проектування індикаторів і органів керування. Частина 3. Органи керування». Створення комфортних та ергономічних умов позитивно впливає на загальний настрій робітників, їх нервово-емоційний стан, насагу для виконання складних технічних завдань.

Для високої продуктивності праці необхідно дотримання вимог санітарії. Висока запиленість, що потенційно можлива, якщо в цеху непередбачено застосування загальної штучної вентиляції, може збільшувати відсоток загальних простудних захворювань. Частки мілкої пилу швидко проникають в дихальні шляхи та легені, погіршують обмін речовин в організмі, викликають не тільки дискомфорт але і погіршують здоров'я, особливо якщо температури в приміщенні суттєво нижчі за нормативні (ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень). Продуктивність загальної штучної вентиляції повинна забезпечувати двократний повітрообмін. На окремих робочих місцях, наприклад, при шліфуванні - передбачена і місцева вентиляція, тому, що видалення шкідливих речовин безпосередньо у місці їх максимальної концентрації забезпечує найбільший ефект роботи вентиляційної системи (видаляється незначний об'єм повітря із значною концентрацією хімічних речовин). Недоліком застосування штучної вентиляції, який негативно впливає на емоційний стан

людини та його працездатність, є шум, що супроводжує роботу будь якого обладнання і, особливо, витяжних систем. Відповідно санітарно-гігієнічних вимог рівень шуму не повинен перевищувати 80 Дб.

Таким чином, для збереження здоров'я працюючих необхідно приділяти постійну увагу дотриманню правил безпеки, що зазначені в інструкціях, технологіях виготовлення деталей та в нормативно-правових документах України.

ВИСНОВКИ

Було розроблено технологічний процес виготовлення тонкостінної великогабаритної деталі – валу вільної турбіни. Було економічно обґрунтовано отримання заготовки штампуванням на пресі, розраховано масу заготовки 44,9 кг, коефіцієнт використання матеріалу 0,25. Економічний ефект від впровадження отримання заготовки штампуванням становив 63100 грн.

Був розроблений маршрут виготовлення деталі, який містить обробку на токарних верстатах з ЧПК замість обробки на універсальних. За рахунок цих заходів зменшився загальний час оброблення деталі та собівартість її виготовлення, економія склала 156960 грн.

Для токарної, свердлильної та фрезерної операцій з ЧПК були розроблені керуючі програми в програмному забезпеченні NX.

Автоматизовано токарну обробку за допомогою роботизованих рук та систем автоматичного завантаження/вивантаження тонкостінних великогабаритних деталей, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

Було спроектовано робоче пристосування для свердлильної операції. Для нього було розраховано похибку встановлення, був проведений розрахунок на точність, розраховано зусилля затиску і обраний гідроциліндр. Також було спроектовано контрольне пристосування для контролю биття зовнішнього діаметра.

Розглянуті методи неруйнівного контролю тонкостінних великогабаритних деталей та обрано магнітопорошковий контроль як найкращий для неруйнівного контролю валу вільної турбіни.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Справочник металлиста. В 5-и т. Т. 2. / [под. ред. А.Г. Рахштадта, В.А. Брострема]. – М. : Машиностроение, 1976, – 720 с.
2. Богуслаєв В.О. Основи технології машинобудування. Навчальний посібник для студентів машинобудівних спеціальностей вищих навчальних закладів / В.О. Богуслаєв, В.І. Ципак, В.К. Яценко – Запоріжжя, вид. ВАТ «Мотор Січ», 2003. – 336 с.
3. ГОСТ 14.312-74. Единая система технологической подготовки производства. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 11 с.
4. ГОСТ 7505-89. Поковки стальные штампованные. Допуски, припуски и кузнечные напуски. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 57 с.
5. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин», для студентів спеціальності 131 «Прикладна механіка», освітньої програми (спеціалізації) «Технології машинобудування» галузі знань «Механічна інженерія» всіх форм навчання / Укл. : Гончар Н.В., Тришин П.Р. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. – 61 с.
6. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985. – 694 с.
7. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова]. – М. : Машиностроение, 1985.– 652 с.
8. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. – М. : Экономика, 1990. – 472с.
9. Справочник нормировщика – машиностроителя Т. 2. / [под ред. Е.И. Стружестраха]. – М. : Машгиз, 1961. – 890с.

10. Богуслаев В.А. Станочные приспособления / В.А. Богуслаев, В.А. Леховицер, А.С. Смирнов – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 430 с.

11. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Технологічна оснастка» з напрямку підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», за фаховим спрямуванням «Технологія машинобудування» та «Металорізальні верстати та системи» для всіх форм навчання / Укл. : П.А. Каморкін. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2011. – 82 с.

12. Автоматизація та роботизація технологічних процесів URL: <https://uahistory.co/pidruchniki/gashyak-labor-training-technical-types-of-work-9-class-2017/10.php> (дата звернення: 13.11.2023).

13. Robotic Arms URL: <https://www.simtechlabs.co/copy-of-manned-drones> (дата звернення: 13.11.2023).

14. Муляр, Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник. Репінський. Вінниця : ВНТУ, 2020. 123 с.

15. AI for CNC Machining: How is Artificial Intelligence Impacting the Field? URL: <https://www.china-machining.com/blog/ai-for-cnc-machining/> (дата звернення: 13.11.2023).

16. NDT – NON DESTRUCTIVE TESTING URL: <https://www.szutest.com/non-destructive-testing/> (дата звернення: 19.11.2023).

17. Non-Destructive Testing (NDT) – Process, Types & Applications Explained URL: <https://fractory.com/non-destructive-testing/> (дата звернення: 19.11.2023).

18. Defectoscopy URL: <https://www.ndt-defectoscopy.ru/ru-RU/press/stati/vizualnyj-kontrol-opticheskij.aspx> (дата звернення: 19.11.2023).

19. Рейтинг лучших ультразвуковых дефектоскопов на 2023 год URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-ultrazvukovyh-defektoskopov> (дата звернення: 19.11.2023).

20. Рентгенографический контроль сварных швов URL: https://bombe.ru/kachestvo/radiograficheskij_kontrol_dnisch/ (дата звернення: 19.11.2023).

21. Капиллярный контроль URL: <http://ts-p.ru/services/defectoscopy/liquid-penetrant-inspection> (дата звернення: 19.11.2023).

22. Магнитопорошковый контроль URL: <https://lks24.ru/magnitoporoshkovyy-kontrol/> (дата звернення: 19.11.2023).

23. Тепловой контроль URL: <https://termografia.ru/about/publications/139/> (дата звернення: 19.11.2023).

24. Дефектоскоп вихретоковый URL: https://perm.pulscen.ru/price/080215-defektoskop/f:63368_vikhrietokovy (дата звернення: 19.11.2023).

25. Магнитопорошковый контроль URL: https://gubkin.ru/faculty/mechanical_engineering/chairs_and_departments/welding_and_oil-field_facility_monitoring/Lab_Rab/25-02-2016/magnitoporoshkovyi.pdf (дата звернення: 19.11.2023).

26. 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 - 41 с.

27. Технічний регламент безпеки машин [Електронний ресурс] – Чинний від 2013-08-12. : станом на 11.07.2018 р. – К. : КМ України, 2013. – 76 с. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/62-2013-п> – (Постанова).

28. 2. 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.

ДОДАТОК А

Визначення ваги деталі та заготовок за допомогою масово-центрувальних характеристик програмного забезпечення NX

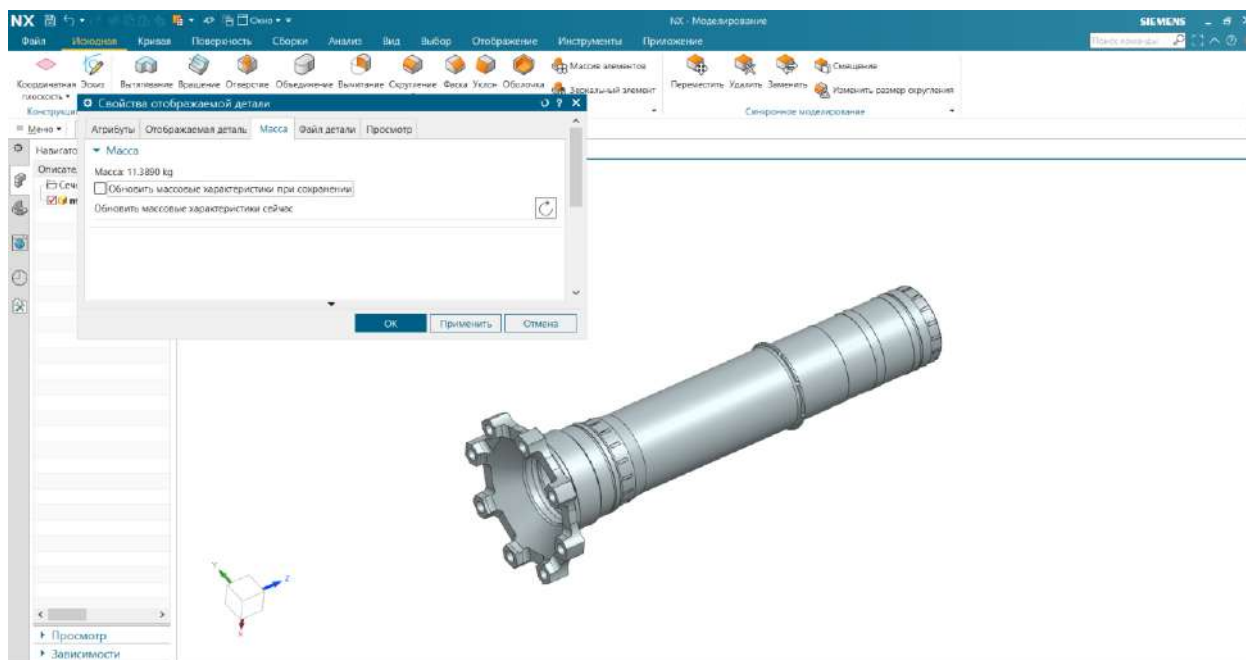


Рисунок А.1 – Визначення ваги деталі

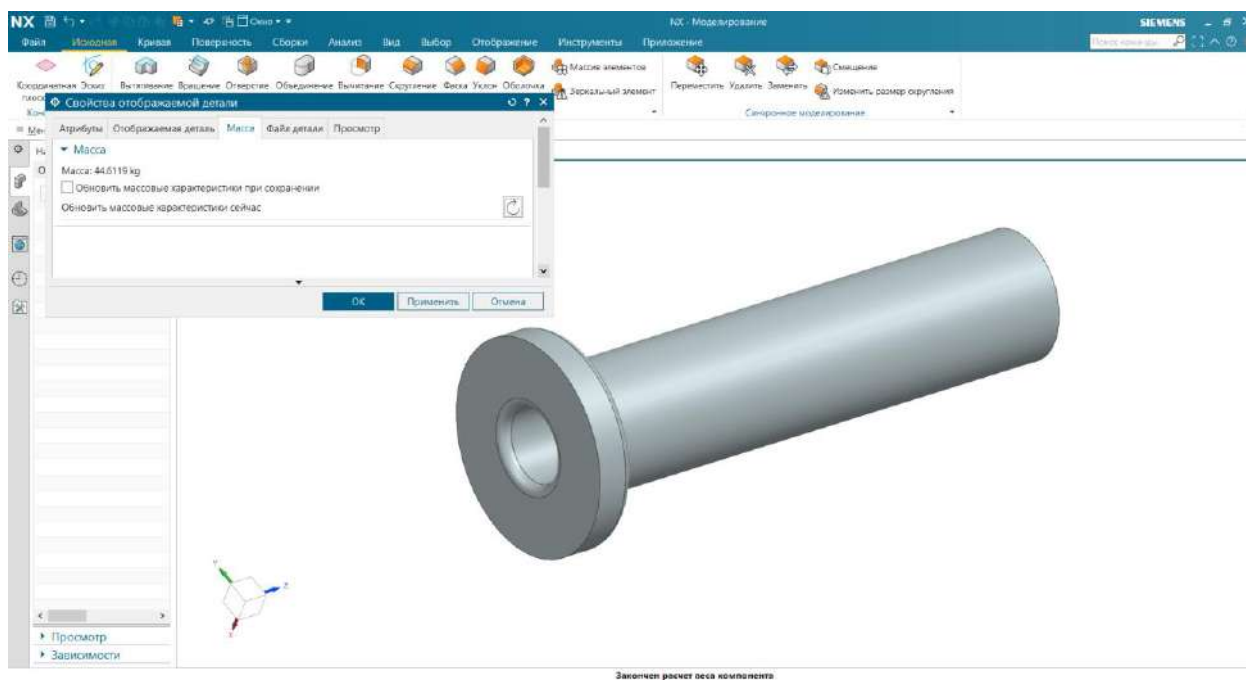


Рисунок А.2 – Визначення ваги заготовки отриманої штампуванням на пресі

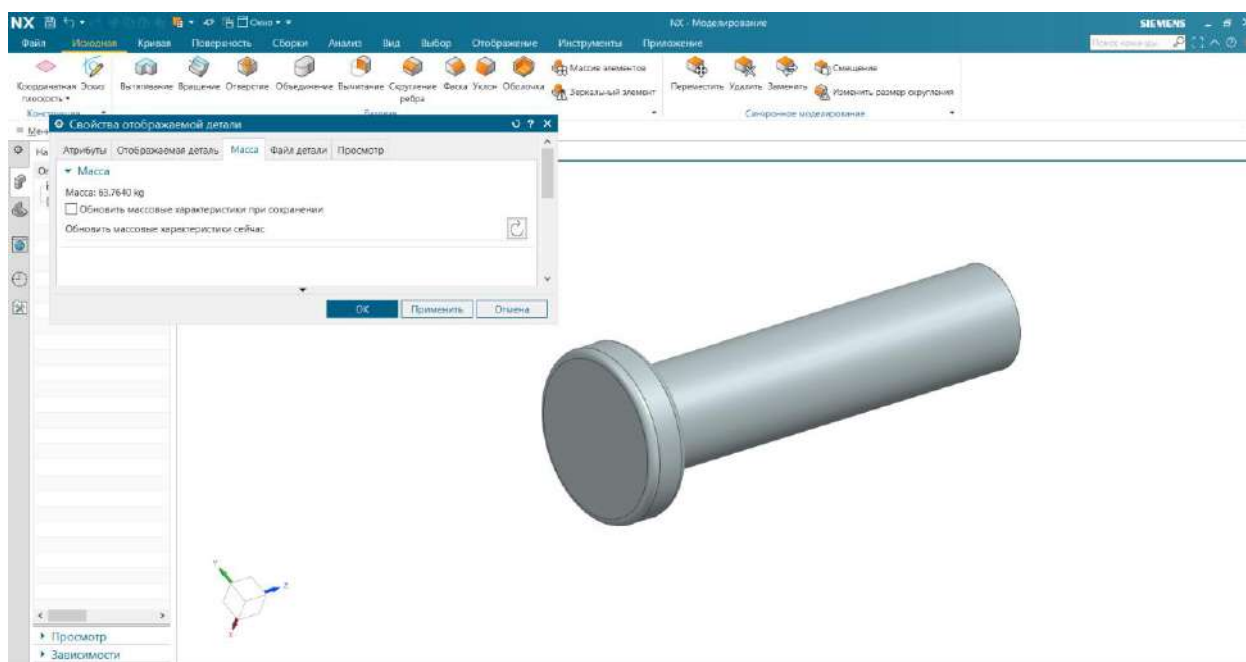


Рисунок А.3 – Визначення ваги заготовки отриманої куванням на молоті

ДОДАТОК Б Специфікація робочого пристосування

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перф. примен.						
				Документация		
			НУЗП 293226.037	Складальне креслення		
Справ. №				Сборочные единицы		
		1		Корпус	1	
Подп. и дата				Детали		
		2		Змінна втулка	2	
		3		Призма	1	
		4		Постійна втулка	2	
		5		Плита	1	
		6		Призма	1	
		7		Скоба	1	
		8		Палець	1	
		9		Пружина	2	
		10		Опора	2	
		11		Корпус	1	
		12		Штак	1	
		13		Поршень	1	
	14		Кришка	1		
Взам. инв. №						
Инв. № подл.						
Подп. и дата						
Инв. № подл.						

Изм. / лист

Разработ. Немчин

Проб. Степанов

Н.контр. Дядя

Утв. Дядя

НУЗП 293226.037

Пристосування для свердління 8 отв. $\phi 14,2$ мм

Лист 1

Лист 2

НУЗП М-122м

[illegible]

ДОДАТОК В

Специфікація контрольного пристосування

Формат	Знач	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Перв. примен.						
				Документация		
			НУЗП 402153.037	Складальне креслення	1	
Спроб. №						
				Детали		
		1		Призма	1	
		2		Призма	1	
		3		Стійка	1	
		4		Штанга	1	
		5		Губка	2	
		6		Ручка		
		7		Скоба		
		8		Тримач	1	
Підп. и дата		9		Маховик	1	
		10		Маховик	1	
		11		Корпус	1	
Инд. № дубл.						
Взам. инд. №				Стандартные изделия		
Підп. и дата		12		Болт М10х40 ГОСТ 7798-70	12	
		13		Штифт 10х50 ГОСТ 3128-70	6	
Инд. № подл.						
				НУЗП 402153.037		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Немчин			Лист	Листов
Проб.		Степанов			1	1
		Степанов				
Нконтр.		Дядя			НУЗП	
Утв.		Дядя			М-122М	

Корисність

Лист 11