

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра «Технологія машинобудування»

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Удосконалення технології виготовлення деталі
“Цапфа” кульової опори »

Виконав: студент(ка) II курсу, групи МЗ-110М

Спеціальності 131 «Прикладна механіка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

«Технології машинобудування»

Комличенко Л.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кононов В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Матюхін А.Ю.

(прізвище та ініціали)

2021

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

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технологія машинобудування
 Ступінь вищої освіти другий (магістерський)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
(код і найменування)
 Освітня програма (спеціалізація) «Технології машинобудування»
(назва освітньої програми (спеціалізації))

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри С.І. Дядя

« _____ » _____ 20 ____ року

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

Комличенко Людмили Валентинівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Удосконалення технології виготовлення деталі "Цапфа" кульової опори

керівник проекту (роботи) Кононов В.В., канд. техн. наук, доцент,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 16 » 11 2021 року № 444

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 02.12.2021 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі;
річна програма випуску N=5000 дет.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина;
3 Автоматизація. Промисловий автоматизований неруйнівний контроль;
4 Розрахунок деталі на міцність. Визначення напружено-деформованого
стану деталі; 5 Спеціальне завдання. Неруйнівний контроль об'єктів, що
тривало експлуатуються; 6 Оцінка очікуваної економічної ефективності
розробки або заходів; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних
ситуаціях

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

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

7. Дата видачі завдання « 02 » вересня 2021 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	22.09.2021	
2	Конструкторська частина	08.10.2021	
3	Автоматизація Промисловий автоматизований неруйнівний контроль	15.10.2021	
4	Розрахунок деталі на міцність	22.10.2021	
5	Спецзавдання. Неруйнівний контроль об'єктів, що тривало експлуатуються -	05.11.2021	
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів	12.11.2021	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	26.11.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки.	01.12.2021	
9	Нормоконтроль і рецензія.	10.12.2021	
10	Захист курсового проекту.	15.12.2021	

Студент(ка)

_____ Комличенко Л.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Кононов В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 123 с.; 51 рис.; 13 таб.; 2 дод.; 41 джерел.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КГШП, ДЕТАЛЬ, МІЦНІСТЬ, НЕРУЙНІВНИЙ
КОНТРОЛЬ ПНЕВМОЦИЛІНДР, СЕРІЙНЕ ВИРОБНИЦТВО,
СОБІВАРТІСТЬ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ТЕХНОЛОГІЧНА
ОСТАСТКА, ЦАПФА.

Об'єкт дослідження – "цапфа" кульової опори.

Мета магістерської роботи – покращити технологічний процес виготовлення деталі на основі базового варіанту технологічного процесу.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний.

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення деталі цапфа, було обрано устаткування та інструмент, було прораховано режими різання з нормами часу також було спроектовано робоче пристосування для токарної операції та контрольне пристосування, було запропоновано автоматизувати промисловий неруйнівний контроль, розроблено спецзавдання за темою «неруйнівний контроль об'єктів, що тривало експлуатуються» та передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ	7
ВСТУП	8
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі	9
1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт	10
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	11
1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі	16
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність	16
1.4.2 Проєктування маршруту обробки поверхонь	22
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	25
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	26
1.6 Розрахунок режимів різання	33
1.7 Технічне нормування операцій.....	44
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ	49
1.8.1 Розробка токарної операції 015.....	50
1.8.2 Розробка свердлильної операції 035	51
1.8.3 Розробка фрезерної операції 135.....	52
2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	55
2.1 Проєктування робочого пристрою	55
2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування.....	55
2.1.2 Розрахунок пристосування на точність	58
2.1.3 Визначення необхідної сили затиску.....	59
2.2 Проєктування контрольного пристосування	61
3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ	65

4 ПРОМИСЛОВИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ	72
5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ.....	79
6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ	94
7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	100
7.1 Аналіз потенційних небезпек	100
7.2 Заходи по забезпеченню безпеки	101
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці .	102
7.4 Заходи з пожежної безпеки.....	103
7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях .	
Аварії на радіаційно-небезпечних об'єктах.....	104
7.6 Значення шуму під час виробничого процесу	110
ВИСНОВОК.....	116
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	117
ДОДАТОК А.....	122
ДОДАТОК Б	123

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ

ВВК	Візуально вимірювальний контроль
ГКМ	Горизонтально–кувальна машина
КВМ	Коефіцієнт використання матеріалу
КВП	Контрольно-вимірювальне пристрій
КГШП	Кривошипно горячештамповочний прес
ККД	Коефіцієнт корисної дії
МВД	Маршрут виготовлення деталі
МОП	Маршрут обробки поверхні
МПК	Магнітопорошковий контроль
НДС	Напружено–деформований стан
НК	Неруйнівний контроль
НС	Надзвичайна ситуація
НП	Намагнічуючий пристрій
НЧ УЗК	Низькочастотний ультразвуковий контроль
ТО	Термообробка
ТП	Технологічний процес
УЗК	Ультразвуковий контроль
ХТО	Хіміко–термічна обробка
ЧПУ	Числове програмне управління

ВСТУП

Сучасне суспільство постійно виробляє товарну продукцію різного призначення. У свою чергу виробництво вже не можна уявити без застосування машин. Їх виготовлення - це самостійна галузь науки і техніки, а саме технологія машинобудування.

Технологія машинобудівного виробництва являє собою поєднання різних технологічних процесів: лиття, кування, штампування, термічної обробки, обробки різанням деталей, фарбування та ін. Дипломна робота дозволить дати основні навички основ машинобудівного виробництва, методів обробки різанням, методів отримання заготовок, засобів технологічного оснащення машинобудівного виробництва, принципів проєктування технологічних процесів виготовлення деталей і складання машин.

Виготовлення виробів на підприємстві здійснюється в результаті виробничого процесу. Виробничий процес - це сукупність всіх дій, людей і знарядь праці, необхідних на підприємстві для виготовлення і ремонту продукції. Виробничий процес охоплює підготовку засобів виробництва і організацію обслуговування робочих місць; отримання і зберігання матеріалів та напівфабрикатів; всі стадії виготовлення деталей машин; складання виробів; транспортування; технічний контроль на всіх стадіях виробництва; упаковку та інші дії, пов'язані з виготовленням виробів.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Цапфа» (рис. 1.1) входить до вузла «Опора кульова» двигуна ТВЗ-117ВМА-СБМ1.

Деталь має сферичну поверхню, для компенсації співвісності валу вільної турбіни та ведучого колеса задньої турбіни.

Сферичною поверхнею деталь «Цапфа» контактує з двома вхідними деталями «Корпус сфери» та «Кришка сфери». В процесі роботи виникає тертя між поверхнями, що притираються, тому в якості густого змащення використовується мідна паста. А сферична поверхня «Цапфи» азотується в процесі обробки. Цей метод дозволяє досягти більшої твердості та зносостійкості.

Деталь центрується за зовнішнім діаметром $\varnothing 167h6$ та кріпиться дванадцятьма болтами до корпусу заднього редуктора. По поверхні $\varnothing 78$ працюють мастилоущільнюючі кільця, тому поверхня азотується.

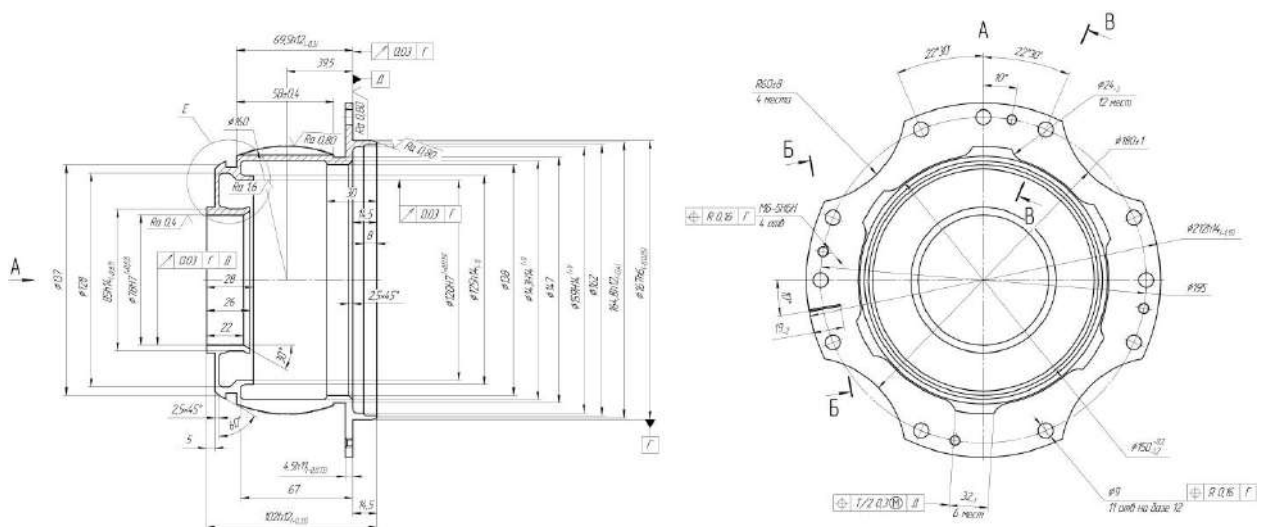


Рисунок 1.1– Ескіз деталі «Цапфа»

Деталь виконана із легованої сталі 38Х2МЮА-Ш (таблиця 1.1), хімічні та механічні властивості[1] вказані нижче.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад, у %, сталі 38Х2МЮА-Ш [1]

С	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Al	Fe	S	P
0,35-0,42	0,2-0,45	0,3-0,6	1,35-1,65	до 0,3	0,15-0,25	0,7-1,1	~95	не більше	
								0,025	0,025

Рекомендована ТО і ХТО:

- а) загартування при 930-950°C;
- б) відпуск при 640-680°C;
- в) азотування при 520-540°C.

1.2 Вибір типу виробництва і форми організації робіт

Визначається тип виробництва в залежності від габаритів, маси (ваги) і розміру річної програми випуску виробів.

Одиничне - визначається випуском деталей (продукції) в малій кількості.

Серійне - виробництво характеризується обмеженим випуском продукції, але великими серіями. Серійне виробництво підрозділяється на багатосерійне і дрібносерійне.

Масове - характеризується випуском однієї і тієї ж продукції як правило тривалий час (роками).

Серійне виробництво характеризується виготовленням обмеженої номенклатури деталей партіями, що повторюються через певні проміжки часу. Це дозволяє використовувати поряд з універсальним спеціальне

обладнання. При проєктуванні технологічних процесів передбачають порядок виконання і оснащення кожної операції.

Для підприємств серійного виробництва характерні значно менші, ніж в одиничному, трудомісткість і собівартість виготовлення виробів і в порівнянні з одиничним, вироби обробляються з меншими перервами, що знижує обсяги незавершеного виробництва.

Вихідними даними для визначення типу виробництва є маса деталі $m = 1,08$ кг та річна програма випуску $N = 5000$ шт., виходячи з яких, обрано серійний тип виробництва [1].

Форму організації виробництва приймемо змінно-потокową. Вона є найбільш економічно раціональною для даних масштабів виробництва.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

В даному проєкті порівнюються декілька методів отримання штампованих заготовок, а саме на горизонтально-кувальній машині (ГКМ), нижче зображено ескіз заготовки (рис.1.2), та кривошипному горячештамповочному пресі (КГШП), нижче зображено ескіз заготовки (рис.1.4).

Згідно ескізу (рис.1.2) також було побудовано модель заготовки (рис.1.3), використовуючи програмне забезпечення Siemens NX, щоб визначити масу отриманої на ГКМ заготовки $m_{ГКМ}=17,78$ кг. Таким же чином було побудовано модель КГШП заготовки, її маса – $m_{КГШП}=12,87$ кг (рис.1.5).

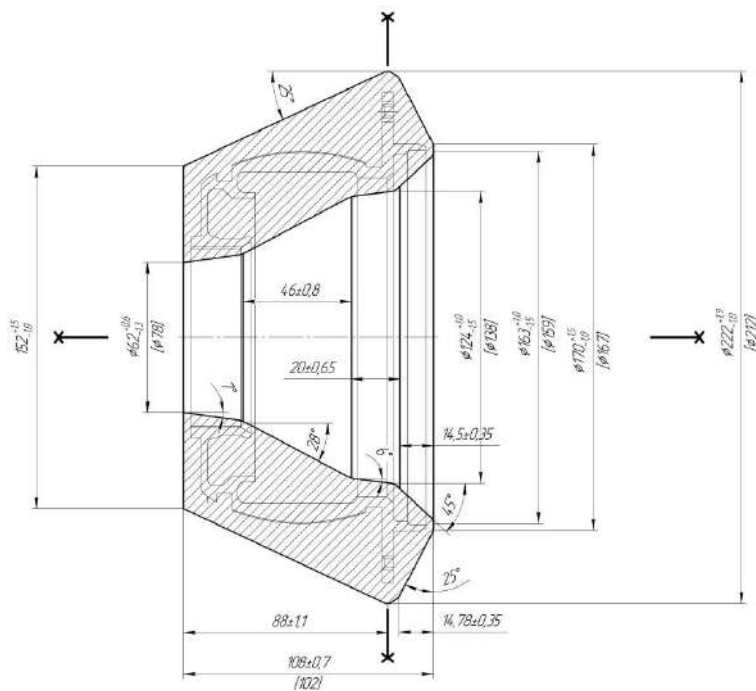


Рисунок 1.1 - Ескіз ГКМ заготовки

На ескізі неказані радіуси дорівнюють 3...5 мм, а неказані формувальні ухили дорівнюють 5°...15°.

Маса	17.7802	kg	
Вес	174.3646	N	
Момент инерции	{ 125728.5606, 115613.1094, 125728.5606 }	kg·mm ²	
Радиусы вращения	{ 84.0907, 80.6371, 84.0907 }	mm	
Главные оси (Xp)	Vector(0.0, 1.0000, 0.0)		
Главные оси (Yp)	Vector(1.0000, 0.0, 0.0)		
Главные оси (Zp)	Vector(0.0, 0.0, -1.0000)		
Главные моменты	{ 115613.1094, 72274.4496, 72274.4496 }	kg·mm ²	

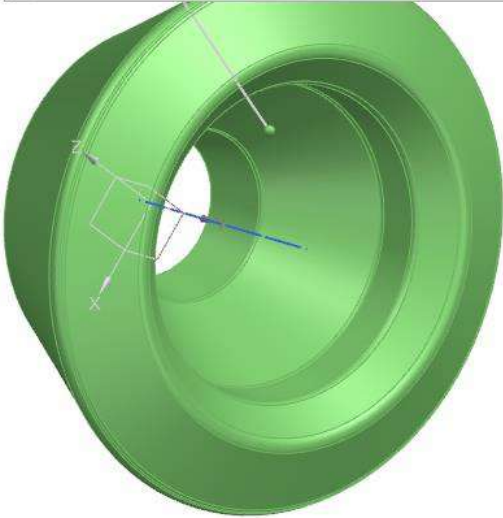


Рисунок 1.3 – Модель ГКМ заготовки

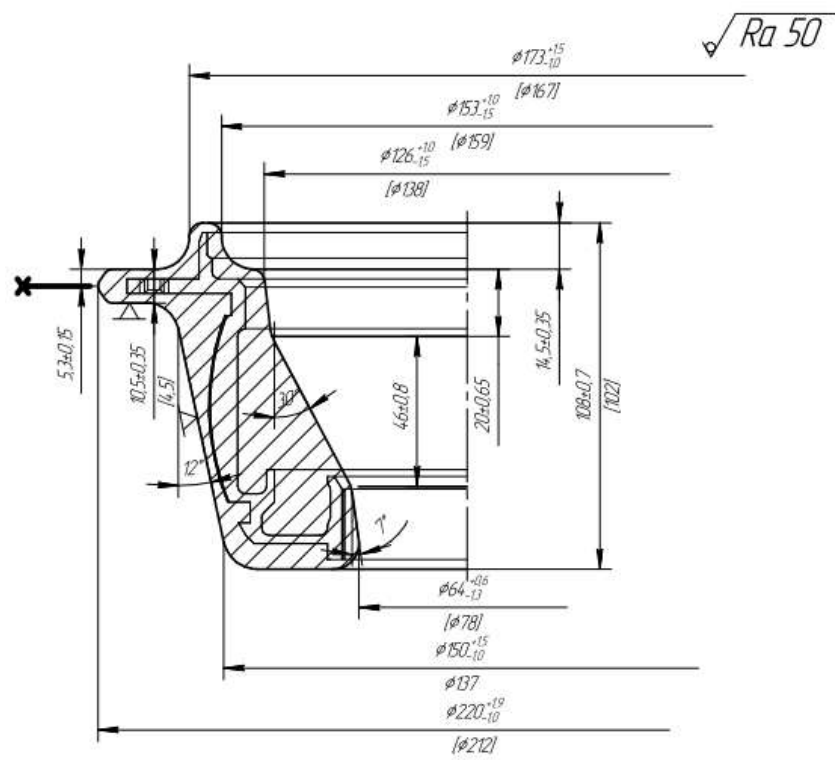


Рисунок 1.4 – Ескіз КГШП заготовки

Масса	12.8790	kg	
Вес	126.2996	N	
Момент инерции	{ 79228.2443, 66680.6512, 79228.2443 }	kg·mm ²	
Радиусы вращения	{ 78.4331, 71.9547, 78.4331 }	mm	
Главные оси (Xp)	Vector(0.0, 1.0000, 0.0)		
Главные оси (Yp)	Vector(1.0000, 0.0, 0.0)		
Главные оси (Zp)	Vector(0.0, 0.0, -1.0000)		
Главные моменты	{ 66680.6512, 44559.7972, 44559.7972 }	kg·mm ²	

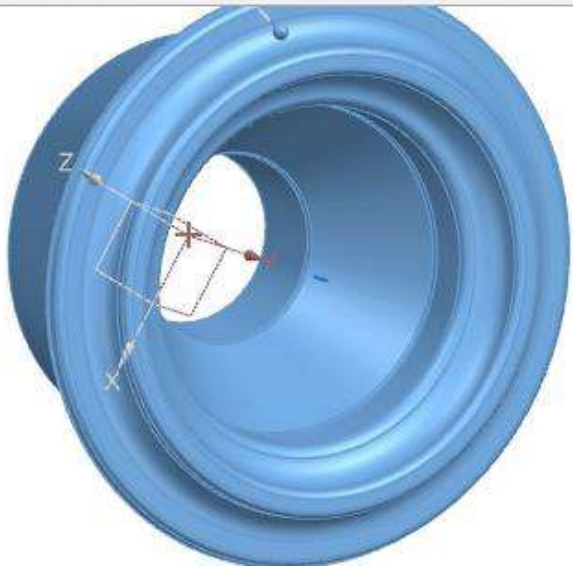


Рисунок 1.5 – Модель КГШП заготовки

Розраховується вартість отриманої кожним із способів заготовки за формулою (1.1), [4, с.5]:

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{B_6}{1000} \cdot Q \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_B \cdot K_C \cdot K_{\text{П}} - (Q - q) \frac{B_{\text{отх}}}{1000} \quad (1.1)$$

де Q – маса однієї заготовки, кг;

q – маса готової деталі, кг;

B_6 – базова вартість виробництва 1 т заготовок, грн;

K_T – коефіцієнт урахування точності однієї заготовки;

K_M – коефіцієнт урахування матеріалу однієї заготовки;

K_C – коефіцієнт врахування групи складності виробництва однієї заготовки;

K_3 – коефіцієнт урахування маси однієї заготовки;

$K_{\text{П}}$ – коефіцієнт урахування програми випуску заготовок.

$$B_{\text{ГКМ}} = \frac{3150}{1000} \cdot 17,78 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1,2 - (17,78 - 1,08) \frac{140}{1000} = 137,99 \text{ грн.}$$

$$B_{\text{КГШП}} = \frac{3500}{1000} \cdot 12,78 \cdot 1,2 \cdot 4 \cdot 0,87 \cdot 1 \cdot 1,2 - (12,87 - 1,08) \cdot \frac{140}{1000} = 111,21 \text{ грн.}$$

Підраховують коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) за формулою (1.2):

$$\eta = \frac{q}{Q} \quad (1.2)$$

де q – маса однієї деталі, кг;

Q – маса однієї заготовки, кг.

$$\eta_{\text{ГКМ}} = \frac{1,08}{17,78} = 0,06$$

$$\eta_{\text{КГШП}} = \frac{1,08}{12,87} = 0,08$$

Розрахункові результати – у таблиці 1.2.

При порівнянні декількох способів отримання заготовок, у одного з них є наявні переваги щодо іншого, а саме заготовка виготовлена за допомогою КГШП, значно вигідніша від заготовки, виготовленої за допомогою ГKM. Тому, що вона дешевша та KBM її є вищим. Тому пропоную використовувати спосіб з використанням КГШП для подальшого виготовлення даної заготовки.

Таблиця 1.2 – Порівняльні значення 2-х методів виготовлення заготовок.

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Варіант виготовлення	
			ГKM	КГШП
Маса заготовки	Q	кг	17,78	12,87
Базова вартість 1 т заготовок	Cб	грн	3150	3500
Коефіцієнти	K_T	-	1	1
	K_M	-	2,4	2,4
	K_B	-	1	1
	K_{Π}	-	1,2	1,2
	K_C	-	0,87	0,87
Вартість 1 т стружки	$S_{отх}$	грн	140	140
Вартість 1 шт. заготовок	C	грн	137,99	111,21
KBM	η_1	-	0,06	0,08

Далі підраховую зекономлені кошти за рік на виробленні заготовок:

$$E_B = (B_2 - B_1)N \quad (1.3)$$

де B_1 – вартість 1 т заготовок, що виготовлені на КГШП, грн.;

B_2 – вартість 1 т заготовок, що виготовлені на молотах, грн;

N – програма випуску заготовок за рік, шт.

$$E_B = (17,78 - 12,87) \cdot 5000 = 133900 \text{ грн.}$$

Підраховую річну економію матеріалу, за формулою (1.4):

$$M = \frac{q(\eta_1 - \eta_2)}{\eta_1 \eta_2} \cdot N \quad (1.4)$$

$$M = \frac{1,08(0,08 - 0,06)}{0,08 \cdot 0,06} \cdot 5000 = 24550 \text{ кг}$$

1.4 Проєктування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Одним із факторів, що впливають на характер технологічного процесу, є технологічність виробу та його компонентів. Конструкція виробу повинна відповідати не тільки вимогам їх експлуатації, але і вимогам до їх максимально економічного виробництва. Менші витрати на робочу силу та нижчі виробничі витрати часто розглядаються як технічні. Тому проєктування технологічного процесу передусь відпрацюванню виробу на технологічність.

Технологічна конструкція виробу повинна забезпечувати широкий спектр уніфікованих складальних одиниць, стандартизованих та стандартних компонентів. Технологічна конструкція виробу повинна відповідати умовам збірки та мати зручні основи збірки, принаймні для припасувальних робіт.

Коефіцієнт використання матеріалу це одна з характеристик виробничого процесу. Він являє собою кількість матеріалу (обсяг або масу) в готовому виробі поділену на загальну кількість матеріалу, витраченого на виготовлення виробу. В машинобудуванні дорівнює $\eta \geq 0,8$. Дана деталь має $\eta = 0,08$, тому за цим критерієм не є технологічною.

Підраховую кількісну оцінку за формулою (1.5):

$$K_{\text{тех}} = \frac{K_{\text{ун}} + K_{\text{точ}} + K_{\text{ш}}}{3} \quad (1.5)$$

де $K_{\text{ун}}$ – коефіцієнт уніфікованих елементів деталі;

$K_{\text{точ}}$ – коефіцієнт точності деталі;

$K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості деталі.

Підраховую коефіцієнт уніфікації за формулою (1.6):

$$K_{\text{ун}} = \frac{n_{\text{ун}}}{n_{\Sigma}} \quad (1.6)$$

де $n_{\text{ун}}$ – кількість уніфікованих елементів;

n_{Σ} – загальна кількість елементів.

Підраховую коефіцієнт точності за формулою (1.7):

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{A_{\text{ср}}} \quad (1.7)$$

де $A_{\text{ср}}$ – середній квалітет точності; підраховую його за наступною формулою (1.8):

$$A_{\text{ср}} = \frac{15 \cdot n_1 + 14 \cdot n_2 + \dots + 6 \cdot n_n}{\Sigma n} \quad (1.8)$$

де $n_{1...n}$ – обсяг розмірів, що мають конкретний квалітет;

Σn – загальний обсяг усіх розмірів.

Підраховую коефіцієнт шорсткості, формула (1.9):

$$K_{\text{ш}} = 1 - \frac{1}{B_{\text{ср}}} > 0,6 \quad (1.9)$$

де $K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт шорсткості деталі;

$B_{\text{ср}}$ – середній квалітет шорсткості деталі; підраховую коефіцієнт за формулою (1.10):

$$B_{cp} = \frac{K_4 \cdot n_1 + K_5 \cdot n_2 + \dots + K_7 \cdot n_n}{\sum_n} \quad (1.10)$$

де $K_{4...7}$ – клас шорсткості;

$n_1 \dots n_n$ – обсяг розмірів, що відповідають конкретному класу шорсткості;

$\sum_n$ – обсяг всіх розмірів.

Проводжу якісну оцінку деталі (рис.1.6):

- деталь має складну геометричну форму, відповідає класу корпусів;
- тонкостінна;
- дає можливість виставлення розмірів відповідно розмірним зв'язкам між конструкторськими і технологічними базами та їх суміщення;
- не дає можливості застосування типових технологічних процесів;
- має наскрізні отвори;
- нормальна точність;
- жорсткість деталі достатня та не обмежує режими різання;
- є вільний доступ інструменту до поверхонь, що обробляються.

Була проведена кількісна оцінка.

Вихідні данні щодо поверхонь деталі надано у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Характеристики розмірів та поверхонь деталі

№розм	Розмір	Квалітет	Шорсткість	Уніфікація
1	2	3	4	5
Діаметральні розміри				
1	$\phi 137$	h12	3,2/5	—
2	$\phi 128$	H12	3,2/5	+
3	$\phi 85_{-0,87}$	h14	3,2/5	+
4	$\phi 78^{+0,03}$	H7	0,4/8	+
5	$\phi 120^{+0,035}$	H7	1,6/6	+
6	$\phi 125_{-1}$	h14	3,2/5	+
7	$\phi 138$	h12	3,2/5	+
8	$\phi 143^{+1}$	H14	3,2/5	+

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5
9	$\phi 147$	h12	3,2/5	+
10	$\phi 159^{+1}$	H14	3,2/5	+
11	$\phi 162$	H12	3,2/5	+
12	$\phi 164,8_{-0,4}$	h12	3,2/5	+
13	$\phi 167_{-0,025}$	h6	3,2/5	+
14	$\phi 24_{-3}$	h12	3,2/5	+
15	$\phi 212_{-1,15}$	h14	3,2/5	+
16	$\phi 195$	h12	3,2/5	—
17	$\phi 180 \pm 1$	h12	3,2/5	+
18	$\phi 150_{-1,2}^{-0,2}$	h12	3,2/5	+
19	$\phi 9$	H12	3,2/5	+
20	$\phi 87_{-0,87}$	h14	3,2/5	+
21	$\phi 135_{-0,063}$	h8	1,6/6	+
22	$\phi 20_{-3}$	h12	3,2/5	+
23	M6	5H6H	1,6/6	—
24	$\phi 160$	h12	3,2/5	—
Лінійні розміри				
25	$102_{-0,35}$	h12	3,2/5	+
26	67	h12	3,2/5	—
27	$69,5_{-3}$	h12	0,8/7	+
28	$58 \pm 0,4$	h12	3,2/5	+
29	39,5	h12	3,2/5	—
30	14,5	H12	3,2/5	+
31	30	h12	3,2/5	+
32	8	h12	3,2/5	+
33	28	h12	3,2/5	+
34	26	h12	3,2/5	+
35	22	h12	3,2/5	+
36	14,5	h12	3,2/5	+
37	$4,5_{-0,075}$	h11	3,2/5	+
38	5	h12	3,2/5	+
39	32_{-1}	h12	3,2/5	—
40	19_{-2}	h12	3,2/5	—
41	$9 \pm 0,4$	h12	3,2/5	+
42	5	h12	3,2/5	—
43	12	H12	3,2/5	+
44	$6,5^{+0,36}$	H14	3,2/5	+
45	0,2	h12	3,2/5	—
Радіуси				
49	$R60 \pm 8$	h12	3,2/5	—

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4	5
50	R0,5	h12	3,2/5	—
53	R2,5	h12	3,2/5	—
57	R2,5	h12	3,2/5	—
Фаски				
64	2,5x45°	h12	3,2/5	—
65	2,5x45°	h12	3,2/5	—
Кути				
71	45°	h12	3,2/5	—
72	30°	h12	3,2/5	—
73	10°	h12	3,2/5	—
74	22°30′	h12	3,2/5	—
75	30°	h12	3,2/5	—
76	60°	h12	3,2/5	—

Підраховують коефіцієнт уніфікації за формулою (1.4):

$$K_{\text{ун}} = \frac{22}{35} = 0,63 \geq 0,6$$

Після розрахунків результати повідомляють що деталь є технологічною.

Підраховують середній квалітет та коефіцієнт точності за формулами (1.8), (1.7):

$$A_{\text{ср}} = \frac{14 \cdot 7 + 12 \cdot 44 + 11 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 7 \cdot 2 + 6 \cdot 2}{57} = 11,77$$

$$K_{\text{точ}} = 1 - \frac{1}{11,77} = 0,92 > 0,6$$

Після розрахунків результати повідомляють що деталь є технологічною.

Підраховують коефіцієнт та середній квалітет шорсткості, за формулами (1.10), (1.9):

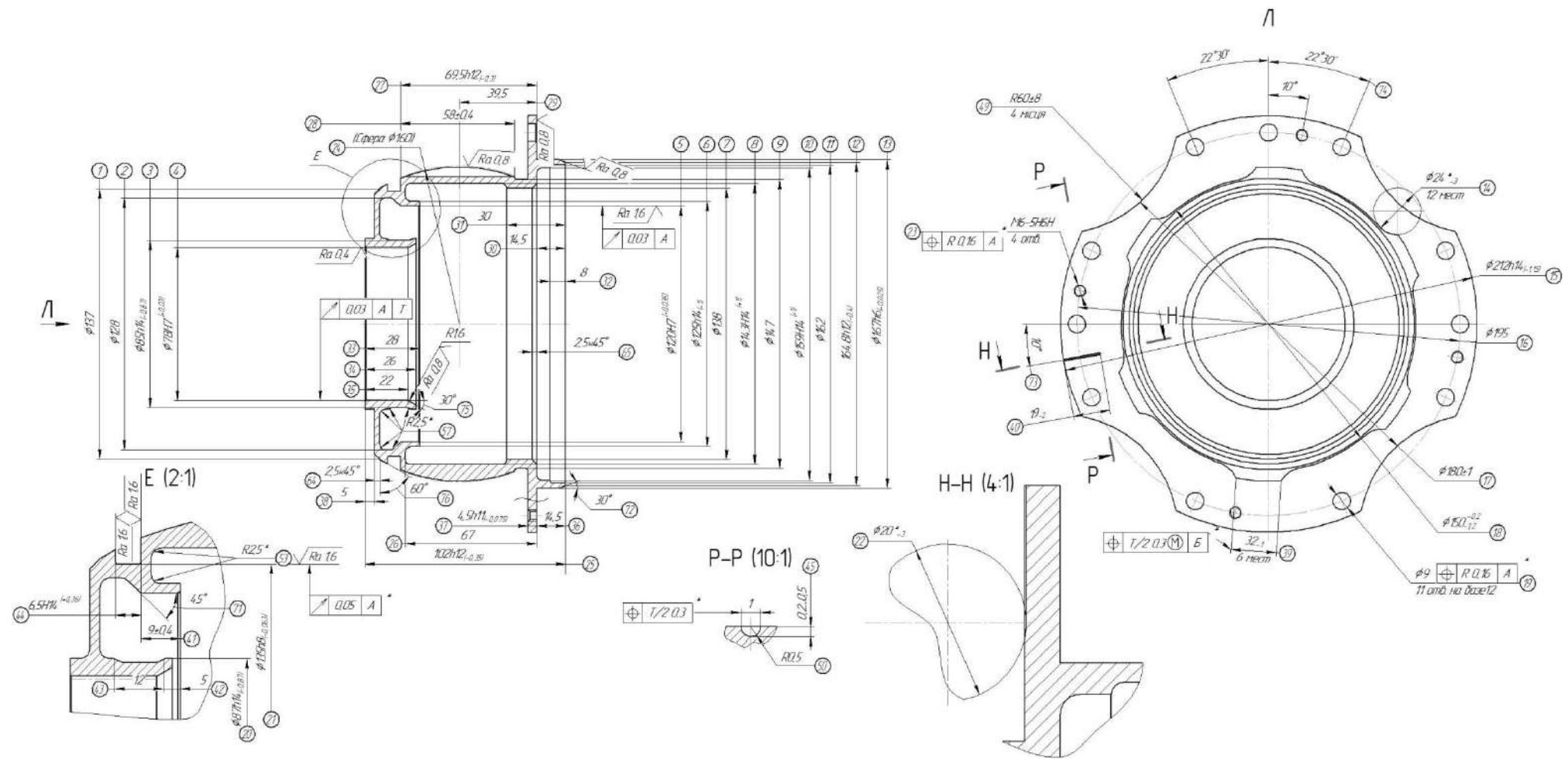


Рисунок 1.6 – Технологічна розмітка всіх поверхонь деталі «Цапфа»

$$B_{cp} = \frac{5 \cdot 52 + 6 \cdot 3 + 7 \cdot 1 + 8 \cdot 1}{57} = 5,12$$

$$K_{ш} = 1 - \frac{1}{5,12} = 0,8 > 0,6$$

За цим критерієм деталь є технологічною.

Підраховую загальний рівень технологічності деталі за формулою (1.3):

$$K_{tex} = \frac{0,63 + 0,92 + 0,8}{3} = 0,78 > 0,6$$

Після розрахунків результати повідомляють що деталь є технологічною. Кількісна оцінка технологічності деталі – задовільна. Та якісна оцінка, навпаки, не відповідає. Коли хоча б один з параметрів не є технологічним деталь не може вважатися технологічною.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки елементарної поверхні (МОП) циліндричної зовнішньої поверхні $\phi 167h6_{(-0,025)}$.

Вихідні дані для цієї поверхні в заготовці:

$$Td_3 = 5000 \text{ мкм};$$

$$Ra_3 = 50 \text{ мкм};$$

Квалітет - IT 17;

Вихідні дані поверхні в деталі:

$$Td_d = 25 \text{ мкм};$$

$$Ra_d = 0,8 \text{ мкм}$$

Квалітет – $h6_{(-0,025)}$

Підраховують уточнення згідно квалітету за формулою (1.11):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{Td_{заг}}{Td_{дет}}; \quad (1.11)$$

де $Td_{заг}$ – допуск на даний розмір заготовки мкм;

$Td_{дет}$ – допуск на даний розмір деталі, мкм.

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{5000}{25} = 200$$

Підраховують уточнення згідно шорсткості за формулою (1.12):

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{Ra_{заг}}{Ra_{дет}}; \quad (1.12)$$

де $Ra_{заг}$ – шорсткість на даний розмір заготовки, мкм;

$Ra_{дет}$ – шорсткість на даний розмір деталь, мкм.

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

Підраховують кількість переходів за формулою (1.13):

$$K_{расч} = 2 \lg \varepsilon_{oTd} \quad (1.13)$$

$$K_{расч} = 2 \cdot \lg 200 = 4,6$$

Кількість переходів прийнято $K=5$.

Різниця квалітетів визначається:

$$\Delta = IT_{заг} - IT_{дет} = 17 - 6 = 11 = 3 + 3 + 2 + 2 + 1$$

$$IT17 \rightarrow h14 \rightarrow h11 \rightarrow T/o \rightarrow h9 \rightarrow h7 \rightarrow h6$$

$$Ra\ 50 \rightarrow Ra\ 12,5 \rightarrow Ra\ 6,3 \rightarrow T/o \rightarrow Ra\ 3,2 \rightarrow Ra\ 1,6 \rightarrow Ra\ 0,8$$

Перевірка:

$$\varepsilon_{oTd} \leq \Pi \varepsilon_{iTd}$$

$$200 \leq 200 \text{ вірно}$$

$$\varepsilon_{oRa} \leq \Pi \varepsilon_{iRa}$$

$$62,5 \leq 62,5 \text{ вірно}$$

Після розрахунків результати – у таблиці 1.4. Також зроблено перевірку. Та зроблено МОП.

МОП внутрішньої циліндричної поверхні $\varnothing 120H7^{(+0,035)}$.

Вихідні дані заготовки:

$$Td_3 = 4000 \text{ мкм};$$

$$Ra_3 = 50 \text{ мкм};$$

Квалітет – IT 17;

Вихідні дані деталі:

$$Td_d = 35 \text{ мкм};$$

$$Ra_d = 1,6 \text{ мкм}$$

Квалітет – $H7^{(+0,035)}$.

Підраховую уточнення згідно квалітету та шорсткості за формулами (1.11), (1.12):

$$\varepsilon_{oTd} = \frac{4000}{35} = 114,28$$

$$\varepsilon_{oRa} = \frac{50}{1,6} = 31,25$$

Підраховую кількість переходів за формулою (1.13):

$$K_{расч} = 2 \cdot \lg 114,28 = 4,11$$

Кількість переходів прийнято $K=4$.

Різниця квалітетів:

$$\Delta = IT_{\text{заг}} - IT_{\text{дет}} = 17 - 7 = 10 = 3 + 3 + 3 + 1$$

$$IT17 \rightarrow H14 \rightarrow H11 \rightarrow H8 \rightarrow T/O \rightarrow H7$$

$$Ra\ 50 \rightarrow Ra\ 12,5 \rightarrow Ra\ 6,3 \rightarrow Ra\ 3,2 \rightarrow T/O \rightarrow Ra\ 1,6$$

Перевірка:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{oTd} &\leq \Pi \varepsilon_{iTd} \\ 114,28 &\leq 114,28 - \text{вірна} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_{oRa} &\leq \Pi \varepsilon_{iRa} \\ 31,25 &\leq 31,25 - \text{вірна} \end{aligned}$$

Після розрахунків результати у таблиці 1.4. Також зроблено перевірку. Та розроблено МОП.

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

В процесі проєктування ТП виготовлення деталі вирішують головні завдання технології – забезпечення потрібною якістю, максимальної продуктивності, мінімальної собівартості – та мінімізацію факторів, що шкідливо впливають на навколишнє середовище. Технологічні основи рішення цих завдань укладаються при призначенні переходів маршруту обробки поверхні (МОП), та організаційні основи - при формуванні операцій маршруту виготовлення деталі (МВД).

Для складання маршруту обробки поверхонь треба описати кожен оброблювану поверхню для порівняння її з відповідною поверхнею заготовки. Характеристика поверхонь деталі – у таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – План обробки поверхонь

	Показ., мкм	Уточн.	Кіл. пер.	Різні.лок. ПШТК	i	Метод обр.		Td, мкм	Ra, мкм	ε_{iTd}	ε_{iRa}		
Зовніш.циліндр.поверх. Ø167h6 _(0,025) .	Td Ra	200 62,5	5	17-6=11= =3+3+2+ +2+1	1	Загот.	IT17	5000	50	—	—		
					2	Чорн. точ.	h14	1000	12,5	5	4		
					3	Н/чист. точ.	h11	250	6,3	4	1,98		
					4	Т/О	—	—	—	—	—		
					5	Чист.точ.	h9	100	3,2	2,5	1,96		
					6	Тонке точ.	h7	40	1,6	2,5	2		
					7	Шліф. однокр.	h6	25	0,8	1,6	2		
					8	Уточнення						200	62,5
Внутріш.цил.повер. Ø120H7 ^(+0,035)	Td Ra	114,28 31,25	4	17-7=10= =3+3+3+1	1	Загот.	IT17	4000-	50-	—	—		
					2	Точ. чорн.	H14	870	12,5	4,59	4		
					3	Точ. н/ч	H11	220	6,3	3,95	1,98		
					4	Точ. чист..	H8	54	3,2	4,07	1,97		
					5	Т/О	—	—	—	—	—		
					6	Тонке точ.	H7	35	1,6	1,54	2		
					8	Уточнення						78,78	62,5

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розраховую припуски на розмір $\varnothing 167h6_{(-0,025)}$ розрахунково-аналітичним методом.

Поверхня зовнішня $\varnothing 167h6_{(-0,025)}$ Ra=0,8.

МОП:

1. Заготовка IT17 ($T_{d1} = 5,0$ мм);
2. Точіння чорнове h14 ($T_{d2} = 1,0$ мм);
3. Точіння напівчистове h11 ($T_{d3} = 0,25$ мм);
4. Т/О;
5. Точіння чистове h9 ($T_{d5} = 0,1$ мм);

6. Точіння тонке h_7 ($T_{d6} = 0,04$ мм);
7. Шліфування однократне h_6 ($T_{d7} = 0,025$ мм).

Обрала нормативи значень висоти нерівностей R_z та дефектного шару h [2, табл.3.7, с.23]. Після розрахунків результати – у таблиці 1.5.

За переходами:

1. Заготовка $R_{z1}=200$ мкм, $h_1=200$ мкм;
2. Точіння чорнове $R_{z2}=80$ мкм, $h_{12}=100$ мкм;
3. Точіння напівчистове $R_{z3} = 50$ мкм $h_3 = 60$ мкм;
4. Т/О;
5. Точіння чистове $R_{z5} = 15$ мкм $h_5 = 30$ мкм;
6. Точіння тонке $R_{z6} = 10$ мкм $h_6 = 20$ мкм;
7. Шліфування однократне $R_{z7}= 5$ мкм $h_7 = 15$ мкм.

Розраховую сумарне значення просторових відхилень за формулою (1.14):

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

де $\rho_{зм}$ – допустиме значення зміщення поверхні;
 $\rho_{кор}$ – допустиме значення короблення поверхні.

Розраховую допустиме значення зміщення поверхні за формулою (1.15):

$$\rho_{зм} = \rho_{зм\ таб} \cdot l \quad (1.15)$$

де $\rho_{зм\ таб}$ – табличне значення кривизни поверхні; [1, табл.3.9, с.25];

l – довжина даної поверхні.

$$\rho_{зм} = 1,0 \cdot 14,5 = 14,5 \text{ мкм}$$

Розраховую допустиме значення короблення поверхні за формулою (1.16):

$$\rho_{\text{кор}} = \rho_{\text{кор таб}} \cdot l \quad (1.16)$$

де $\rho_{\text{к таб}}$ – табличне значення кривизни поверхні; [3, табл.15, с.186];

l – довжина даної поверхні.

$$\rho_{\text{кор}} = 0,8 \cdot 14,5 = 11,6 \text{ мкм}$$

Розраховую сумарне значення просторових відхилень за формулою (1.14):

$$\rho_1 = \sqrt{14,5^2 + 11,6^2} = 18,57 \text{ мкм}$$

Приймаю коефіцієнти уточнення k_i за [3, табл.13, с.42];

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot k_2 = 18,57 \cdot 0,06 = 1,11 \text{ мкм};$$

$$\rho_3 = \rho_2 \cdot k_3 = 1,11 \cdot 0,05 = 0,05 \text{ мкм};$$

$$\rho_4 = \rho_3 \cdot k_4 = 0,05 \cdot 0,04 = 0 \text{ мкм}.$$

Розраховую мінімальні припуски за формулою (1.17):

$$2Z_i^{\text{min}} = 2(R_{z_{i-1}} + h_{i-1} + \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}) \quad (1.17)$$

де $R_{z_{i-1}}$ – висота нерівностей попередньої операції;

h_{i-1} – глибина дефектного шару попередньої операції;

ρ_{i-1} – значення просторового відхилення попередньої операції;

ε_i – значення похибки установки даної операції, [3, табл.13, с.42].

$$2Z_2^{\text{min}} = 2(200 + 200 + \sqrt{18,57^2 + 120^2}) = 1,043 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\min}=2(80+100+\sqrt{1,11^2+80^2})=0,52 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\min}=2(50+60+\sqrt{0,05^2+50^2})=0,32 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\min}=2(15+30+\sqrt{0^2+40^2})=0,17 \text{ мм};$$

$$2z_7^{\min}=2(10+20+\sqrt{0^2+25^2})=0,11 \text{ мм}.$$

Розраховую номінальні припуски:

$$2z_2^H=2z_2^{\min}+e_{i \text{ заг}}=1,043+1=2,043 \text{ мм};$$

$$2z_3^H=2z_3^{\min}+Td_2=0,52+1=1,52 \text{ мм};$$

$$2z_5^H=2z_5^{\min}+Td_3=0,32+0,25=0,57 \text{ мм};$$

$$2z_6^H=2z_6^{\min}+Td_5=0,17+0,1=0,27 \text{ мм};$$

$$2z_7^H=2z_7^{\min}+Td_6=0,11+0,04=0,15 \text{ мм}.$$

Розраховую номінальні діаметри:

$$d_7^H=d_{\text{дет}}^H=167 \text{ мм};$$

$$d_6^H=d_7^H+2z_7^H=167+0,15=167,15 \text{ мм};$$

$$d_5^H=d_6^H+2z_6^H=167,15+0,27=167,42 \text{ мм};$$

$$d_3^H=d_5^H+2z_5^H=167,42+0,57=167,99 \text{ мм};$$

$$d_2^H=d_3^H+2z_3^H=167,99+1,52=169,51 \text{ мм};$$

$$d_{\text{дет}}^H=d_2^H+2z_2^H=169,51+2,043=171,553 \text{ мм}.$$

Розраховую максимальні припуски:

$$2z_2^{\max}=2z_2^{\min}+Td_1+Td_2=1,043+5+1=7,043 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max}=2z_3^{\min}+Td_3+Td_2=0,52+0,25+1=1,77 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max}=2z_5^{\min}+Td_5+Td_3=0,32+0,1+0,25=0,67 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max}=2z_6^{\min}+Td_6+Td_5=0,17+0,04+0,1=0,31 \text{ мм};$$

$$2z_7^{\max}=2z_7^{\min}+Td_7+Td_6=0,11+0,025+0,04=0,175 \text{ мм}.$$

Розраховую загальний номінальний припуск:

$$2z_0^H=\sum 2z_i^H=2,043+1,52+0,57+0,27+0,15=4,553 \text{ мм}.$$

Проводжу перевірку:

$$\begin{aligned} d_{\text{заг}}^H - d_{\text{дет}}^H &= 2z_0^H \\ 171,553 - 167 &= 4,553 \\ 4,553 &= 4,553 \end{aligned}$$

Після розрахунків результати – у таблиці 1.5. Також зроблено перевірку.

Таблиця 1.5 – Розрахункові результати припусків на обробку циліндричної зовнішньої поверхні $\varnothing 167h6_{(-0,025)}$

	Найменування операції	R_z , мкм	h , мкм	ρ ,	ε_i	Td , мм	d_i^H , мм,	d_i^H , мм	Вик. розмір d , мм	$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівельна	200	200	18,57	—	5	—	171,553	$171,6^{+1,9}_{-1}$	—	—
2	Точ. чорнове	80	100	1,11	120	1	2,043	169,51	$169,5_{-1,0}$	7,043	1,043
3	Точ. л/чист	50	60	0,05	80	0,25	1,52	167,99	$168_{-0,25}$	1,77	0,52
4	Т/О	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	Точ. чист.	15	30	0	50	0,1	0,57	167,42	$167,42_{-0,1}$	0,67	0,32
6	Точ. тонке	10	20	0	40	0,04	0,27	167,15	$167,15_{-0,04}$	0,31	0,17
7	Шліф. однокр	5	15	0	25	0,025	0,15	167	$167_{-0,025}$	0,175	0,11

Розраховую припуски табличним способом:

Циліндрична зовнішня поверхня $\varnothing 120H7^{(+0,035)}$.

Обрала мінімальні припуски для розрахунку табличним способом [2, табл.4.11, с.48].

1. Заготовка;
2. Розточування чорнове $2z_2^{\min}=2 \cdot 1,6 = 3,2$ мм;
3. Розточування напівчистове $2z_3^{\min}=2 \cdot 0,9 = 1,8$ мм;
4. Т/О
5. Розточування чистове $2z_5^{\min}=2 \cdot 0,5 = 1,0$ мм;
6. Розточування тонке $2z_6^{\min}=2 \cdot 0,3 = 0,6$ мм.

Розраховую номінальні припуски:

$$2z_2^H = 2z_2^{\min} + e_{\text{изар}} = 3,2 + 2,5 = 5,7 \text{ мм};$$

$$2z_3^H = 2z_3^{\min} + Td_2 = 1,8 + 0,87 = 2,67 \text{ мм};$$

$$2z_5^H = 2z_5^{\min} + Td_3 = 1,0 + 0,22 = 1,22 \text{ мм};$$

$$2z_6^H = 2z_6^{\min} + Td_5 + e_{\text{дет}} = 0,6 + 0,054 + 0,035 = 0,689 \text{ мм}.$$

Було розраховано номінальні розміри:

$$d_6^H = 120 \text{ мм};$$

$$d_5^H = d_6^H - 2z_6^H = 120 - 0,689 = 119,311 \text{ мм};$$

$$d_3^H = d_5^H - 2z_5^H = 119,311 - 1,22 = 118,091 \text{ мм};$$

$$d_2^H = d_3^H - 2z_3^H = 118,091 - 2,67 = 115,421 \text{ мм};$$

$$d_1^H = d_2^H - 2z_2^H = 115,421 - 5,7 = 109,721 \text{ мм}.$$

Було розраховано максимальні припуски:

$$2z_2^{\max} = 2z_2^{\min} + Td_2 + Td_1 = 3,2 + 0,87 + 4 = 8,07 \text{ мм};$$

$$2z_3^{\max} = 2z_3^{\min} + Td_3 + Td_2 = 1,8 + 0,22 + 0,87 = 2,89 \text{ мм};$$

$$2z_5^{\max} = 2z_5^{\min} + Td_5 + Td_3 = 1 + 0,054 + 0,22 = 1,274 \text{ мм};$$

$$2z_6^{\max} = 2z_6^{\min} + Td_6 + Td_5 = 0,6 + 0,035 + 0,054 = 0,689 \text{ мм}.$$

Було розраховано загальний номінальний припуск:

$$2z_0^H = \sum 2z_n^H = 5,7 + 2,67 + 1,22 + 0,689 = 10,279 \text{ мм.}$$

Була виконана перевірка:

$$1) 2z_0^H = d_6^H - d_1^H$$

$$10,279 = 10,279$$

$$2) 2z_n^{\max} - 2z_n^{\min} = Td_n + Td_{n+1}$$

$$4,87 = 4,87$$

$$3) 1,09 = 1,09$$

$$4) 0,274 = 0,274$$

$$6) 0,089 = 0,089$$

Після розрахунків результати – у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Розрахункові результати припусків на циліндричну внутрішню поверхню $\varnothing 120H7^{(+0,035)}$

	Опер.	Відхил.		Доп.	Ном прип. $2z_i^H$, мм	Номін. р-р, d_i^H , мм	Исп. р-р d , мм	Прип.	
		es, мм	ei, мм					$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм
1	Заготівка	1,5	-2,5	2,6	—	109,721	$110^{+1,5}_{-2,5}$	-	-
2	Розт. чорн.	0,87	0	0,87	5,7	115,421	$115,4^{+0,87}$	8,07	3,2
3	Розт. н/ч	0,22	0	0,22	2,67	118,091	$118,1^{+0,22}$	2,89	1,8
4	Т/О	—	—	—	—	—	—		
5	Розт. чист.	0,054	0	0,054	1,22	119,311	$119,311^{+0,054}$	1,274	1
6	Розт. тонке	0,035	0	0,035	0,689	120	$120^{+0,035}$	0,689	0,6

1.6 Розрахунок режимів різання

Підраховую режими різання на свердлильну 035 операцію (рис.1.7).
Свердлити отвір $\phi 9$.

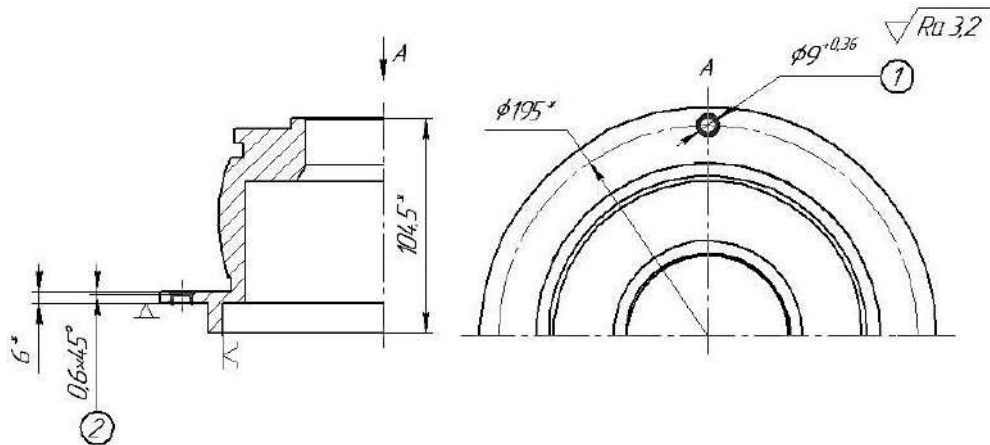


Рисунок 1.7 – Ескіз обробки деталі “цапфа” на 045 свердлильну операцію.

Верстат 2Р135Ф2

Обираю – свердло спіральне зі швидкорізальної сталі Р6М5, ГОСТ 4010–77 [6, таб.13, с.123], згідно вихідним даним.

Підраховую глибину різання за формулою (1.18):

$$t = \frac{d_{\text{св}}}{2} \quad (1.18)$$

$$t = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ мм}$$

Стійкість інструмента $T=8$ хв [6, таб.30, с.279];

Підраховую подачу за формулою (1.19):

$$S_o = S_T \cdot K_1 \cdot K_2 \quad (1.19)$$

де S_T – табличне значення подачі, [5, с.37];

K_1 – коефіцієнт за довжиною точіння, [5, с.37];

K_2 – коефіцієнт за видом поверхні обробки, [5, с.37].

$$S_o = 0,19 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,19 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата прийнято $S_o = 0,2$ мм/об.

Підраховую розрахункову швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = V_{\text{таб}} \cdot V_1 \cdot V_2 \cdot V_3 \cdot V_4 \cdot V_5 \cdot V_6 \cdot V_7 \cdot V_8 \quad (1.20)$$

де $V_{\text{таб}}$ – табличне значення швидкості різання, м/хв [5, с.37];

V_1 – коефіцієнт, що залежить від діаметру оброблюваної поверхні, [5, с.37];

V_2 – коефіцієнт, який залежить від глибини різання, [5, с.37];

V_3 – коефіцієнт, який залежить від виду оброблюваної поверхні, [5, с.37];

V_4 – коефіцієнт, що враховує наявність охолодження, [5, с.37];

V_5 – коефіцієнт, що враховує шорсткість поверхні [5, с.37];

V_6 – коефіцієнт, що залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту, [5, с.37].

V_7 – коефіцієнт, який залежить від значення подачі, [5, с.37];

V_8 – коефіцієнт, що враховує стійкість ріжучої частини інструменту, [5, с.37].

$$V_{\text{розр}} = 40,23 \cdot 0,75 \cdot 1,12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 21,29 \text{ м/хв}$$

Підраховую швидкість обертання шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{розр}}}{\pi \cdot D} \quad (1.21)$$

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 21,29}{3,14 \cdot 9} = 753,36 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно паспорту верстата $n_{\text{пр}} = 800 \text{ хв}^{-1}$.

Підраховую фактичну швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi} = \frac{\pi \cdot D \cdot n_{\text{пр}}}{1000} \quad (1.22)$$

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 9 \cdot 800}{1000} = 22,61 \text{ хв}$$

Крутний момент $M_{\text{кр}}=32,7 \text{ Нм}$, [7, с.275].

Підраховую фактичну потужність електродвигуна за формулою (1.23):

$$N = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n_{\text{пр}}}{9750} \quad (1.23)$$

$$N = \frac{32,7 \cdot 800}{9750} = 2,68 \text{ кВт}$$

Порівнюю потужність головного руху, кВт за формулою (1.24):

$$N_{\phi} \leq N_{\text{гл}} \quad (1.24)$$

$$2,68 \leq 3,5$$

Підраховую машинний час за формулою (1.25):

$$t_0 = \frac{L_{\text{р.х.}}}{n \cdot S_o} \cdot i \quad (1.25)$$

де $L_{\text{р.х.}}$ – довжина робочого ходу інструменту, мм;

i – кількість проходів, яку робить інструмент в даній операції.

Порівнюю довжину робочого ходу інструменту за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х.}} = l_{\text{вр}} + l_{\text{різ}} + l_{\text{пер}} \quad (1.26)$$

де $l_{\text{різ}}$ – довжина ділянки різання, мм;

$l_{\text{вр}}$ – довжина врізання, $l_{\text{вр}}=1-3 \text{ мм}$;

$l_{\text{пер}}$ – довжина перебігу $l_{\text{пер}}=1-3$, мм.

$$L_{\text{р.х}} = 1 + 6 + 3 = 10 \text{ мм}$$

Підраховую машинний час за формулою (1.26):

$$t_o = \frac{10}{800 \cdot 0,2} \cdot 1 = 0,13 \text{ хв}$$

2-й перехід – фаска.

Обираю інструмент – зенковка 2353-0086 ГОСТ 14953-80

[6, таб.13, с.123], згідно вихідним даним.

Глибина різання $t=0,6$ мм.

Стійкість інструмента $T=25$ хв [6, таб.30, с.279].

Підраховую подачу за формулою (1.19):

$$S_o = 0,25 \cdot 1,2 \cdot 1,0 = 0,3 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата прийнято $S_o = 0,3$ мм/об.

Підраховую розрахункову швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 40,23 \cdot 0,75 \cdot 1,12 \cdot 0,87 \cdot 2,64 \cdot 0,7 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 = 48,9 \text{ м/хв}$$

Підраховую швидкість обертання шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 48,9}{3,14 \cdot 10} = 1557,32 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно паспорту верстата $n_{\text{пр}} = 1500 \text{ хв}^{-1}$.

Підраховую фактичну швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 800}{1000} = 47,1 \text{ хв}$$

Крутний момент $M_{кр}=20,2$ Нм, [7, с.275].

Підраховую фактичну потужність електродвигуна за формулою (1.23):

$$N = \frac{20,2 \cdot 1500}{9750} = 3,11 \text{ кВт}$$

Порівнюю потужність головного руху, кВт за формулою (1.24):

$$3,11 \leq 3,5$$

Порівнюю довжину робочого ходу інструменту за формулою (1.26):

$$L_{р.х} = 1 + 6 + 3 = 10 \text{ мм}$$

Підраховую машинний час за формулою (1.25):

$$t_o = \frac{10}{1500 \cdot 0,3} \cdot 1 = 0,04 \text{ хв}$$

$$t_{o\Sigma} = 0,13 + 0,04 = 0,17 \text{ хв}$$

Після розрахунків результати у таблиці 1.7.

Підраховую режими різання токарної операції 060 (рис. 1.8).

Обираю різець токарний розточний – з пластинами із твердого сплаву ВК8, ГОСТ 18882–73 [6, таб.13, с.123], згідно вихідним даним.

Підраховую глибину різання за формулою (1.27):

$$t = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{2} \quad (1.27)$$

де $d_{\max/\min}$ – діаметр деталі перед обробкою та після неї, відповідно.

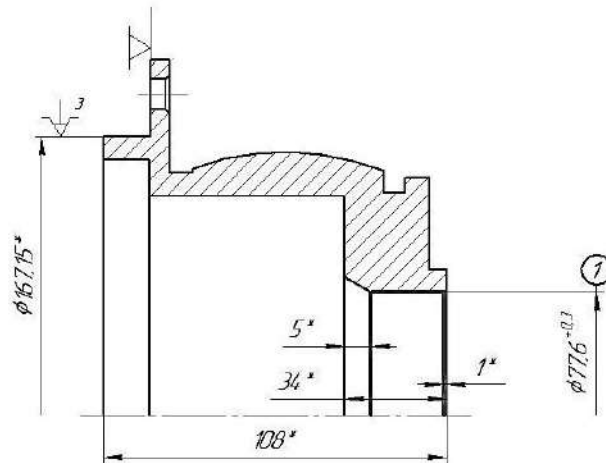
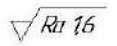


Рисунок 1.8 – Ескіз обробки деталі “цапфа” операції 060 токарну з ЧПУ.

Верстат CL-1640ZX CNC

Підраховую глибину різання за формулою (1.27):

$$t_1 = \frac{115,4 - 118,1}{2} = 1,35 \text{ мм}$$

Підраховую подачу за формулою (1.19):

$$S_0 = 0,22 \cdot 1,25 \cdot 0,95 = 0,26 \text{ мм/об}$$

За паспортом верстата прийнято $S_0 = 0,3 \text{ мм/об}$.

Підраховую розрахункову швидкість різання за формулою (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 96 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 0,6 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,57 \cdot 1,06 \cdot 0,93 = 28,16 \text{ м/хв}$$

Підраховую швидкість обертання шпинделя за формулою (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 28,16}{3,14 \cdot 118,1} = 75,94 \text{ хв}^{-1}$$

Згідно паспорту верстата $n_{\text{пр}} = 80 \text{ хв}^{-1}$.

Підраховую фактичну швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi} = \frac{3,14 \cdot 118,1 \cdot 80}{1000} = 29,67 \text{ хв}$$

Підраховую фактичну потужність електродвигуна за формулою (1.28):

$$N_{\phi} = N_{\text{таб}} \cdot K_{n1} \cdot K_{n2} \cdot K_{n3} \quad (1.28)$$

де $N_{\text{таб}}$ – табличне значення потужності, кВт [7, с.109];

K_{n1} – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, [7, с.126];

K_{n2} – коефіцієнт, що залежить від виду оброблюваної поверхні, [7, с.126];

K_{n3} – коефіцієнт, що залежить від матеріалу деталі, [7, с.126].

$$N_{\phi} = 1,15 \cdot 0,45 \cdot 1,32 \cdot 0,6 = 0,41 \text{ кВт}$$

Порівнюю потужність головного руху, кВт за формулою (1.24):

$$0,41 \leq 7,5$$

Підраховую довжину робочого ходу інструмента за формулою (1.26):

$$L_{p.x} = 1,5 + 28 + 3 = 32,5 \text{ мм}$$

Підраховую машинний час за формулою (1.25):

$$t_o = \frac{32,5}{80 \cdot 0,3} \cdot 1 = 1,35 \text{ хв}$$

Після розрахунків результати у таблиці 1.7.

Підраховую режими різання фрезерної операції 125 (рис.1.9).

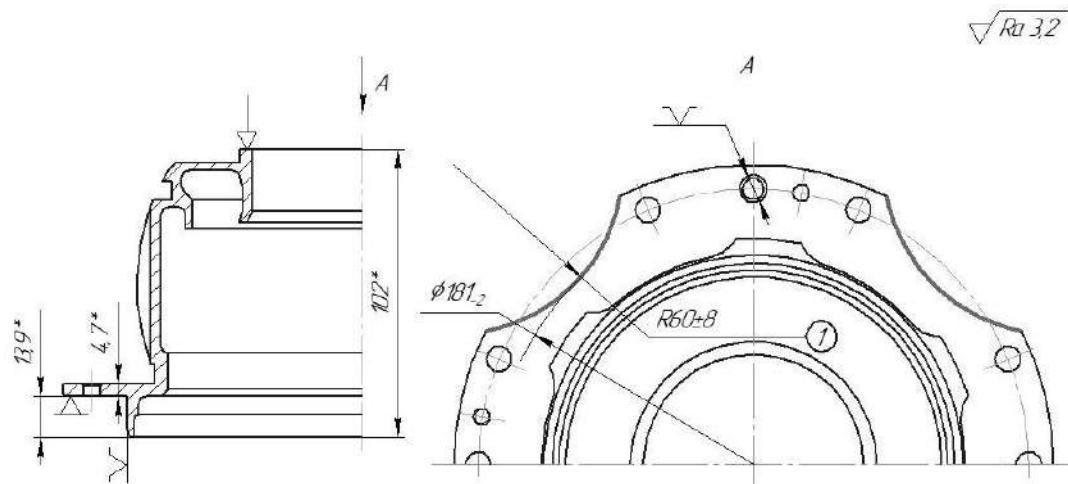


Рисунок 1.9 – Ескіз обробки деталі “цапфа” операції 125 фрезерної з ЧПУ.
Верстат JET JMD-45PF

Обираю торцеву фрезу з вставними ножами зі швидкоріжучої сталі Р6М5, D=100 мм, ГОСТ 1092–80 [6, таб.93, с.187], згідно вихідним даним.

Глибина різання $t=4,7$ мм.

Підраховую подачу в мм/зуб за формулою (1.29):

$$S_z = S_T \cdot K_{S_z D} \cdot K_{S_z t} \cdot K_{S_z \Pi} \cdot K_{S_z o} \cdot K_{S_z \text{III}} \cdot K_{S_z i} \quad (1.29)$$

де S_{zT} – табличне значення подачі, мм/зуб [5, с.41];

$K_{S_z D}$ – коефіцієнт, що залежить від діаметру фрези, [5, с.41];

$K_{S_z t}$ – коефіцієнт, що залежить від глибини різання, [5, с.41];

$K_{S_z \Pi}$ – коефіцієнт, що залежить від виду оброблюваної поверхні, [5, с.41];

$K_{S_z o}$ – коефіцієнт, який враховує наявність охолодження, [5, с.41];

$K_{S_z \text{III}}$ – коефіцієнт, який враховує шорсткість поверхні, [5, с.41];

$K_{S_z i}$ – коефіцієнт, який залежить від матеріалу ріжучої частини інструменту, [5, с.41].

$$S_z = 0,14 \cdot 1,14 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 0,5 \cdot 1 = 0,103 \text{ мм/зуб}$$

Згідно паспорту верстата $S_z=0,1$ мм/зуб.

Підраховую розрахункову швидкість різання (1.20):

$$V_{\text{розр}} = 36,4 \cdot 1 \cdot 0,87 \cdot 1,1 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 0,62 \cdot 1 = 27 \text{ м/хв}$$

Підраховую швидкість обертів шпинделя (1.21):

$$n_{\text{розр}} = \frac{1000 \cdot 27}{3,14 \cdot 100} = 85,97 \text{ хв}^{-1}$$

За паспортом верстата прийнято $n_{\text{пр}} = 100 \text{ хв}^{-1}$.

Підраховую фактичну швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\text{ф}} = \frac{3,14 \cdot 100 \cdot 100}{1000} = 31,4 \text{ м/хв}$$

Підраховую хвилинну подачу за формулою (1.30):

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n_{\text{пр}} \quad (1.30)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,1 \cdot 10 \cdot 100 = 100 \text{ мм/хв}$$

Підраховую фактичну потужність електродвигуна за формулою (1.28):

$$N_{\text{ф}} = 2,1 \cdot 1,12 \cdot 0,9 \cdot 0,8 = 1,69 \text{ кВт}$$

Порівнюю потужність головного руху, кВт за формулою (1.24):

$$1,69 \leq 2,1$$

Підраховую довжину робочого ходу інструмента за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х}} = 2 + 70 + 1,5 = 73,5 \text{ мм}$$

Підраховую машинний час за формулою (1.25):

$$t_0 = \frac{73,5}{100} \cdot 4 = 2,94 \text{ хв}$$

Після розрахунків результати у таблиці 1.7.

Підраховую режими різання шліфувальної операції 135 (рис.1.10).

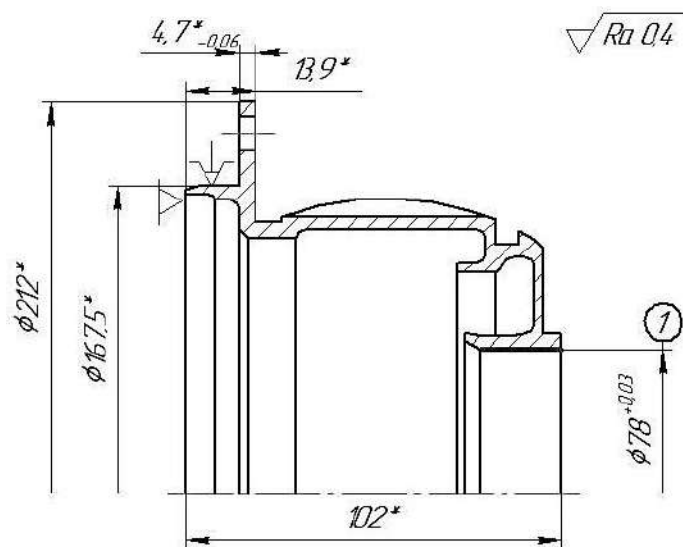


Рисунок 1.10 – Ескіз обробки деталі “цапфа” операції 135 шліфувальної з ЧПУ. Верстат 3К227В

Обираю шліфувальний круг 1 63×20×32 4А 10-П СМ2 7 К1 А 30 ГОСТ 2424-83 [6, таб.170 с.253] згідно вихідним даним.

Підраховую глибину різання за формулою (1.27):

$$t_1 = \frac{78-77,8}{2} = 0,2 \text{ мм}$$

Згідно паспорту верстата $S_o = 0,02 \text{ мм/хв}$ [6, таб.55 с.301].

Параметри різання, а саме n –швидкості обертання для шліфувального круга та деталі обираю $V_{кр} = 30 \text{ м/с}$, $V_{дет} = 35 \text{ м/хв}$ [6, таб.55 с.301].

Підраховую швидкість обертів деталі (1.31):

$$n_{\text{дет}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{дет}}}{\pi \cdot D} \quad (1.31)$$

$$n_{\text{дет}} = \frac{1000 \cdot 38}{3,14 \cdot 78} = 142,9 \text{ хв}^{-1}$$

Підраховую швидкість обертів деталі шліфувального круга (1.32):

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot V_{\text{кр}} \cdot 60}{\pi \cdot D_{\text{кр}}} \quad (1.32)$$

$$n_{\text{кр}} = \frac{1000 \cdot 30 \cdot 60}{3,14 \cdot 63} = 9099,18 \text{ хв}^{-1}$$

За паспортом верстата прийнято $n_{\text{дет пр}} = 150 \text{ хв}^{-1}$, $n_{\text{кр пр}} = 9000 \text{ хв}^{-1}$.

Підраховую фактичну швидкість різання за формулою (1.22):

$$V_{\phi_{\text{дет}}} = \frac{3,14 \cdot 78 \cdot 60}{1000} = 36,64 \text{ м/хв}$$

$$V_{\phi_{\text{кр}}} = \frac{3,14 \cdot 63 \cdot 9000}{1000 \cdot 60} = 29,67 \text{ м/с}$$

Підраховую довжину робочого ходу інструмента за формулою (1.26):

$$L_{\text{р.х}} = 2 + 22 + 2 = 26 \text{ мм}$$

Підраховую машинний час за формулою (1.25):

$$t_0 = \frac{26}{0,02 \cdot 12000} \cdot 10 = 1,08 \text{ хв}$$

Після розрахунків результати – у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Результати визначення режимів різання на різні операції

№ оп	Найменування переходів	Зміст переходів	Обладнання	t, мм	Режими різання			t _{о/оа} , хв
					n, $\frac{\text{кр/дет}}{\text{хв}^{-1}}$	S _{о/хв} , мм/об	V, $\frac{\text{кр/дет}}{\text{м/хв}}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
035	Свердлильна	Свердлити отв.ø9	Вертикально-свердлильний 2P135Ф2	4,5	800	0,2	22,61	0,13
		Зенкувати отв.ø9		0,6	1500	0,3	47,1	0,04
t _о								0,17
060	Токарна	Обробити пов. 1	Токарний з ЧПУ CL–1640ZX CNC	1,35	80	0,3	29,67	1,35
t _о								1,35
125	Фрезерна	Фрезерувати пов.1	Фрезерно-свердлильний JET JMD–45PF	4,7	100	100	31,4	2,94
t _о								2,94
1355	Шліфувальна	Шліфувати поверхню 1	Внутрішньо-шліфувальний 3K227B	0,2	9000/150	0,02	29,67/36,64	1,08
t _о								1,08

1.7 Технічне нормування операцій

Операція свердлильна 035

Підраховую допоміжний час за формулою (1.33):

$$t_{\text{доп}} = t_y + t_{\text{зн}} + t_{\text{упр}} + t_{\text{б.п}} + t_{\text{б.в}} + t_{\text{зм}} + t_{\text{щ}} + t_{\text{кор}} + t_{\text{контр}} \quad (1.33)$$

де $t_{\text{уст/сн}}$ – час на встановлення , зняття, вивірку, закріплення, розкріплення та зняття деталі, хв [7, с.139];

$t_{\text{упр}}$ – час керування верстатом, розраховується за формулою, хв (1.36);

$t_{\text{б.п/б.о}}$ – час на швидкий підвід та відвід інструменту, хв [7, с.150];

$t_{\text{зм}}$ – час необхідний для зміни інструменту, повороту револьверної

голівки, зміни позицій шпинделя, зміни копіїв, хв [7, с.156];

$t_{щ}$ – відкриття та закриття щитка безпеки, хв;

$t_{кор}$ – час на розрахунок корекції верстатів з ЧПУ, хв [7, с.162];

$t_{контр}$ – час необхідний для вимірювань та контролю основних параметрів деталі, хв [7, с.163].

$$t_{упр} = t_{вкл} + t_{викл} + t_{перекл} \quad (1.34)$$

де $t_{вкл/викл}$ – час на включення та виключення верстату, хв [7, таб.5.8 с.202];

$t_{перекл}$ – час необхідний для переключення режимів верстату, хв
[7, таб.5.9 с.203].

$$t_{упр} = 0,01 + 0,01 + 0,08 = 0,1 \text{ хв}$$

Підраховую допоміжний час за формулою (1.33):

$$t_{доп} = 0,1 + 0,08 + 0,01 + 0,01 + 0,086 + 0,06 + 0,12 + 0,24 = 0,706 \text{ хв}$$

Підраховую оперативний час за формулою (1.35):

$$t_{оп} = t_o + t_{доп} \quad (1.35)$$

$$t_{оп} = 0,17 + 0,706 = 0,876 \text{ хв}$$

Підраховую прибавочний час за формулою (1.36):

$$t_{пр} = \alpha_{\Sigma} \cdot t_{оп} \quad (1.36)$$

де α_{Σ} – нормативи часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та природні потреби, хв [7, таб.6.1 с.137].

$$t_{пр} = 5\% \cdot 0,876 = 0,044 \text{ хв}$$

Підраховую штучний час за формулою (1.37):

$$t_{шт} = t_{оп} + t_{пр} \quad (1.37)$$

$$t_{шт} = 0,876 + 0,044 = 0,92 \text{ хв}$$

Підраховую підготовче-заключний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.38), (1.39):

$$t_{пз} = t_{пз1} + t_{пз2} + t_{пз3} \quad (1.38)$$

$$t_{шт-к} = t_{шт} + t_{пз} / n \quad (1.39)$$

де $t_{пз1}$, $t_{пз2}$, $t_{пз3}$, хв [7, табл.6.4, с.136];

$$t_{пз} = 9 + 1 + 5 = 15 \text{ хв}$$

$$t_{шт-к} = 0,92 + 15/100 = 1,07 \text{ хв}$$

Операція токарна 060

Підраховую допоміжний час за формулою (1.33):

$$t_{доп} = 0,045 + 0,1 + 0,04 + 0,08 + 0,08 + 0,06 + 0,11 + 0,18 = 0,695 \text{ хв}$$

Підраховую час керування верстатом, за формулою (1.34):

$$t_{упр} = 0,01 + 0,01 + 0,025 = 0,045 \text{ хв}$$

Підраховую оперативний час за формулою (1.35):

$$t_{оп} = 1,35 + 0,695 = 2,05 \text{ хв}$$

Підраховую прибавочний час за формулою (1.36):

$$t_{пр} = 4\% \cdot 2,05 = 0,082 \text{ хв}$$

Підраховую штучний час за формулою (1.37):

$$t_{шт} = 2,05 + 0,082 = 2,132 \text{ хв}$$

Підраховую підготовче-заключний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.38), (1.39):

$$t_{пз} = 8 + 1,2 + 10 = 19,2 \text{ хв}$$

$$t_{шт-к} = 2,132 + 19,2/100 = 2,324 \text{ хв}$$

Операція фрезерна 125

Підраховую допоміжний час за формулою (1.33):

$$t_{доп} = 0,09 + 0,18 + 0,1 + 0,04 + 0,18 + 0,18 + 0,08 + 0,19 = 1,04 \text{ хв}$$

Підраховую час керування верстатом, за формулою (1.34):

$$t_{упр} = 0,01 + 0,01 + 0,07 = 0,09 \text{ хв}$$

Підраховую оперативний час за формулою (1.35):

$$t_{оп} = 2,94 + 1,04 = 3,98 \text{ хв}$$

Підраховую прибавочний час за формулою (1.36):

$$t_{пп} = 7\% \cdot 3,98 = 0,279 \text{ хв}$$

Підраховую штучний час за формулою (1.37):

$$t_{шт} = 3,98 + 0,279 = 4,26 \text{ хв}$$

Підраховую підготовче-заключний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.38), (1.39):

$$t_{пз} = 16 + 2 + 7 = 25 \text{ хв}$$

$$t_{шт-к} = 4,26 + 25/100 = 4,51 \text{ хв}$$

Операція шліфувальна 135

Підраховую допоміжний час за формулою (1.33):

$$t_{доп} = 0,12 + 0,12 + 0,04 + 0,1 + 0,06 + 0,14 + 0,01 + 0,12 = 0,71 \text{ хв}$$

Підраховую час керування верстатом, за формулою (1.34):

$$t_{упр} = 0,01 + 0,01 + 0,1 = 0,12 \text{ хв}$$

Підраховую оперативний час за формулою (1.35):

$$t_{оп} = 1,08 + 0,71 = 1,79 \text{ хв}$$

Підраховую прибавочний час за формулою (1.36):

$$t_{пп} = 7\% \cdot 1,79 = 0,125 \text{ хв}$$

Підраховую штучний час за формулою (1.37):

$$t_{шт} = 1,79 + 0,125 = 1,915 \text{ хв}$$

Підраховую підготовче-заклучний та штучно-калькуляційний час за формулами (1.38), (1.39):

$$t_{пз} = 6+2+6 = 14 \text{ хв}$$

$$t_{шт-к} = 1,915+14/100 = 2,055 \text{ хв}$$

Після розрахунків результати у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Нормативи часу на певні види операцій

№ оп.	Найменування операції	T _{шт} , хв.	T _{п.з.} , хв.	Величина партії, n _{опт} , шт.	T _{шт.к.} , хв.
035	Свердлильна	0,92	15	100	1,07
060	Токарна	2,132	19,2		2,324
125	Фрезерна	4,26	25		4,51
135	Шліфувальна	1,915	14		2,055

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПУ

Програмне забезпечення Siemens NX має багато можливостей при проєктуванні операцій.

При п'ятикоординатній обробці передбачена можливість завдання осі інструменту з використанням параметрів поверхні, додаткової геометрії, а також геометрії, яка задає траєкторію різання. Забезпечується висока якість обробки поверхні деталі.

Величезну економію часу при попередній або остаточній обробці виробу гарантує спеціальна функція, яка аналізує всю геометрію деталі і знаходить точки подвійного контакту. Інакше кажучи, визначає кутові сполучення поверхонь. Процесор автоматично генерує одноразові або багаторазові проходи інструменту для видалення матеріалу в цих областях.

1.8.1 Розробка токарної операції 015

Розташування і траєкторія різця показані на рис. 1.13-1.15.

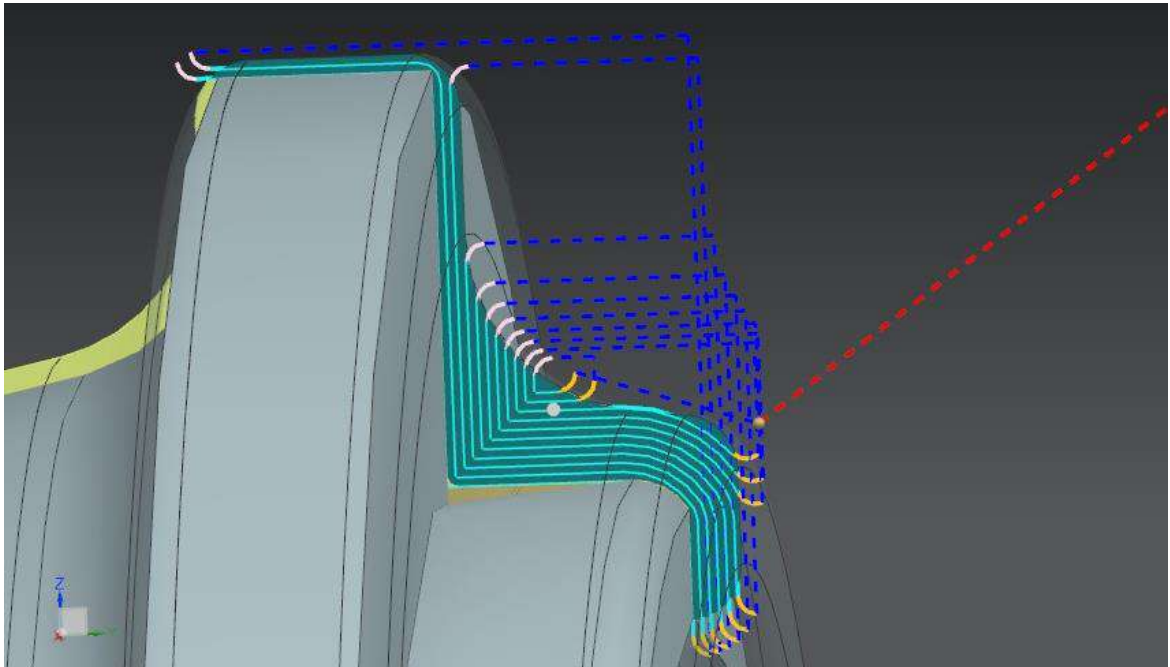


Рисунок 1.13 – Різцева траєкторія руху на операції 015

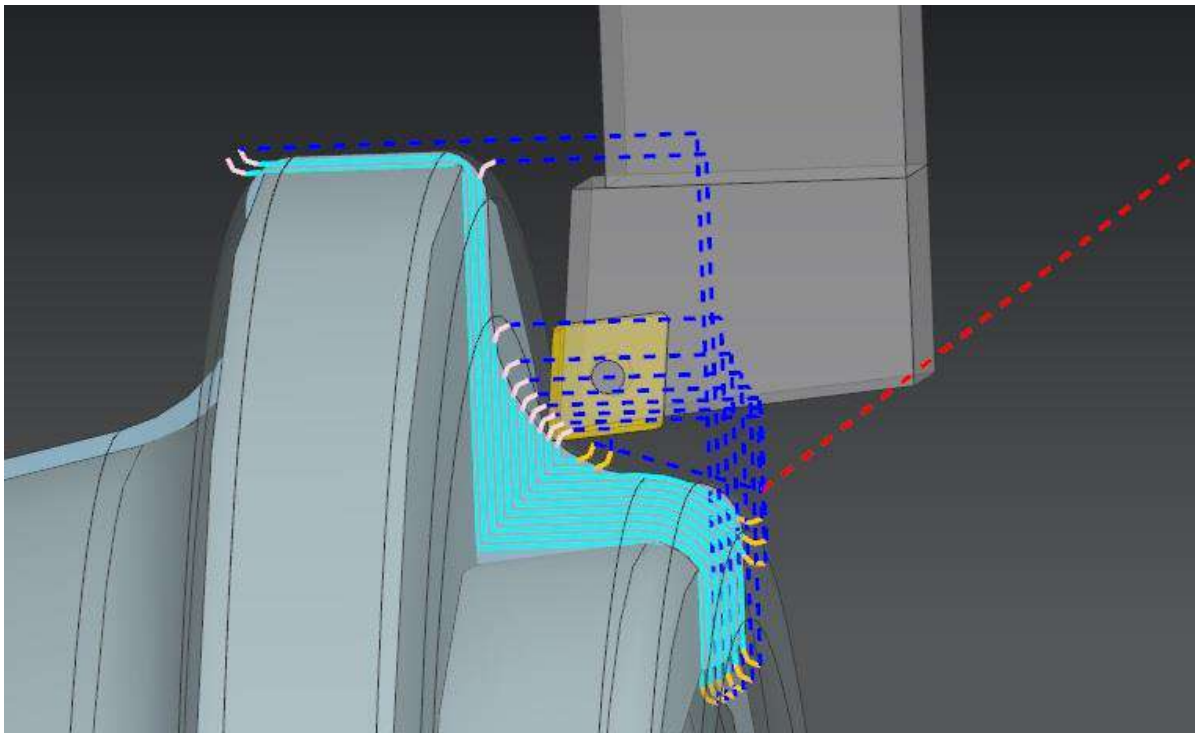


Рисунок 1.14 – Різець з траєкторією руху на операції 015

N12 T00 M6	N30 G2 X182.004 Z100.8 R1.
N14 G54	N32 G0 Z103.072
N16 G18 G0 G90 Z112. S0	N34 X179.3
N18 X174.	N36 G2 X177.3 Z102.072 R1.
N20 G97 S0 M3	N38 G1 Z99.3
N22 X180.3 Z102.055	N40 X180.865
N24 G95 G2 X178.3 Z101.055 R1. F.7	N42 G2 X182.865 Z100.3 R1.
N26 G1 Z99.8	N44 G0 Z111.914
N28 X180.004	

Рисунок 1.15 – Фрагмент від програми обробки операції 015

1.8.2 Розробка свердлильної операції 035

Розташування і траєкторія свердла показані на рис. 1.16-1.18.

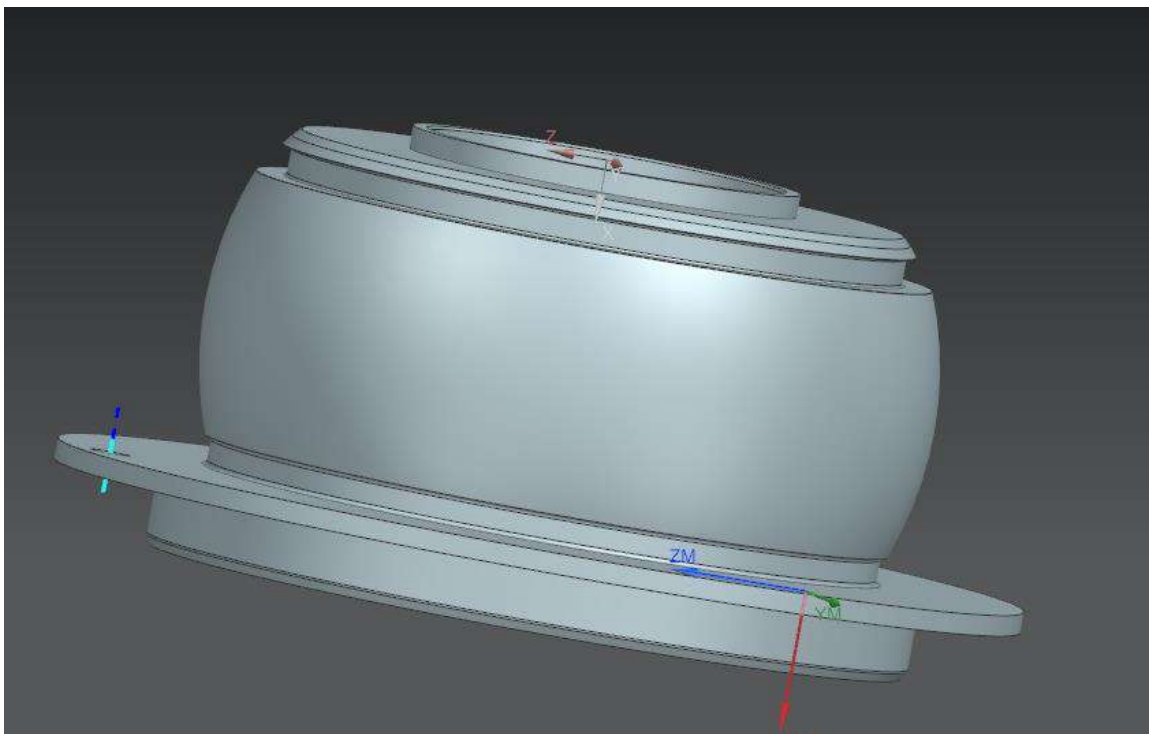


Рисунок 1.16 – Деталь «цапфа» з траєкторією руху свердла операції 035

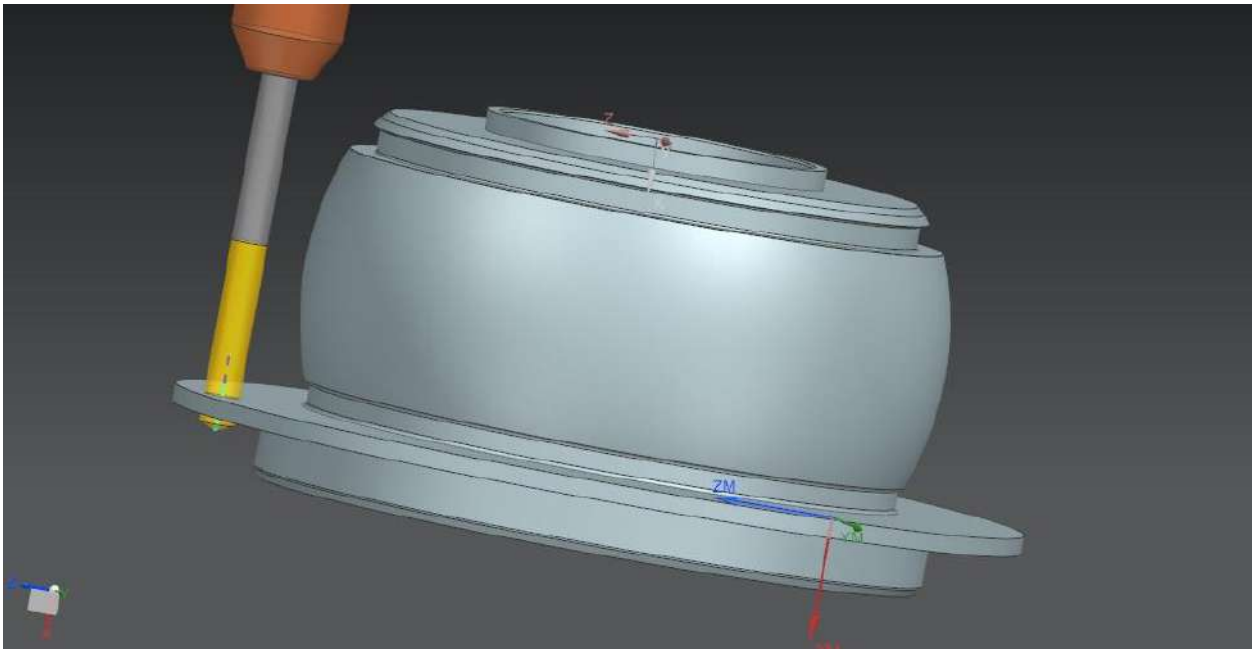


Рисунок 1.17 – Деталь «цапфа» з свердлом в процесі обробки операції 035

N10 G17 G21 G94 G90

N12 T00 M6

N14 G53

N16 G19 G0 G90 Y-90.208 Z134.497 S0 M3

N18 G43 X-10. H1

N20 G94 G81 G98 X8.638 F250. R-3.

N22 G80

N24 M5

N26 M2

Рисунок 1.18 – Програма обробки операції 035

1.8.3 Розробка фрезерної операції 135

Розташування і траєкторія фрези показані на рис. 1.19-1.21.

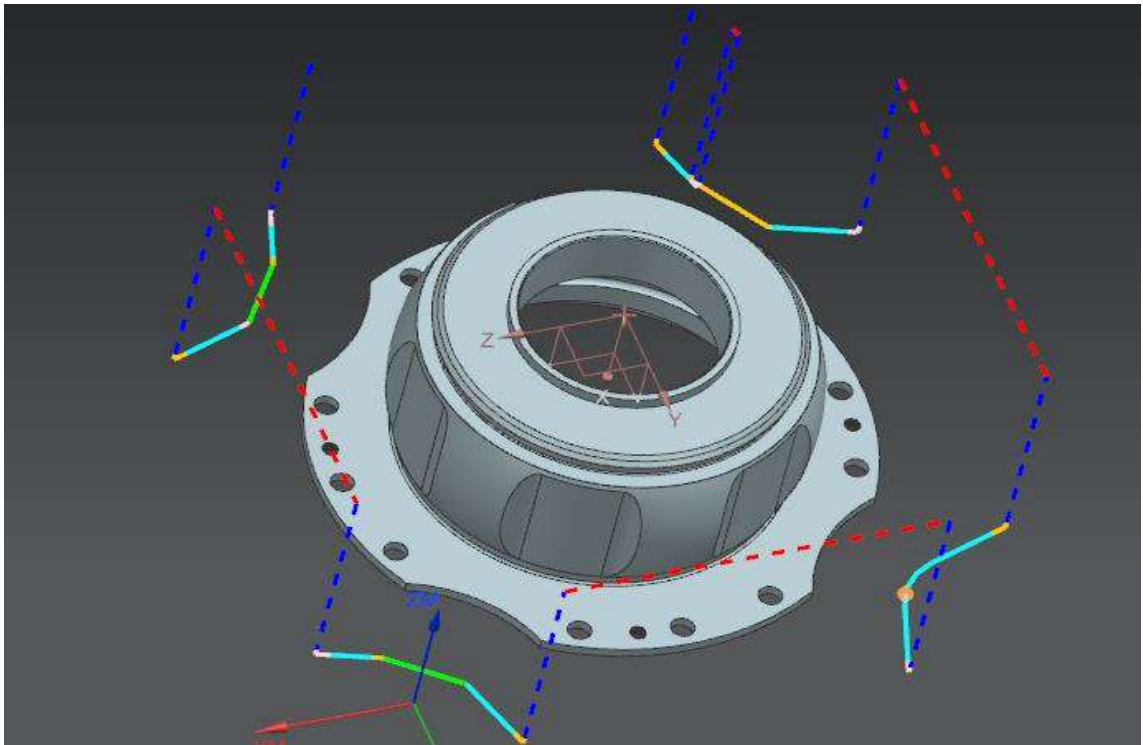


Рисунок 1.19 – Деталь «цапфа» з траєкторією руху фрези операції 135

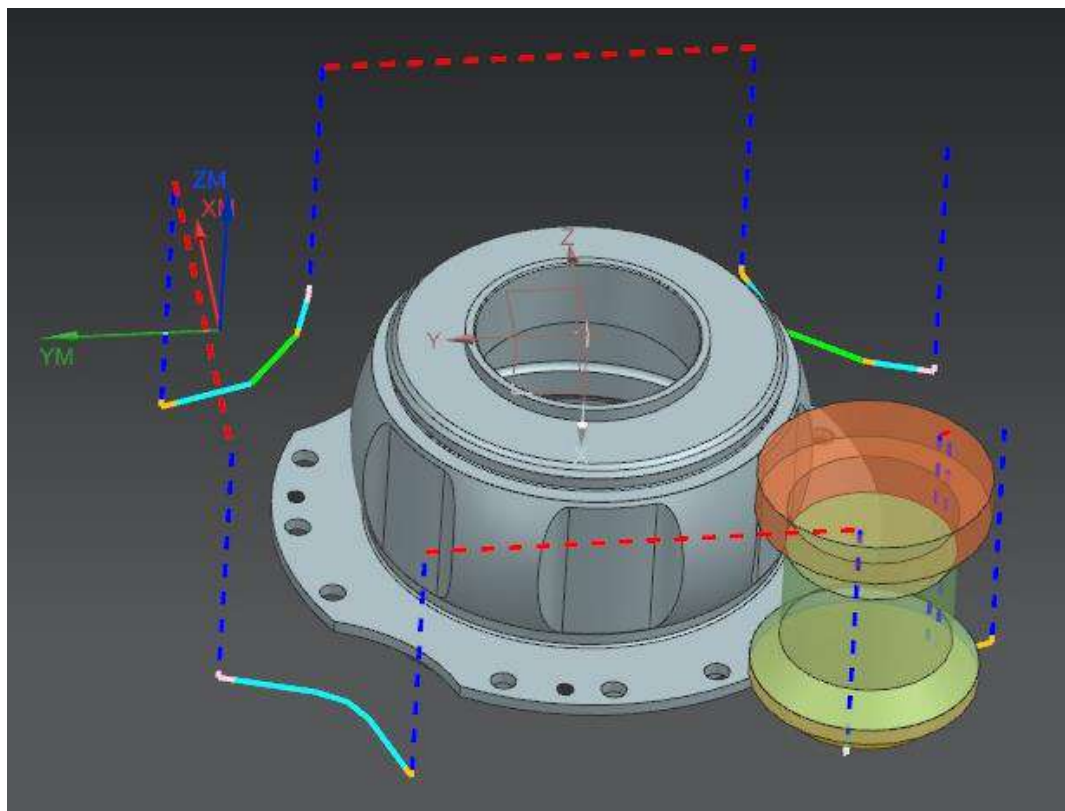


Рисунок 1.20 – Деталь «цапфа» з фрезою в процесі обробки операції 135

N10 G17 G21 G94 G90	N34 X-193.303 Y-221.358
N12 T00 M6	
N14 G54	N90 Z-1.5
N16 G17 G0 G90 X-185.635 Y-245.177	N92 G0 Z95.
S1061 M3	N94 X-34.627 Y24.915
N18 G43 Z95. H0	N96 Z-1.5
N20 Z-1.5	N98 G1 Z-4.5
N22 G94 G1 Z-4.5 F250.	N100 G41 X-34.491 Y23.925
N24 G41 X-185.771 Y-244.186	N102 X-33.056 Y19.47
N26 X-187.205 Y-239.731	N104 X-28.346 Y4.836
N28 X-191.916 Y-225.097	N106 X-24.273 Y-7.814
N30 X-192.835 Y-222.242	N108 X1.096 Y-26.959
N32 G40	N110 X1.98 Y-27.426

Рисунок 1.21 – Фрагмент від програми обробки операції 135

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристрою

Створення будь-якого виду верстатних пристосувань, що відповідають вимогам виробництва, неминуче пов'язані із застосуванням кваліфікованої праці. Останнім часом в області проектування, верстатних пристосувань досягнуто значних успіхів. Розроблено методики розрахунку точності обробки деталей в верстатних пристосуваннях, створені прецизійні патрони і оправки, поліпшені затискні механізми та удосконалено методику їх розрахунку, розроблені різні приводи з елементами, що підвищують їх експлуатаційну надійність.

2.1.1 Конструкція і принцип роботи пристосування

Робоче (токарне) пристосування (рис.2.1) назначене для закріплення деталей при точінні та для запобігання повороту від дії сил крутного моменту. Схема закріплення деталі в токарному пристосуванні з ескізом показано (рис.2.2).

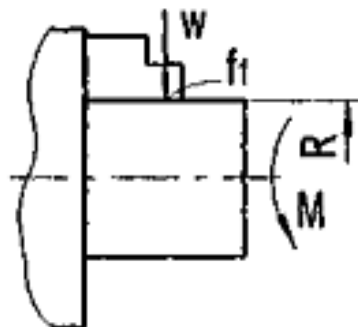


Рисунок 2.2 – Схема закріплення деталі в токарному пристосуванні та сили, що діють на деталь[8]

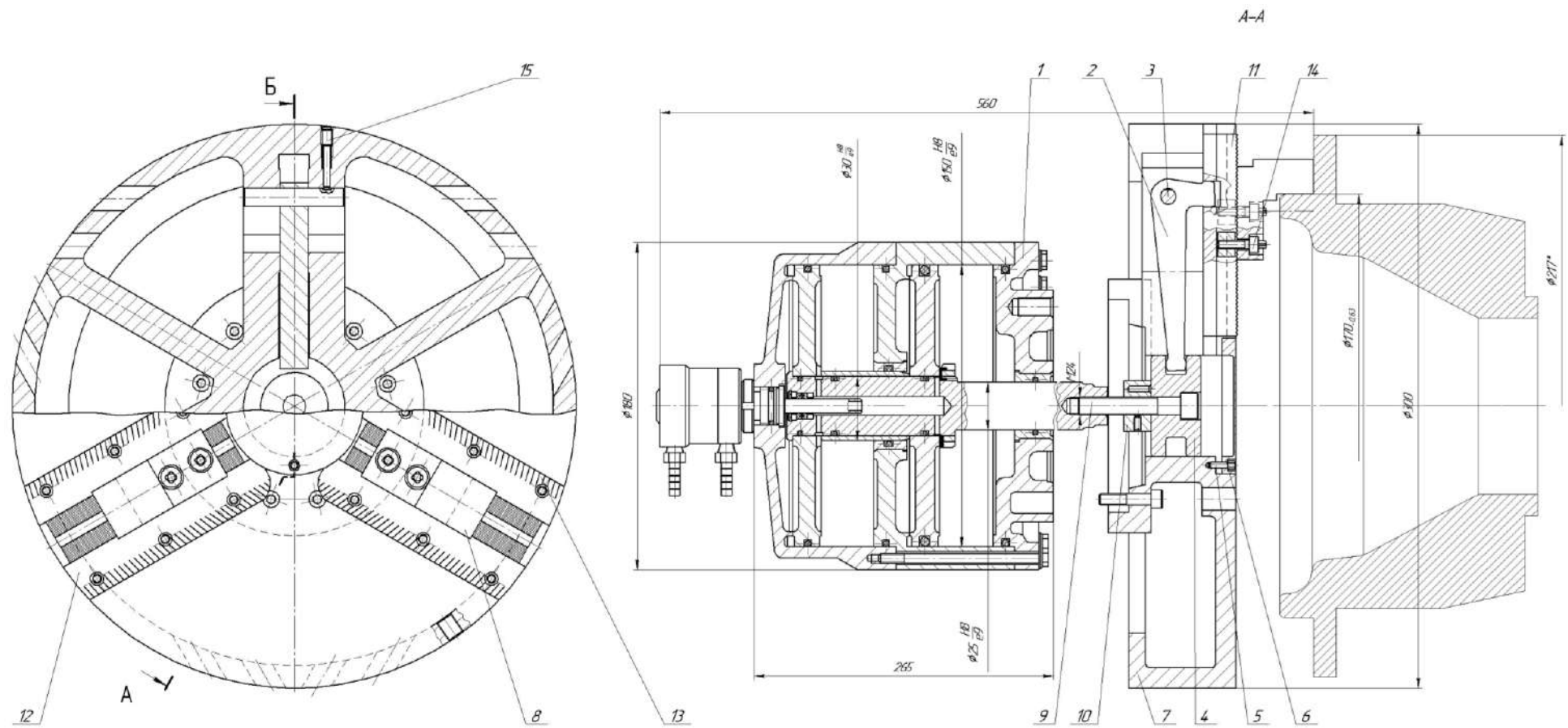


Рисунок 2.1 – Робоче пристосування

Пневмоциліндр в пристосуванні – подвійний з двома порожнинами і двома поршнями, що обертається (перевага його – це в 2 рази більше зусилля та вище швидкодія).

Пристосування на верстаті кріпиться через планшайбу болтами. Пневмоциліндр в даному пристосуванні двосторонньої дії, що забезпечує плавність затиску деталі та захищає її від пошкодження. Пристосування складається з нескладних за конфігурацією елементів, що спрощує його ремонт. Та встановлюється у передній бабці верстата.

Токарне пристосування використовується для напівчистої обробки. Конструкція пристосування дозволяє використовувати його при обробці різних деталей за рахунок змінних кулачків. Деталь встановлюється за діаметром $\varnothing 170$ в кулачках. Проводиться обробка діаметральних розмірів $\varnothing 217$, $\varnothing 168$, $\varnothing 150$, $\varnothing 88$, $\varnothing 72$ та лінійних розмірів 39,5, 6, 32 на токарній операції №20 на токарному верстаті з ЧПУ CL-1640ZX CNC.

Закріплення деталі виконується переміщенням кулачків, рух яким повідомляється від пневмоциліндра через систему важелів. Закріплення здійснюється в радіальному напрямку. При надходженні стиснутого повітря в праві порожнини (щодо поршнів) пневмоциліндра, шток переміщається вліво. Тягне за собою втулку, в пазу якої встановлено довге плече важеля. Важіль повертається за годинниковою стрілкою навколо осі. Коротке плече важіля переміщається донизу, тягне кулачок до осі деталі. Три кулачка, що сходяться в напрямку осі, затискають деталь.

Розкріплення здійснюється навпаки: повітря - в ліві порожнини, шток - вправо. Важіль - проти годинникової стрілки, кулачки - від осі.

2.1.2 Розрахунок пристосування на точність

Підраховую похибку установки заготовки в пристосуванні за формулою (2.1):

$$\epsilon_y = \epsilon_6 + \epsilon_z \quad (2.1)$$

де ϵ_y – різниця граничних відхилень вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту, яка виникає в процесі базування та закріплення заготовки, мм;

ϵ_6 – частина похибки установки, яка виникає в результаті розбіжності вимірювальної та настроєчної баз, мм;

ϵ_z – частина похибки установки, яка виникає в результаті відхилення вимірювальної бази відносно встановленого на розмір ріжучого інструменту під дією прикладених сил закріплення, мм.

Підраховую похибку базування на діаметральні розміри обробки

$$\epsilon_6 = 0,25T_{\text{дзаг}} = 0,25 \cdot 0,26 = 0,065 \text{ мм.}$$

У зв'язку з коливаннями сил закріплення, неоднорідністю матеріалу заготовки, висоти мікронерівностей на базовій поверхні та з інших причин неминучі коливання величини усадки. З цього слідує, що треба враховувати величину похибки закріплення при визначенні похибки установки заготовки.

$$\epsilon_{z \text{ табл}} = 0,08 \text{ мм [8, таб. 4.4, с.47].}$$

$$\epsilon_y = 0,065 + 0,08 = 0,145 \text{ мм}$$

2.1.3 Визначення необхідної сили затиску

Підраховують дійсну силу затискання (2.2):

$$W = \frac{kM}{3f_1 R} \quad (2.2)$$

де W – сила затиску, МПа;
 k – коефіцієнт запасу закріплення;
 M – момент різання
 f_1 – коефіцієнт тертя з установчими елементами;
 R – радіус деталі в місці затиску.

Підраховують момент різання (2.3):

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

де P – головна складова сила, за якою визначається момент різання, прирівнюється $P(1,10 \dots 1,15)P_z$, Н.

Підраховують окружну силу різання (2.4):

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t \cdot S \cdot 0,75 \cdot K_p \quad (2.4)$$

де C_p, K_p – коефіцієнти, [8, таб.6,5, 6,6, с.114].

$$P_z = 10 \cdot 200 \cdot 2 \cdot 0,04 \cdot 0,75 \cdot 1 = 120 \text{ Н}$$

$$P = 1,1 \cdot 120 = 138 \text{ Н}$$

$$M_{\text{рез}} = 138 \frac{0,168}{2} = 11,61 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Підраховують коефіцієнт запасу кріплення (2.5):

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (2.5)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу [8, с.100];

k_1 – враховує зміну сил різання в процесі обробки через нерівномірність припуску на заготовці [8, с.100];

k_2 – враховується у всіх випадках обробки та залежить від виду обробки, матеріалу, який обробляється та нерівномірного зносу ріжучого інструменту [8, таб. 6.1 с.101];

k_3 – враховує умови переривчастого виду обробки [8, с.100];

k_4 – характеризує затискний пристрій з точки зору постійності сил затиску [8, с.100];

k_5 – характеризує ручні затиски з точки зору зручності закріплення деталі [8, с.100];

k_6 – враховується у тому випадку, коли розрахунок сил затиску робиться з урахуванням моментів сил різання та залежить від виду опорної поверхні пристосування [8, с.100].

$$k = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,34$$

Підраховую дійсну силу затискання (2.2):

$$W = \frac{1,8 \cdot 11,61}{3 \cdot 0,2 \cdot 0,084} = 414 \text{ Н}$$

Визначаю діаметр пневмоциліндру (2.6):

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot p \cdot \eta}} \quad (2.6)$$

де Q – сила затиску, Н;

p – тиск у пневмоциліндрі, МПа;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 414}{3,14 \cdot 0,3 \cdot 0,85}} = 45,48 \text{ мм}$$

Хоч найближчим до розрахованого діаметру з ряду стандартних є $d=50$ мм, та прийнятим є $d=150$ мм. Саме пневмоциліндр з даним діаметром забезпечує обробку деталі «цапфа» на 020 операції. Саме пневмоциліндр з $d=150$ мм відповідно ГОСТу 15608-81 є вбудованим у токарний верстат з ЧПУ CL-1640ZX CNC.

2.2 Проєктування контрольного пристосування

Контрольне пристосування застосовується для контролю радіального биття внутрішньої циліндричної поверхні «Цапфи» (рис. 2.3).

Деталь встановлюється за трьома установочними пальцями. Для зручності виконання процесу вимірювання підставку пристосування розташовано під ухилом на ніжках.

Контроль заданих параметрів виконується за допомогою індикаторного годинника, який підводиться в зону вимірювання за допомогою системи важеля.

Базування здійснюється за допомогою пальців, контроль заданих параметрів виконується за допомогою індикатора та важеля.

Підраховую фактичну похибку виміру даного контрольного пристосування для радіального биття за формулою (2.7):

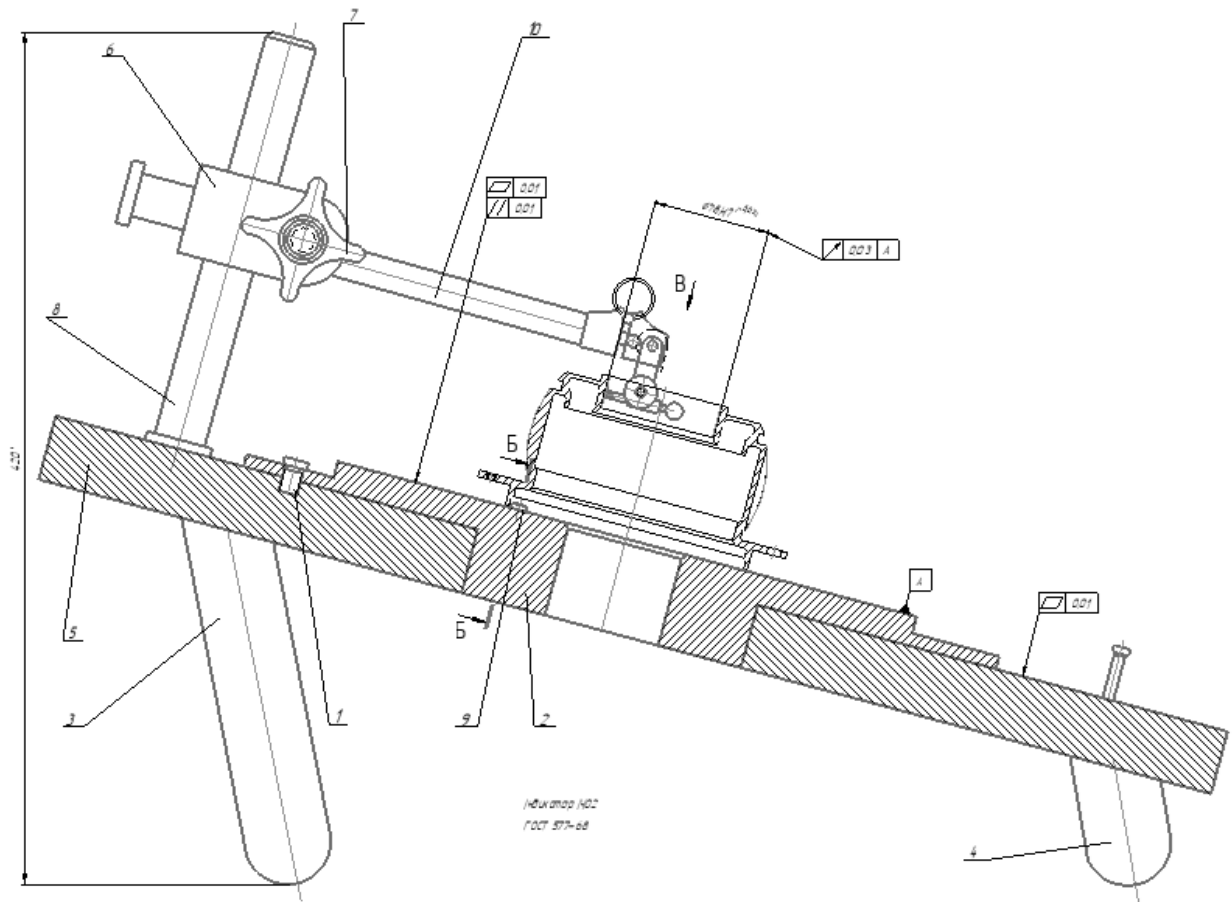


Рисунок 2.3 – Універсальне пристосування для контролю радіального биття

$$\epsilon_{\text{вим}} = \epsilon_{\text{ну}} + \epsilon_{\text{ип}} + \epsilon_{\text{им}} + \sqrt{(\epsilon_{\text{но}}^2 + \epsilon_3^2 + \epsilon_{\text{ис}}^2 + \epsilon_{\text{зп}}^2 + \epsilon_{\text{см}}^2 + \epsilon_{\text{иш}}^2)} \quad (2.7)$$

де $\epsilon_{\text{ну}}$ – системна похибка, виникає внаслідок неточного складання кріпильних

елементів на корпусі контрольно-вимірювальний пристрій (КВП);

$\epsilon_{\text{ип}}$ – системна похибка, створена внаслідок неточного виготовлення передавальних елементів;

$\epsilon_{\text{им}}$ – системна похибка, створена внаслідок неточного виготовлення еталонів та встановлюваних елементів;

$\epsilon_{\text{но}}$ – похибка, створена внаслідок неспівпадання технологічної та вимірювальної баз;

ϵ_3 – похибка, створена внаслідок кріплення деталі, що вимірюється через її можливу деформацію;

$\varepsilon_{ис}$ – похибка, що утворюється внаслідок зсунення виміральної бази від первинного положення під час вимірювання та яка залежить від виміральної сили;

$\varepsilon_{зп}$ – похибка, створена через виникнення зазорів між осями важелів і передавальних пристроїв, якщо такі присутні;

$\varepsilon_{см}$ – похибка використовуваної ціни вимірів;

$\varepsilon_{інш}$ – інші похибки, викликані дією випадкових чинників в процесі контролю.

Для визначення сумарної похибки виміру, у розрахункову формулу не включаються деякі із її складових через суміщення баз, відсутність зміщення деталі від заданого положення, відсутність передавальних та затискних елементів та ін.

Отже підраховую сумарної похибки виміру за остаточною формулою (2.8):

$$\varepsilon_{вим} = \sqrt{(\varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{см}^2 + \varepsilon_{інш}^2)} \quad (2.8)$$

Засобом виміру у контрольному пристосуванні є індикатор годинникового типу ИЧ-02, ціна поділки якого 0,005 мм з діапазоном вимірювання 0-1 мм, похибкою на засіб вимірювання є $\varepsilon_{си}=0,003$ мм.

Підрахунок інших похибок, це частина допуску параметра, що контролюється:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{інш} &= 0,02 \cdot 0,03 = 0,0006 \text{ мм;} \\ \varepsilon_{вим} &= \sqrt{(0,003^2 + 0,0006^2)} = 0,003 \text{ мм} \end{aligned}$$

Перевірка стану придатності цього пристосування, лежить у порівнянні отриманого значення фактичної похибки вимірювання з припустимим значенням.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{\text{вим}} &\leq [\varepsilon_{\text{вим}}] \\ 0,003 &\leq 0,005\end{aligned}$$

Умова задовольняється. Звідси стає відомо, що КВП з точністю задовольняє вимозі точності вимірювального пристрою, що дає змогу використовувати його для виконання контрольної операції.

3 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ. ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ДЕТАЛІ

Було представлено модель деталі «цапфа» (рис. 3.1) та розбито сіткою кінцевих елементів (free) (рис. 3.2). Була деталь зафіксована за двома поверхнями $\varnothing 78H7^{(+0,03)}$ та $\varnothing 138$ (рис. 3.3). Навантаження деталь сприймає на фланець з меншої сторони, на всю його поверхню (рис. 3.4). Матеріалом деталі є сталь 38Х2МЮА–Ш. Затим були наведені результати розрахунку (рис. 3.5) НДС – напружено-деформованого стану при допомозі програмного модулю SIEMENS NX CAM.

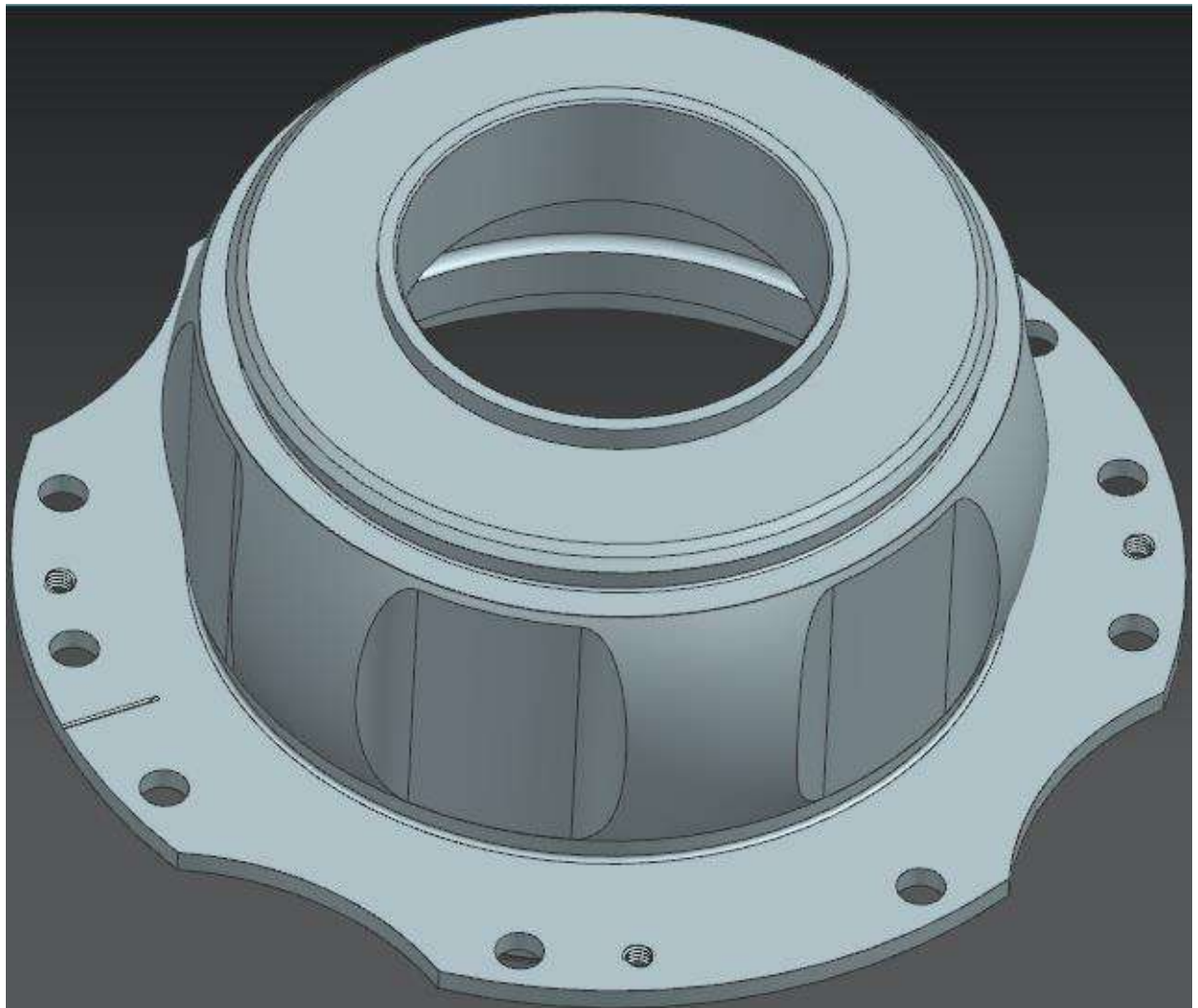


Рисунок 3.1 – Деталь «цапфа» (3D-модель)

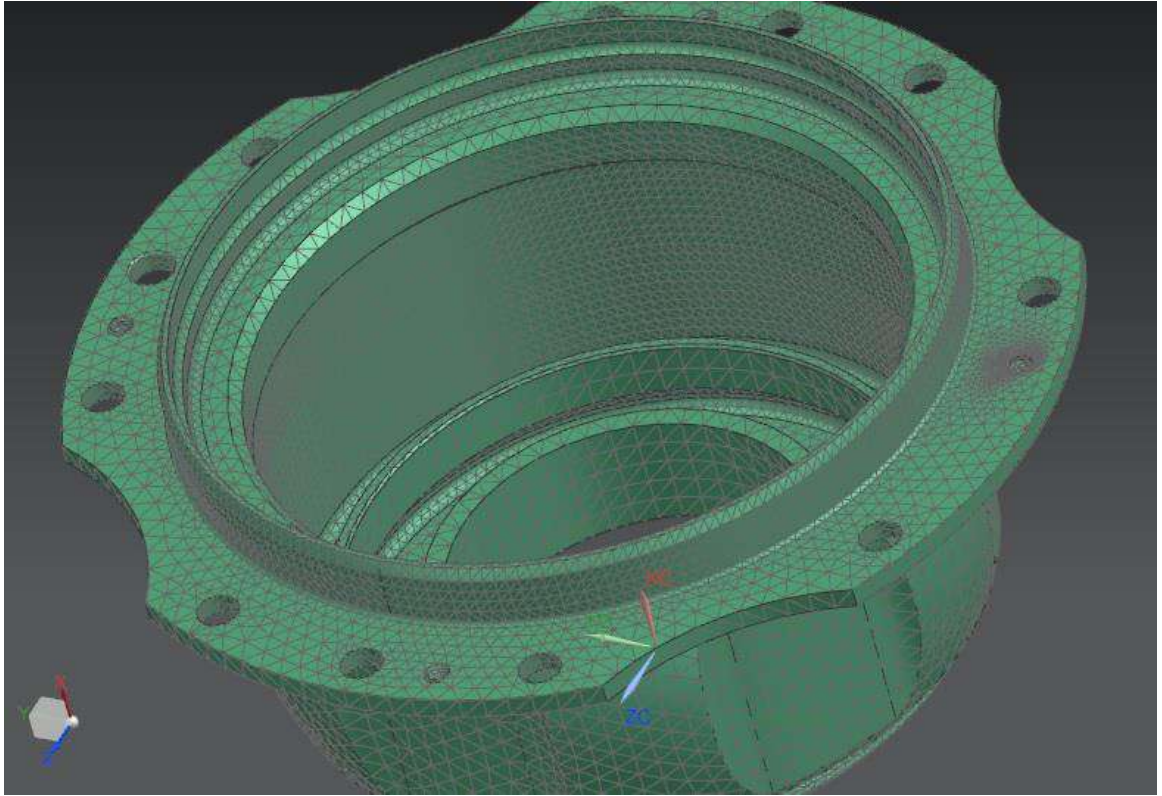


Рисунок 3.2 – Деталь «цапфа» (3D-модель) з кінцево-елементної сіткою (free)

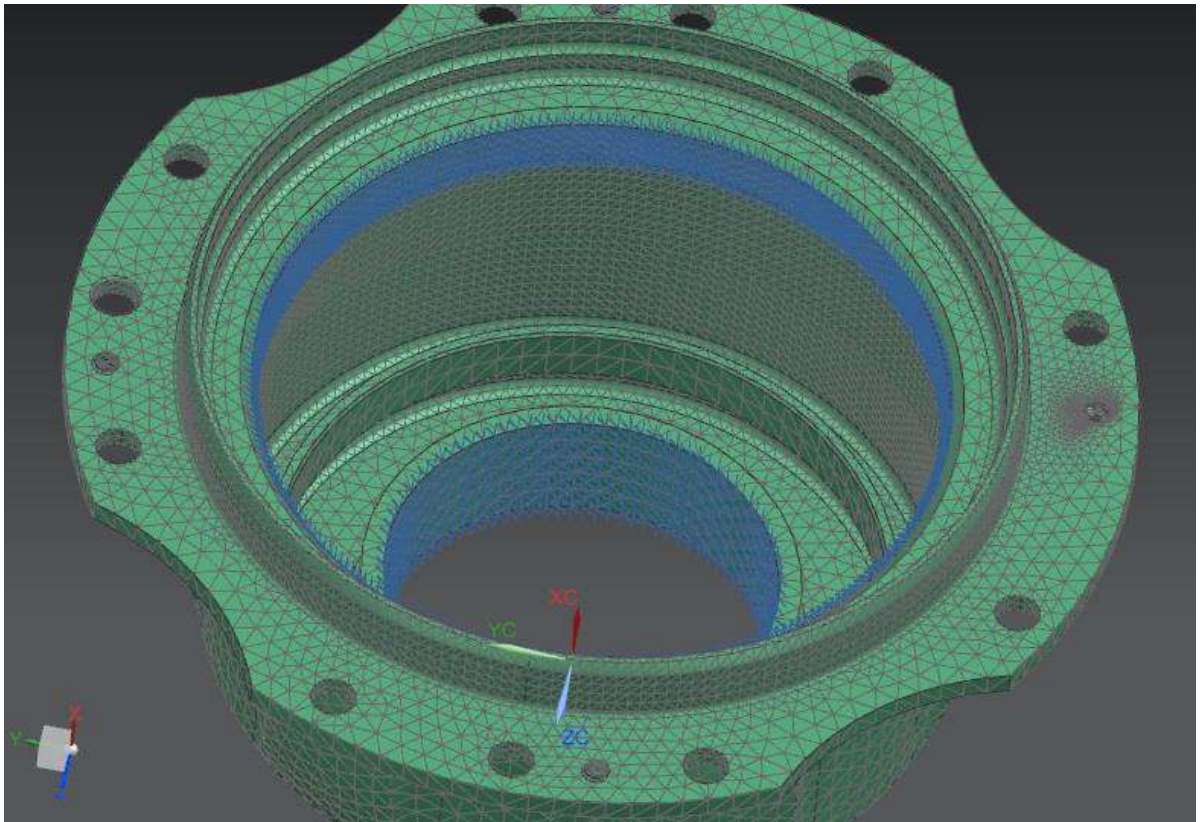


Рисунок 3.3 – Деталь «цапфа» (3D-модель) з фіксованими поверхнями

Границя міцності сталі 38Х2МЮА–Ш [σ_B]=780 МПа.

Для авіабудівної промисловості коефіцієнт запасу міцності відповідає $[n]=2...5$.

Після прикладеного навантаження 1 МПа (рис. 3.4), 4 МПа (рис. 3.5), 4,5 МПа (рис. 3.6), 6 МПа (рис. 3.7), 10 МПа (рис. 3.8) було визначено оптимальне значення коефіцієнту запасу міцності для деталі. Після розрахунків результати у таблиці 3.1.

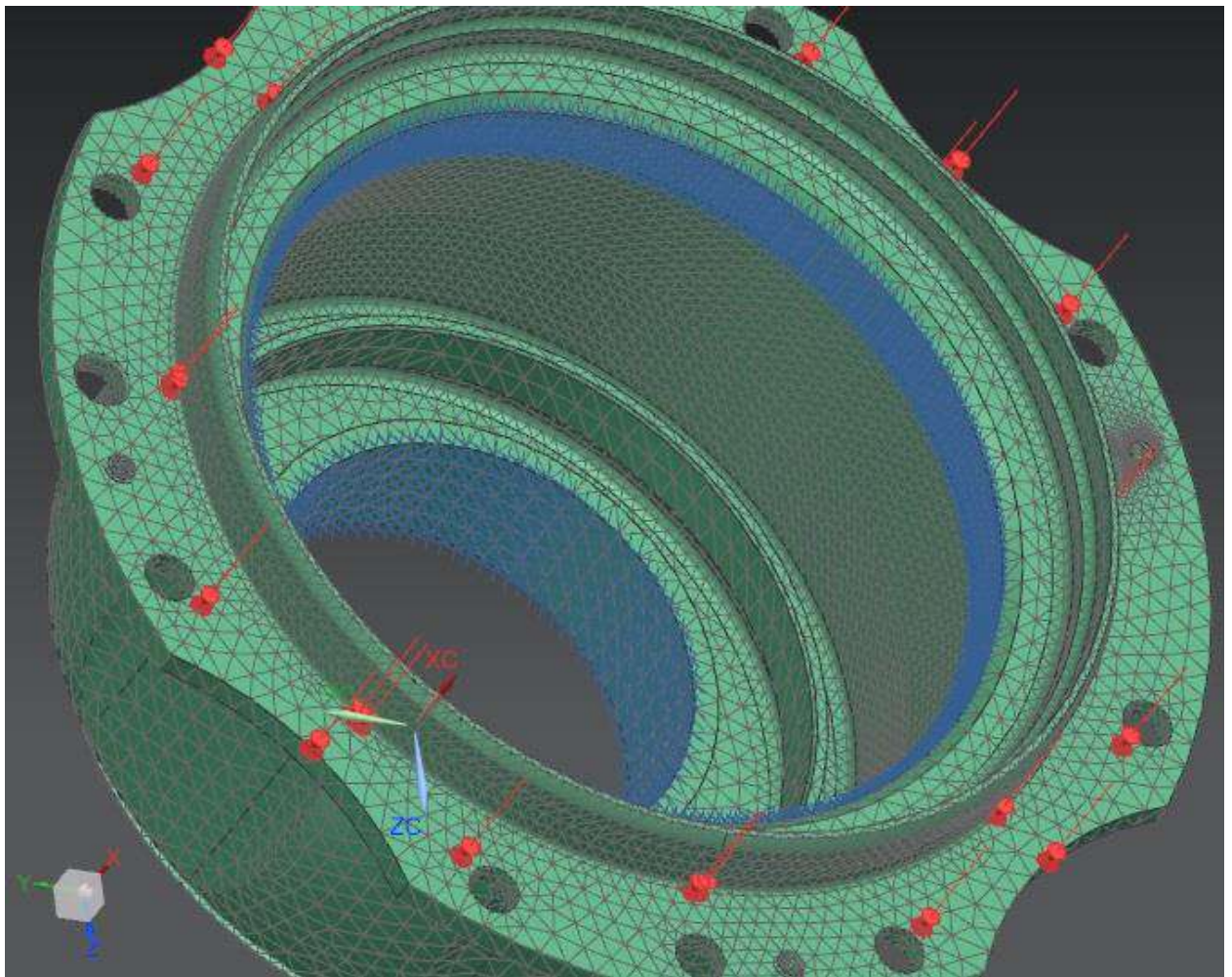


Рисунок 3.4 – Деталь «цапфа» (3D-модель) з фіксованими поверхнями та визначеною зоною навантажень

Зображені точки на поверхнях деталі з мінімальними та максимальними значеннями після прикладених навантажень (рис. 3.5–3.9).

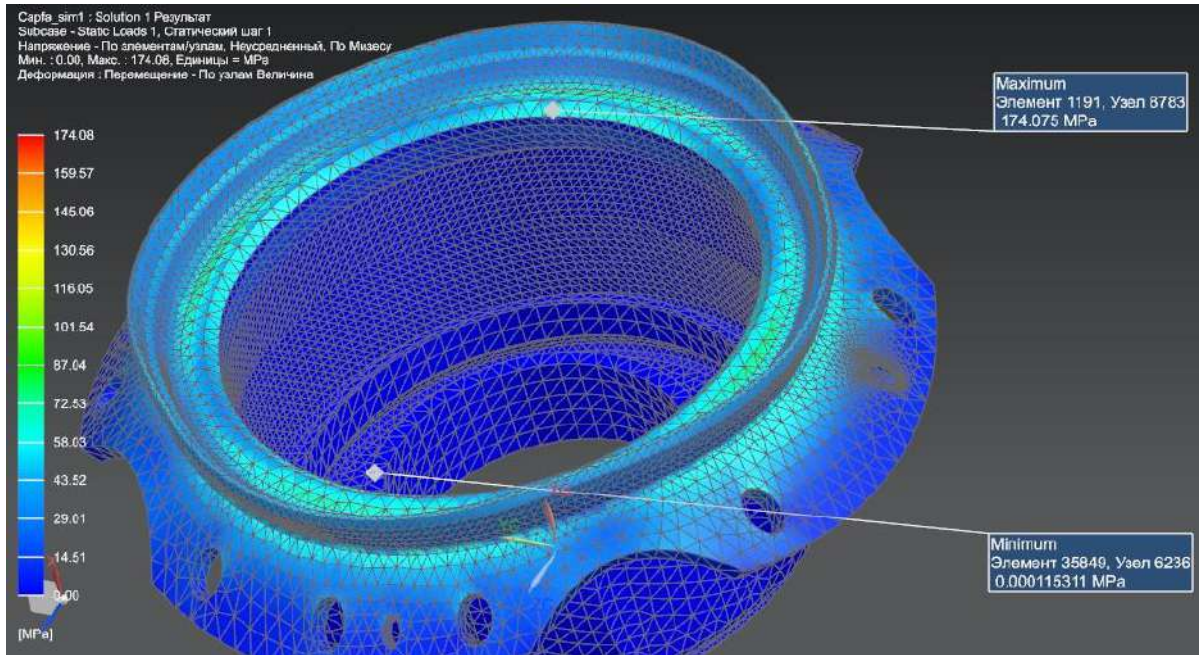


Рисунок 3.5 – Деталь «цапфа» (3D-модель) із зображенням напружено-деформованим станом (НДС) після прикладеного 1 МПа навантаження

Небезпечний переріз на поверхні найбільшого отвору на заокруглених радіусах (рис. 3.5-3.9).

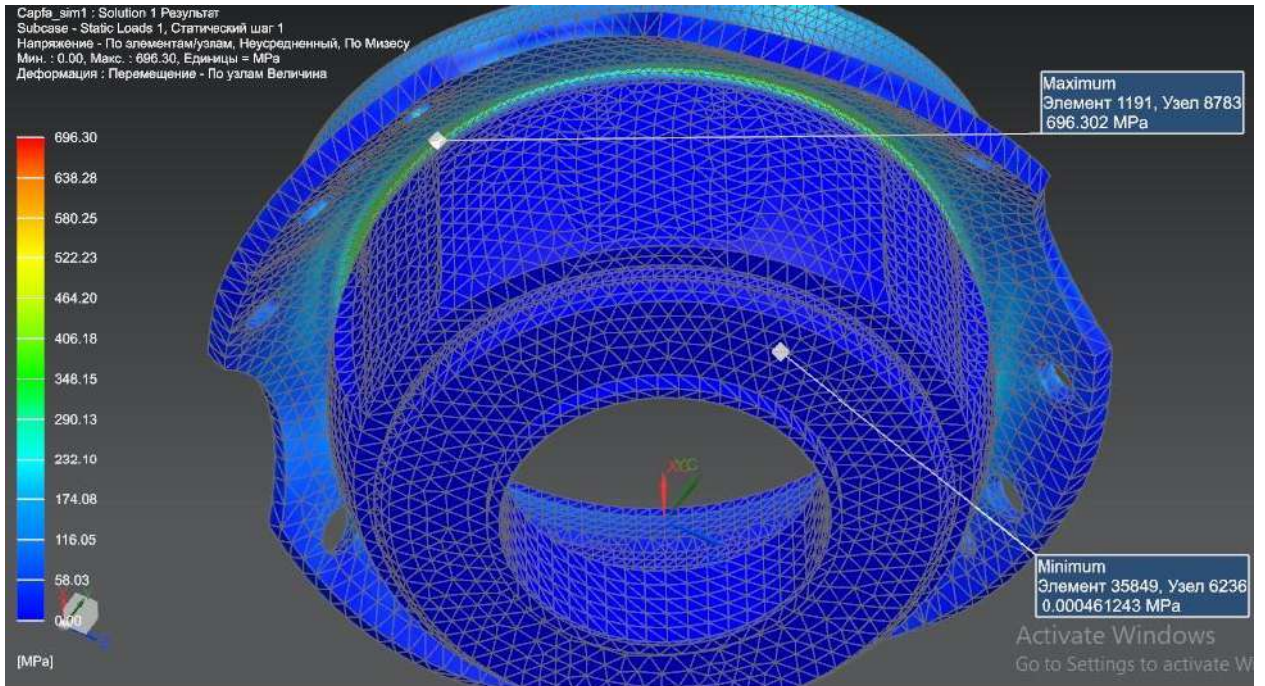


Рисунок 3.6 – Деталь «цапфа» (3D-модель) із зображенням напружено-деформованим станом (НДС) після прикладеного 4 МПа навантаження

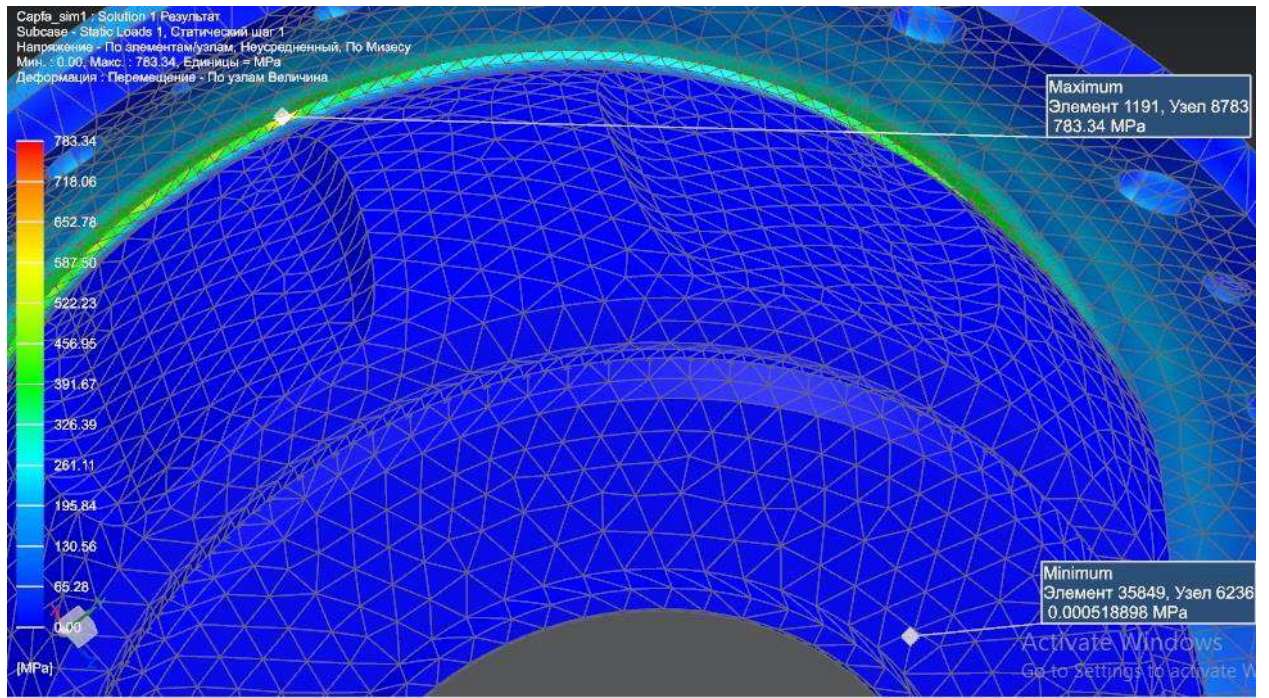


Рисунок 3.7 – Деталь «цапфа» (3D-модель) із зображенням напружено-деформованим станом (НДС) після прикладеного 4,5 МПа навантаження

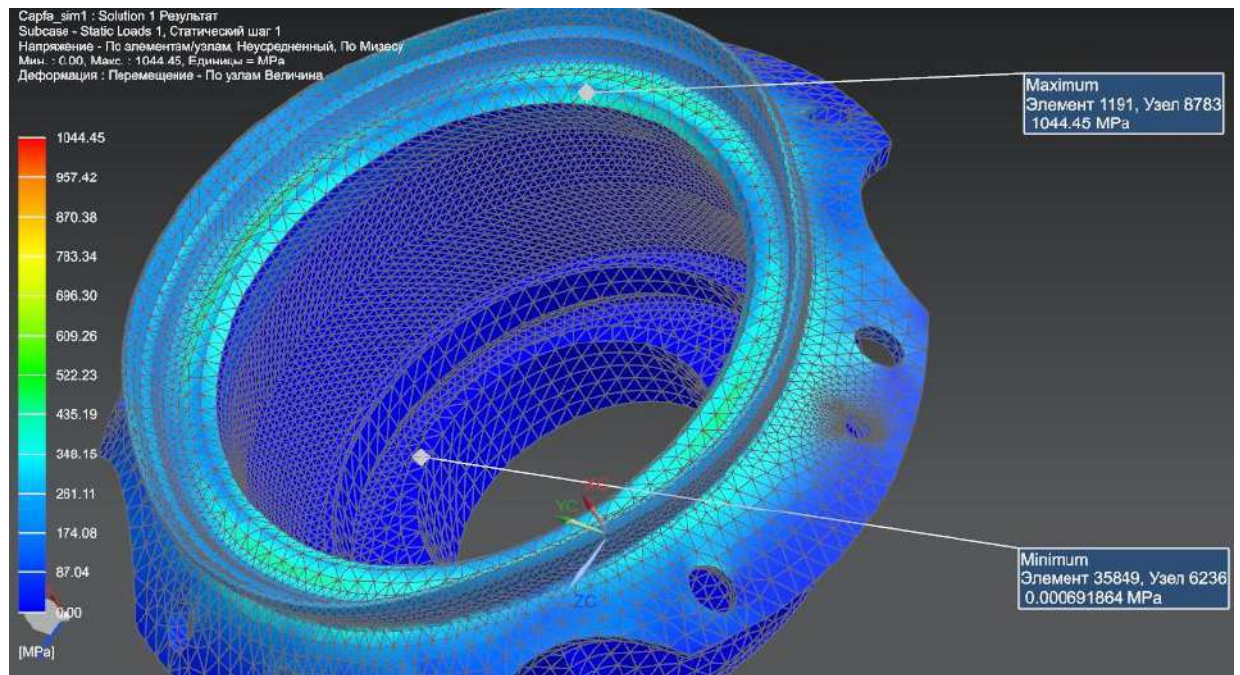


Рисунок 3.8 – Деталь «цапфа» (3D-модель) із зображенням напружено-деформованим станом (НДС) після прикладеного 6 МПа навантаження

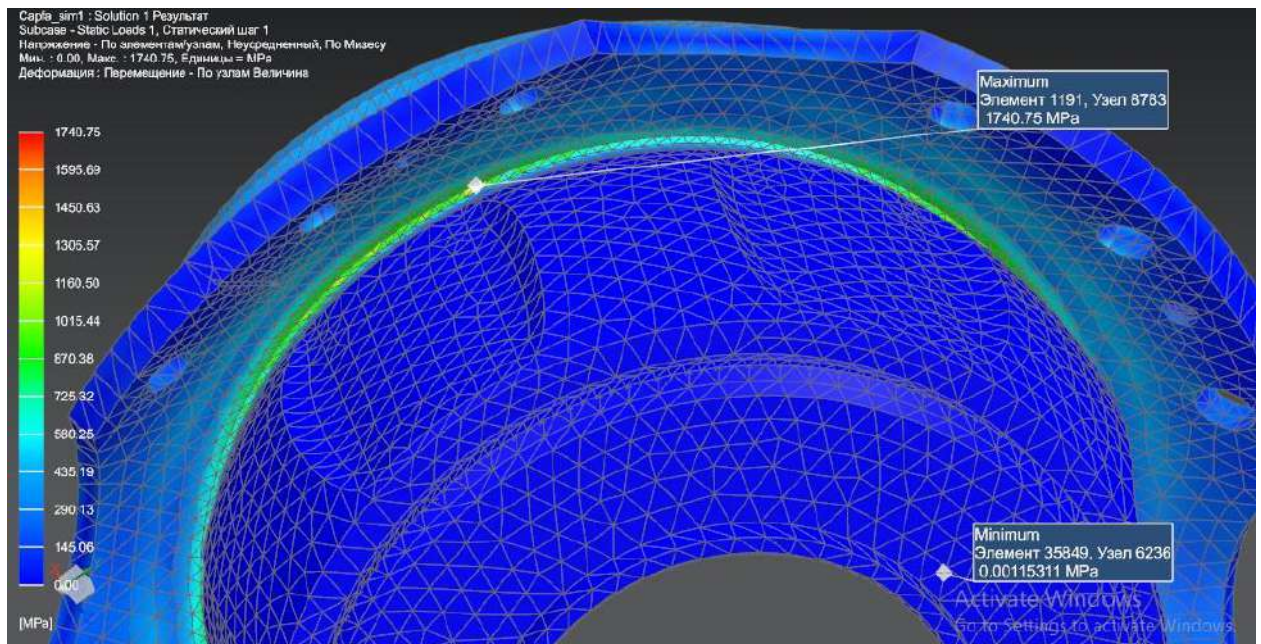


Рисунок 3.9 – Деталь «цапфа» (3D-модель) із зображенням напружено-деформованим станом (НДС) після прикладеного 10 МПа навантаження

Таблиця 3.1 – Розрахункові результати НДС та коефіцієнту запасу міцності

Прикладене навантаження σ_0 , МПа	Максимальне напруження у «вузькому місці» $\sigma_{\max}$, МПа	Коефіцієнт запасу міцності по напруженню, n
1	174	4,48
4,5	473	0,99
6	1044	0,74
10	1740	0,44

Щодо результатів, що наведені у таблиці 3.1 та зображені на графіку (рис. 3.10), роблю висновок: оптимальне значення навантажень (прикладених) знаходиться в межах від 0,9 до 3,5 МПа, для забезпечення $[n]=2\dots5$ (з діапазоном еквівалентних максимальних напружень $\sigma_{\max}=156\dots387$ МПа).

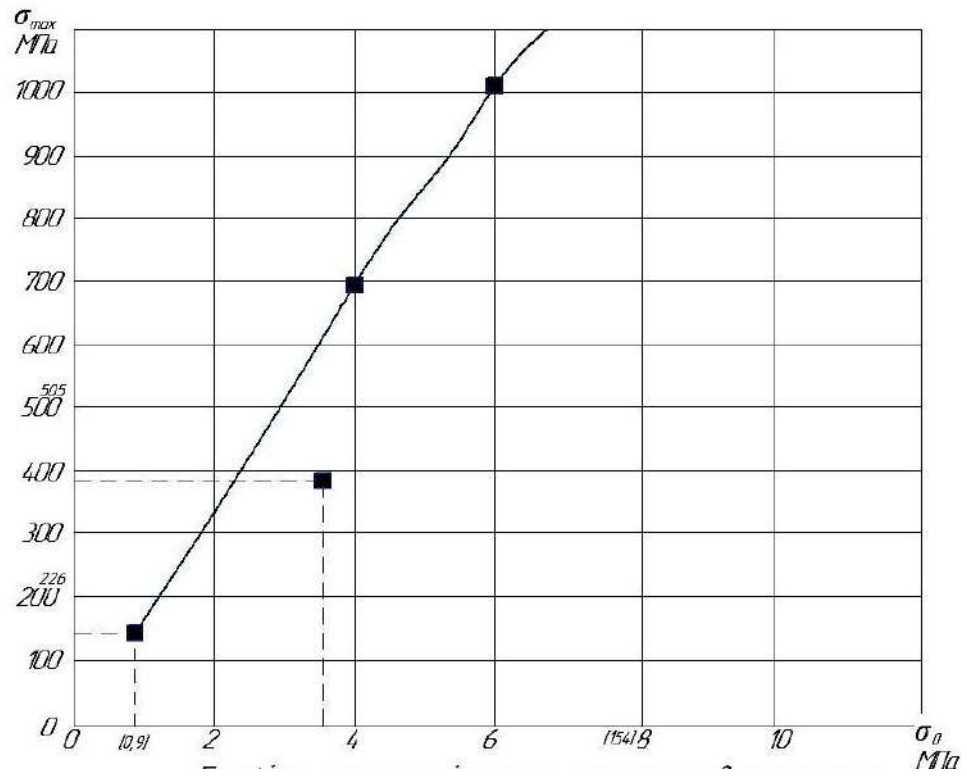


Рисунок 3.10 – Графік залежності max напруження $\sigma_{\max}$ від прикладеного навантаження σ_0

4 ПРОМИСЛОВИЙ АВТОМАТИЗОВАНИЙ НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ

Роль автоматизованого неруйнівного контролю (НК) зростає з кожним роком, і причин, що обумовлюють розвиток цієї галузі декілька, серед них забезпечення максимального зниження впливу людського фактору, підвищення продуктивності контролю, вирішення спеціальних завдань, реалізація яких неможлива при ручному НК.

У ряді областей застосування НК, якісний ручний контроль в принципі неможливий. По-перше, це відноситься до масового випуску серійної продукції – труб, прутків, листів та інших виробів простої геометрії. Ручний контроль при цьому не застосовується, через те, що швидкості контролю повинні відповідати швидкостям роботи прокатного стану, а це часто 1 – 2 м/с.

По-друге, при контролі особливо відповідальних виробів, що мають досить складну геометрію і високу ціну, неможливо забезпечити відповідність жорстким критеріям якості ручним контролем. Це, наприклад, турбінні диски авіадвигунів, контрольовані на предмет виявлення відбивача діаметром 0,4 мм, а також дуже габаритні вироби для космічної або військової техніки. І по-першому, і по-другому випадку економіка проєктів зрозуміла і окупність визначається простим розрахунком: або ціна контролюючого обладнання ділиться на кількість перевіреної за термін окупності продукції, або вартість кінцевої продукції така, що ціна автоматизованої системи контролю не має значного впливу на неї [9].

Однак сприймати автоматизацію процесів контролю як якийсь універсальний інструмент, що дозволяє разом вирішити всі проблеми, м'яко кажучи, помилково. Треба сказати, що в обох наведених прикладах підприємство зазвичай має досить кваліфікований обслуговуючий персонал, котрий має багаторічний навик роботи з автоматизованим НК.

Найгірші справи з вхідним контролем, коли покупець бажає спростити контроль всієї маси заготовок, що приходять на підприємство. І ось тут в справу втручаються два серйозних фактори, які часто призводять до неможливості знайти прийнятне для підприємства рішення [9].

Перший фактор полягає в повному нерозумінні підприємством, що автоматизований НК – це не чарівний пристрій, а складний верстат з ЧПУ, і вимоги до працюючого на ньому персоналу нітрохи не нижче, ніж до дефектоскопістів, що виконують ручний НК. Адже нікому не приходить в голову, купивши дорогий токарний автомат, поставити до нього не токаря відповідного розряду, а когось з відділу постачання. Незважаючи на очевидність таких висновків, повсюдно вважається, що автоматизована система НК – це щось, що само по собі позбавить підприємство від тривог і турбот про якість продукції [9].

Так, вимоги до персоналу, який обслуговує автоматизовані системи НК, дещо відрізняються від вимог до дефектоскопістів ручного НК. Але для роботи на автоматизованому обладнанні потрібно ніяк не менше знань з фізики процесу, а в тому, що стосується процесу контролю в динаміці, навіть більше. Якщо при ручному НК оператор навряд чи зможе водити перетворювачем з такою швидкістю, щоб використовувана їм апаратура не справлялася, то при автоматизованому контролі швидкість – частота посилок і ширина діаграми спрямованості перетворювачів – грає ключову роль. Якщо не враховувати ці параметри, то дефекти можуть бути просто пропущено [9].

Другий фактор - це все та ж економіка. Якщо наприклад трубний завод може ставити на кожную лінію по автоматизованій установці, то при вхідному контролі номенклатура типорозмірів виробів просто зашкалює. Споживачеві хочеться контролювати і невеликі прутки, і півметрові труби, і відводи, і листи та інші заготовки, що надходять на завод. Як правило, створити такого універсального «монстра» або неможливо, або його переналаштування буде нереальне по трудомісткості, а ціна ніколи не окупиться. Для вирішення таких проблем потрібен індивідуальний підхід. Спочатку потрібно виділити з

усіх «бажань» типову масову номенклатуру, під яку доцільно придбання автоматизованої установки, а решту слід залишити на ручному контролі. Однак досвід показує, що найчастіше і ручний контроль на підприємстві знаходиться в такому зародковому стані, що про автоматизацію говорити просто безглуздо [9].

Ще однією проблемою застосування автоматизованого ультразвукового контролю (УЗК) є необхідність принципово іншої системи організації виробництва взагалі. Така система передбачає, що контроль якості за ISO – це не тягар і неприємна формальність, а реально задокументований щоденний процес підприємства. Це процес, при якому центральна заводська лабораторія контролює вибірково кожен партію матеріалу, що потрапляє на підприємство всіма доступними способами, відділ контролю якості стежить за процесами виробництва на кожній операції. Тобто не тільки після виготовлення складного та дорогого виробу, коли виправити дефекти за результатами контролю вже неможливо.

При дотриманні технології на кожній стадії виробництва придбання автоматизованої установки контролю стає цілком логічним кроком, економічний ефект якого прораховується. В іншому випадку найчастіше установка стає шалено дорогим пристосуванням з закладеними високими точностями, реально не досяжними через низьку якість поверхні, кривизни і недотримання геометрії виробленого виробу.

Прикладом правильного підходу до організації контролю може служити, наприклад, виробництво надтонких труб з корозійно-стійких сплавів, алюмінію або титану. Товщина стінки таких виробів має значення від 0,2 мм, і ні про який ручний контроль мови йти не може. При цьому вимоги на 100%-вий контроль передбачають вимірювання товщини стінки, овальної, поздовжніх, поперечних дефектів та розшарувань [9]. Такий контроль в залежності від необхідної продуктивності проводиться або при обертально-поступальному переміщенні труби через імерсійну ванну з перетворювачами,

або при поступальному руху труби і обертанні ротора з перетворювачами навколо неї (рис. 4.1, 4.2) [9].



Рисунок 4.1 – Установка ротаційного типу УКВ-90, що забезпечує обертання ротора навколо труби зі швидкістю 3000 об/хв [9]



Рисунок 4.2 – Установка контролю УСКТ-8 з обертально-поступальною подачею виробів через імерсійну ванну [9]

Другим прикладом налагодженої організації автоматизованого НК є виробництво валів, дисків для авіадвигунів (рис. 4.3, 4.4) та можна використовувати для деталей на кшталт цапфи, яка розглядається в дипломній роботі. Завідомо великі значення точності, непрості сплави і високі вимоги до якості роблять ручний контроль просто неможливим. Для забезпечення постійного акустичного контакту виріб поміщається повністю в іммерсійну ванну, а високоточний сканер прозвучує та «прослуховує» 100% виробів за заданою оператором 3-вимірною моделлю (рис. 4.5).

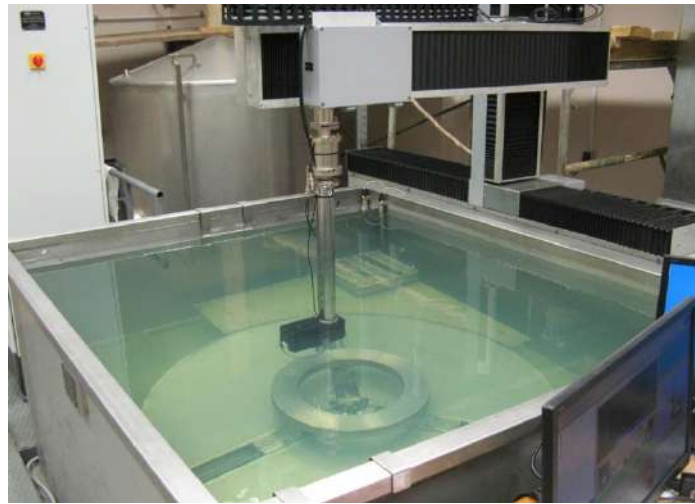


Рисунок 4.3 – Установка контролю дисків та цапф УКД-1200, що забезпечує УЗ-контроль дисків діаметром до 1200 мм [9]



Рисунок 4.4 – Установка АСНК-ВАЛ для контролю заготовок валів авіаційних двигунів [9]

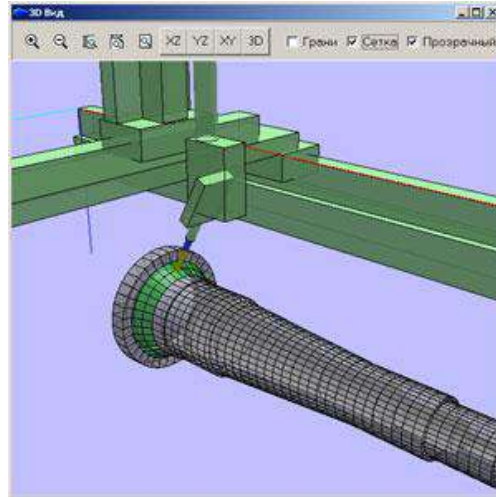


Рисунок 4.5 – Тривимірний модель валу для НК [9]

Таким же чином контролюються і високоточні деталі залізничної техніки. Наприклад, кільця конічних і циліндричних підшипників буксових вузлів проходять 100% -вий контроль за стандартом EN12080. Причому крім УЗК на внутрішні дефекти потрібно ще і вихрострумний контроль поверхні кочення на предмет тріщин, припідання та інших виробничих дефектів (рис. 4.6). Особливо важливий автоматизований контроль у виготовленні разових виробів, в тому числі військової і ракетно-космічної техніки. Будь-які допущені під час виробництва помилки будуть виявлені вже тоді, коли виправляти щось пізно, і неминуче призведуть до колосальних фінансових втрат та нажаль людських жертв.



Рисунок 4.6 – Установка контролю кілець АУКП-250 [9]

Всі методи НК є статистичними за своєю природою, а отже, вони відображають лише ймовірність наявності дефекту. Тому крім ймовірності виявлення дефектів слід враховувати ймовірність помилкового спрацьовування систем НК при відсутності дефектів (тобто помилковий брак), а також ймовірність того, що існуючі дефекти не будуть виявлені. При використанні точно описаних процедур, грамотного персоналу, відповідного обладнання, а також впровадження автоматизованого контролю ймовірність виявлення дефектів певного розміру конкретної деталі значно зростає. Зниження якості будь-якого з перерахованих складових дзеркально знижує саму вірогідність виявлення дефекту [9].

По суті, всі методи НК – це лише одна з важливих складових системи якості, яка не може замінити собою відсутність сучасних технологій та грамотного персоналу.

Однак час показує, що в кінцевому підсумку довгострокові вкладення в сучасне високотехнологічне виробництво завжди вигідне. І при такому підході автоматизація всіх технологічних процесів, в тому числі і процесів неруйнівного контролю це єдино правильне рішення.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

НЕРУЙНІВНИЙ КОНТРОЛЬ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ТРИВАЛО ЕКСПЛУАТУЮТЬСЯ

Неруйнівні методи контролю (НМК) або дефектоскопія, - це узагальнююча назва методів контролю якості матеріалів (виробів), що використовуються для виявлення порушення цілісності або однорідності макроструктури, відхилень хімічного складу та інших цілей, що не вимагають руйнування зразків матеріалу і / або виробу в цілому [10].

Основні вимоги, що пред'являються до неруйнівних методів контролю або дефектоскопії:

- можливість здійснення контролю на всіх стадіях виготовлення, при експлуатації і при ремонті виробів;
- можливість контролю якості продукції за більшістю заданих параметрів;
- узгодженість часу, що витрачається на контроль, з часом роботи іншого технологічного обладнання;
- висока достовірність результатів контролю;
- можливість механізації та автоматизації контролю технологічних процесів, а також управління ними з використанням сигналів, що видають засоби контролю;
- висока надійність дефектоскопічної апаратури та можливість використання її в різних умовах;
- простота методик контролю, технічна доступність засобів контролю в умовах виробництва, ремонту та експлуатації.

В залежності від принципу роботи всі НМК діляться на акустичні (ультразвукові); капілярні; магнітні (або магнітопорошкові); оптичні (візуально оптичні); радіаційні; радіохвильові; теплові; контроль

течієшуканням; електричні; електромагнітні, або струмовихрові (методи вихрових токів) [10].

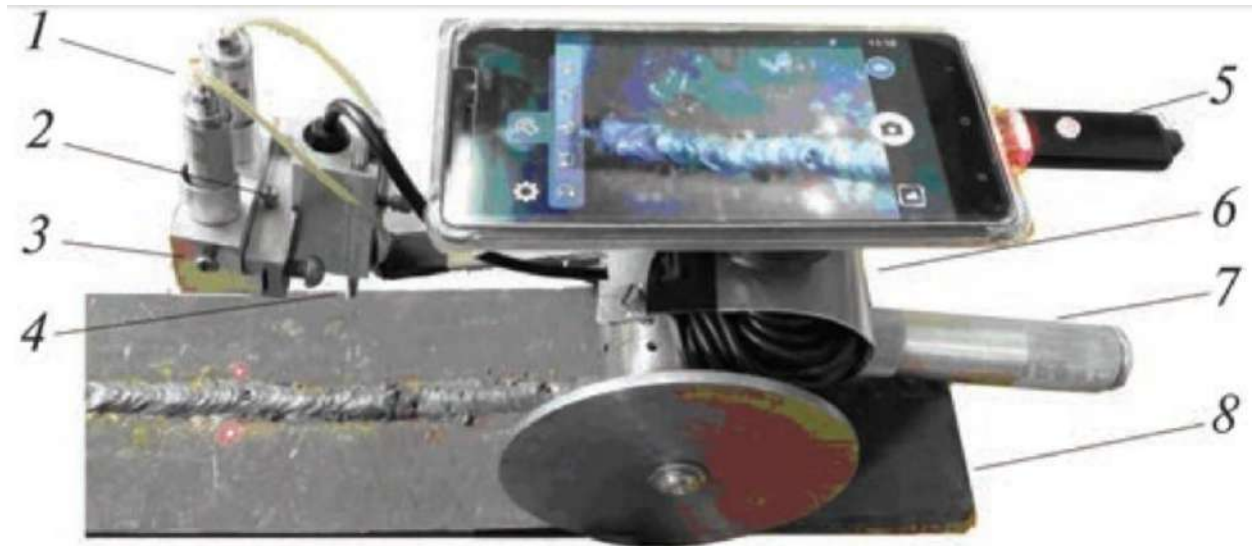
Більш детальніше розглядається оптоелектронний візуально вимірювальний контроль (ВВК).

Найбільш поширеним методом НК є візуальний контроль [11, 12]. Він передує всім іншим видам НК. Однак на достовірність візуального НК в значній мірі впливає людський фактор (стомлюваність, суб'єктивність, зниження уваги тощо). Для того щоб перевірити ще раз, уточнити окремі результати ВВК, його треба проводити заново.

Для підвищення точності, повноти і об'єктивності ВВК розроблені [13] прилади (рис. 5.1) для оптоелектронного візуального контролю, які дозволяють зчитувати і аналізувати зображення поверхні (зварного шва), вимірювати геометричні параметри фрагментів поверхні, здійснювати бездротову передачу отриманих зображень і запам'ятовувати їх в цифровому вигляді. Записи зображень зварних швів (поверхні об'єкта) в подальшому обробляються, документуються і архівуються і при необхідності можуть бути перевірені ще раз, оцінені з позицій міжнародних стандартів [14, 15], наприклад ISO 5817 та ISO 6520.

Приклад реалізації оптоелектронного візуального контролю, поєднаного з можливістю магнітного контролю на базі рухомого пристрою, що намагнічує, типу ТВА (рис. 5.1). Пристрій має: лазерний вимірювач ширини шва, підсвічування біляшовних зон, мініатюрну USB відеокамеру, в якості монітора і реєстратора використовується смартфон. Пристрій може підключатися до комп'ютера або мати з ним Wi-Fi-зв'язок. На знімному смартфоні оператор спостерігає в 2-3 рази збільшене (рис. 5.1) зображення зварного шва, переміщаючи прилад по поверхні зі швидкістю до 3 м/хв. Оскільки в якості легко переміщуваної платформи для ВВК використаний рухливий намагнічуючий пристрій (НП) з полюсами у вигляді великих дисків ($\varnothing 140$ мм). Тому цей ВВК прилад (рис. 5.1) має високу прохідність і може при необхідності бути використаний для локального магнітопорошкового

контролю (МПК). Однієї зарядки смартфона та інших елементів вистачає для забезпечення безперервної роботи пристрою протягом 6-8 год. До початку роботи включають світлолазерне підсвічування і запускають програму на смартфоні AN 97. Далі включається веб-камера, в якій є власне внутрішнє підсвічування.



1 – світлолазерне підсвічування ширини зварного шва навколошовної зони; 2 – налагоджувальні гвинти для регулювання ширини і висоти світлолазерного підсвічування; 3 – відеокамера з підсвічуванням, розташування якої регулюється по висоті; 4 – тумблер включення світлолазерного підсвічування; 5 – роз'єм для зарядки акумулятора і магнітний тримач для смартфона (планшета); 6 – кабель (5 м), що з'єднує відеокамеру і монітор; роз'єм USB/mikroUSB з підсвічуванням; 7 – ручка-контейнер, всередині якого знаходяться акумулятори; 8 – дископодібні магнітні полюси намагнічуючого пристрою ТВА-1, на якому змонтовані засоби для ВБК

Рисунок 5.1– Оптиелектронний прилад ВБК/ТВА-1 для візуального контролю на базі рухомого пристрою, що намагнічує [14]

Запис фото і відео контрольнo-діагностичного процесу відбувається за допомогою стандартної програми смартфона (планшета). При виконанні

збору даних про поверхню, по якій переміщається пристрій, камера знаходиться на відстані 5-8 см від поверхні. При цьому зазвичай зображення шва на екрані монітора має дворазове збільшення. Відеозапис поверхні об'єкту відбувається з включеними відеокамерою і лазерними вимірювачами ширини зварного шва, що допомагає оперативному прийняттю рішення.

Даний прилад оснащено камерою високого розширення з комбінованим роз'ємом USB/mikroUSB.

Пристрій ВВК/ТВА-1 має наступні характеристики:

- швидкість запису ВВК інформації 3 м/хв;
- USB-відеокамера, матриця камери CMOS 2,0 Мп;
- дозвіл (відео або фото): 1280×960, 1280×720, 640×480;
- допустима швидкість відеопотоку до 30 кадр/с;
- LED-підсвічування (управління підсвічуванням за допомогою кнопки);
- час безперервної роботи 6 год;
- довжина ендоскопічного кабелю для роботи в закритих порожнинах зі знімною відеокамерою 5 м.

На рис.5.2 показаний процес ВВК з використанням приладу ВВК/ТВА-1 і фрагменти зварних швів днища резервуару на 200 м³

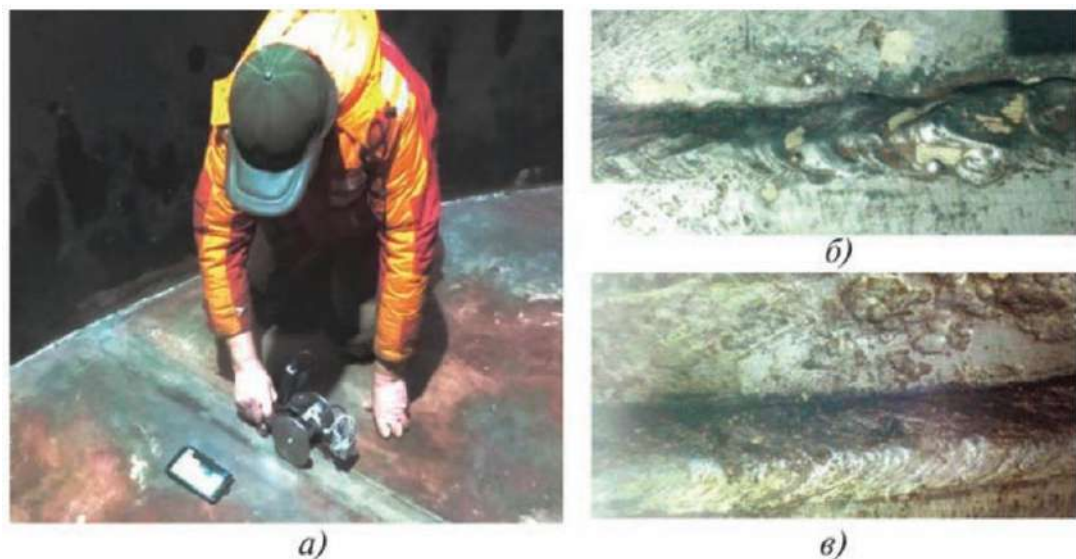


Рисунок 5.2– Процес ВВК з використанням приладу ВВК/ТВА-1 (а) і корозія зварного з'єднання і навколошовної зони (б, в) [14]

Оптоелектронні записи зображень зварних швів, отримані за допомогою даного приладу, обробляють з використанням цифрових програм аналізу зображень. На великому екрані стаціонарного комп'ютера можна як багаторазово збільшити масштаб досліджуваної зони, так і давати інформативну оцінку дефектів у відповідності зі стандартами ISO 6520-1: 2015 і ISO 5817.

Існує також можливість доукомплектації приладу іншими вимірювальними засобами, наприклад, такими, які дозволяють оцінювати напружений стан локальних зон металоконструкцій. Такі пристрої для візуального та магнітопорошкового НК виготовляються в різних модифікаціях [15].

ВБК/ТВА має знімну веб-камеру. Це дозволяє оглядати закриті порожнини, включаючи баки, цистерни та інші об'єкти, що знаходяться на відстані до 5 м від пристрою. Вимірювання ширини шва і віддалених елементів конструкції можна проводити за допомогою двох паралельних лазерних променів, наявних в приладі. При вивченні зварних швів забезпечується підсвічування найбільш небезпечних біляшовних зон, в яких можуть бути тріщини, підрізи і подібні дефекти.

Перевагами такого оптоелектронного візуально-вимірювального контролю є: об'єктивність, швидкість і достовірність отриманої інформації про всі зовнішні особливості зварного шва, цифрова обробка зображень. В результаті знижується вплив людського фактору на результати НК, досягається об'єктивна оцінка класності В, С, D по ISO 5817.

Нові можливості в дефектоскопії геометрично складних конструкцій відкриває X-Ray mini-технологія на основі недорогих малогабаритних твердотільних плоскопанельних детекторів [16-20]. Для цих цілей в ІЕЗ ім. Є.О. Патона успішно використовується мініатюрний твердотільний рентген-телевізійний сенсор S10811-11 японської фірми «Hamamatsu Photonics» (зона контролю 24×34 мм, роздільна здатність 25 мкм), (рис. 5.3). Сумарна радіаційна товщина контрольованого виробу для цього

перетворювача визначається напругою на рентгенівській трубці 70 кВ, що дозволяє просвічувати алюмінієві сплави товщиною 4-5 мм і сталі – 2 мм. На (рис. 5.3, а) показаний мініатюрний R-перетворювач на тлі дротяного пенетрометра і кулькової ручки. Цей перетворювач широко застосовується в стоматології.

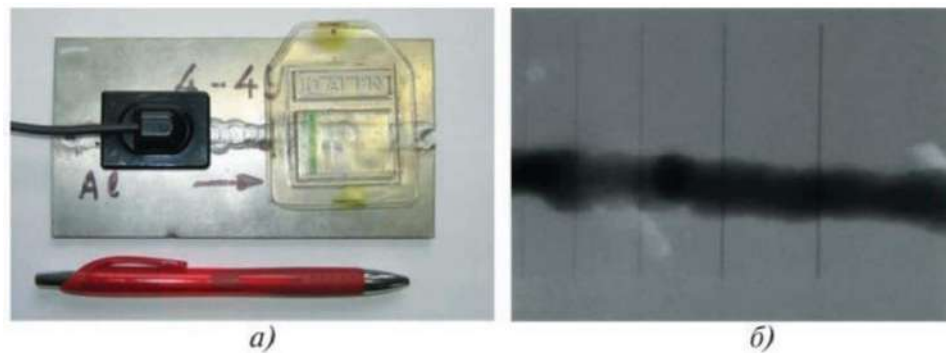


Рисунок 5.3– Рентгентелевізійний (а) сенсор S10811-11 на алюмінієвому зразку і зображення (б) зварного з'єднання (алюміній, товщина 2 мм) з використанням цього сенсора [14]

На (рис. 5.4-5.11) показані приклади використання мініатюрних R-перетворювачів для різних нових радіаційних технологій без дорогих великоформатних твердотільних напівпровідникових і радіоскопічних перетворювачів.

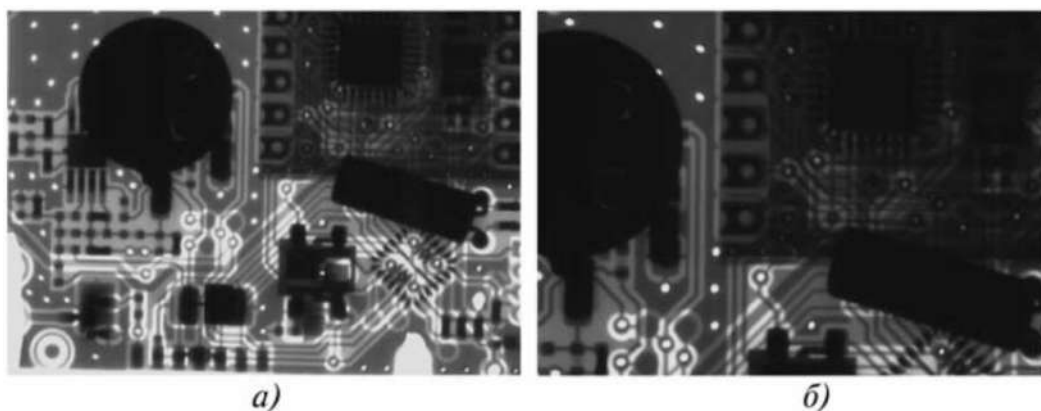
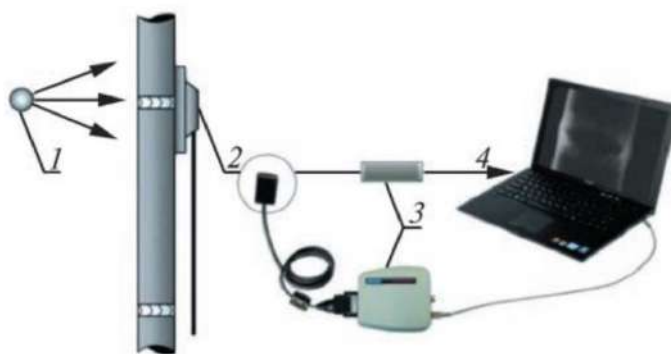


Рисунок 5.4– Рентгенівське зображення друкованої плати (а) і 1,5-кратне його збільшення (б), отримане за допомогою мініатюрного R-перетворювача [10]

Як в стоматології, так і в техніці мініатюрні напівпровідникові перетворювачі витісняють плівкову радіографію. На (рис. 5.4) показані цифрові зображення електронних плат і чіпів, які можуть бути представлені при 7-10-кратному їх збільшенні за допомогою перетворювача (рис. 5.3).

Надвисоке розширення використовуваної напівпровідникової матриці дозволяє виконувати цифрове збільшення отриманого рентгенівського зображення на екрані комп'ютерного монітора без зниження його якості при цьому. Мінімальний розмір виявлених дефектів становить від 25 мкм до 50 мкм.

Непроварені місця зварних швів, зазори в сполучних газових муфтах, які є основними джерелами витоків газу і наступних вибухів, можуть бути легко виявлені за допомогою сенсорів (рис. 5.5). Справа в тому, що виток газу через зафарбовані, забруднені негерметичності, допущені при виготовленні в газових мережах, проявляються з часом, часто після тривалої і благополучній експлуатації. Цих страшних аварій буде менше з підвищенням технічної культури.



1 – джерело випромінювання; 2 – мініатюрний твердотільний перетворювач;
3 – блок передачі цифрових зображень; 4 – цифрове рентгенівське
зображення на екрані монітора

Рисунок 5.5 – X-Ray mini-технологія контролю тонкостінних деталей [14]

Технологія контролю труб малого діаметра з використанням мініатюрних твердотільних перетворювачів (рис. 5.5) відкриває нові можливості для дефектоскопії навіть при обмеженні різних теплообмінників, в тих випадках, коли ультразвукова товщинометрія безпорадна.

З появою мініатюрних твердотільних перетворювачів розроблені нові R-технології, що поєднують контактну (М 1:1) і безконтактну радіографію (М 1:10). Збільшений масштаб окремих фрагментів на контактному знімку розширює можливості дефектоскопії [14].

Завдяки невеликим розмірам мініатюрного твердотільного детектору може бути розміщений в важкодоступних або обмежених просторах, а також переміщатися уздовж складної поверхні контрольованого об'єкта. При цьому прилягання до поверхні необов'язково. Можливість переміщати, видаляти і наближати мініатюрний твердотільний перетворювач до об'єкта відкриває нові технологічні можливості в дефектоскопії.

Технічні можливості для промислового застосування малогабаритного твердотільного детектора S10811-11 в X-Ray міні технології представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1– Результати просвічування зварних швів з використанням стоматологічного перетворювача S 10811-11

Товщина шву	Матеріал	Тип РАз	U _a , кВ	I _a , мА	Фокусна відстань, мм	Час експозиції, с	Чутливість за дротовим еталоном
1,5	Сталь	РАП 150/300	60	4,00	600	20	0,063
1,5	Сталь	РЕИС-100И	65	0,04	100	20	0,063
2,0	Алюміній	РАП 150/300	50	3,7	700	10	0,100

При просвічуванні зразків апаратом РАП 150/300 його рентгенівська трубка працювала в режимі малого фокуса, фокусна відстань встановлювалося 600-700 мм. При роботі з апаратом РЕИС-100И, з огляду на його малу потужність і малий розмір фокусної плями, фокусна відстань

встановлювалася рівним 100 мм. У всіх режимах просвічування анодна напруга рентгенівських трубок не перевищувала 70 кВ, для сталевих зразків використовувався дротяний еталон 11 (ГОСТ 7512-82), а для алюмінієвих зразків - дротяний еталон 22 (ГОСТ 7512-82).

Чутливість по дротовому еталону для сталі товщиною 1,5 мм склала значення 0,063 мм, тобто не поступається чутливості, що досягається в даний час радіографією з проміжними носіями інформації.

Для дефектоскопії великих площ старих стільникових конструкцій розроблена технологія, яка складається з таких операцій. Контактним шляхом робиться флюороскопічний знімок великої площі, наприклад до 1 м² за одну експозицію. Це зображення виводиться на екран монітора, де намічаються підозрілі зони (рис. 5.6) для більш ретельного вивчення.



Рисунок 5.6– Цифрове зображення фрагмента стільникової конструкції закрилка літака з локалізацією дефектної ділянки для докладного дослідження за допомогою детектора S10811-11 [10]

Як приклад на рис. 5.6 приведено великоформатне загальне зображення досліджуваної стільникової конструкції, отримане за допомогою рентгенотелевізійної системи РТВ03 з розміром великого поля 160×120 мм на основі рентгенівського екрану Gd₂O₂S (Tb) і високочутливої ПЗЗ-камери. Далі проводиться розмітка дефектних ділянок, які передбачається детально досліджувати з високою просторовою роздільною здатністю за допомогою твердотільного мініатюрного детектора S10811-11. На рис. 5.6 одна така

дефектна ділянка, розміри якої вибираються рівними розмірам детектора S10811-11, обведеною білою лінією.

За цією розміткою проводиться просвічування зі збільшеним масштабом виділеної дефектної ділянки стільникової конструкції з застосуванням мініатюрного детектора S10811-11. В результаті такого просвічування (рис. 5.7) вивчено внутрішнє стиснення стільникової структури.

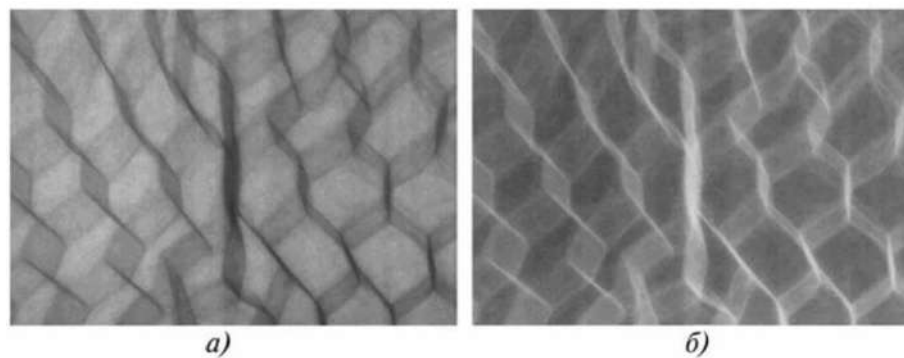


Рисунок 5.7– Цифрові зображення дефектного ділянки стільникової конструкції закрилку крила літака, отримані із застосуванням мініатюрного перетворювача типу S10811-11: а - позитив; б – негатив [10]

На (рис. 5.8) наведено результати контролю за подібною технологією тришарового зразка з нержавіючої сталі з подвійним точковим зварюванням.

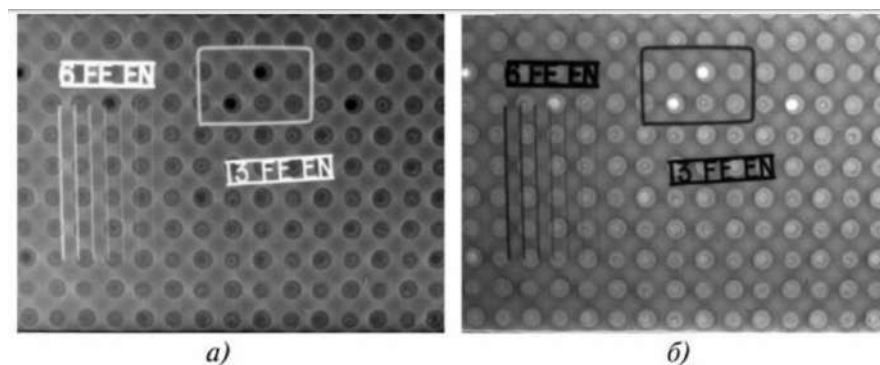


Рисунок 5.8– Цифрові зображення зразка з подвійним точковим зварюванням з локалізацією ділянки для дослідження за допомогою твердотільного перетворювача S10811-11: а - негатив; б – позитив [10]

Спочатку так само, як і при контролі стільникової конструкції літака, проводиться контактне просвічування зразка за допомогою рентгенотелевізійної системи РТВ-03. Отримані таким чином на екрані монітора цифрові зображення зразка з точковим зварюванням, негатив і позитив, представлені на рис. 5.8. Далі виділяють проблемні (дефектні) ділянки, які вивчають за допомогою мініатюрного детектора. На (рис. 5.8, а) така ділянка обведена білим прямокутником. Судячи з (рис. 5.8), є кілька зон, які заслуговують більш ретельного вивчення.

На рис. 5.9 наведено результати такого просвічування як на негативному, так і на позитивному зображеннях. Тут чітко видно неприпустимий виплеск металу, характерний для порушень технології цього виду точкового зварювання. Ці виплески металу, їх форма практично не виявляється на контактних зображеннях (рис. 5.10). Так фактично поєднується контактна радіоскопія з радіаційної мікроскопією.

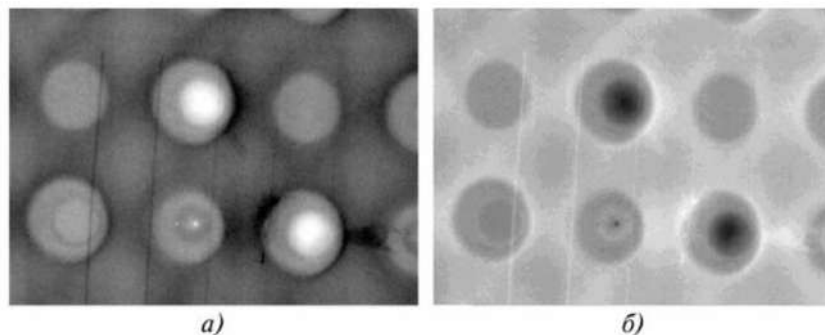


Рисунок 5.9 – Цифрові зображення ($\times 7$) дефектної ділянки зразка з подвійним точковим зварюванням, отриманий із застосуванням твердотілого перетворювача типу S10811-11: а - негатив; б – позитив [10]

В ІЕЗ ім. Є.О. Патона спільно з фахівцями Запорізької АЕС були проведені роботи по визначенню залишкової товщини стінки старих теплообмінних труб із застосуванням тангенціального [10] просвічування, для яких ультразвукова товщинометрія безпорадна. Досліджувалися можливості тангенціального методу на трубах з діаметрами 32, 38, 57, 76, 89,

108 мм. Для цього були виготовлені зразки з проточками, показаними на (рис. 5.10) для труби $\varnothing 32$ мм. Рентгенограма цього зразка представлена на (рис. 5.11). Результати вимірювань товщини стінки цього зразка зведені в табл. 5.2.

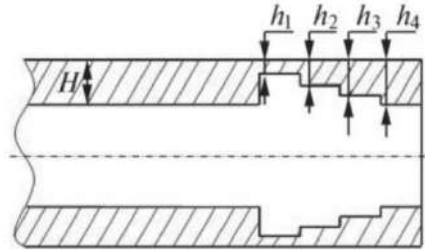


Рисунок 5.10– Ескіз трубних зразків різного діаметру з внутрішніми проточками [14]

Метрологія зразків труб виконана Київським центром стандартизації, метрології, сертифікації (ДП «Укрметртестстандарт») згідно ДСТУ ГОСТ 6507.



Рисунок 5.11– Рентгенограма труби $\varnothing 32$ мм з проточками [14]

Таблиця 5.2– Результати зміни товщини стінок проточок (мм) зразка труби $\varnothing 32$ мм

Проточка	Позначення	Метрологія	Вимірювання, мм	
			візуальне	комп'ютерне
1-а	h_1	0,34	0,4	0,348
2-а	h_2	0,77	0,8	0,768
3-я	h_3	1,32	1,5	1,346
0-а	h_4	2,02	2,1	1,94

Візуальні результати вимірювання товщини стінок труб при тангенціальному просвічуванні виконані на негатоскопі по радіографічним знімкам з використанням вимірювальної лупи. Виявилося, що ці результати погано корелюються з метрологією. Тому для підвищення точності вимірювання товщини стінок було розроблено програмне забезпечення з цифровою комп'ютерною обробкою рентгенівських знімків, яка збільшила точність вимірювань товщини стінки труб. Таким чином, при тангенціальному просвічуванні досягнута точність не гірше 10%, що влаштувало замовників такої технології.

Далекодійний низькочастотний ультразвуковий контроль (НЧ УЗК) [10] кардинально вирішує проблеми старих технологічних трубопроводів. Так, успішно дається оцінка старіння металу на основі аналізу глибини проходження ультразвуку через метал, допустимості його для подальшої експлуатації. Роботи по НЧ УЗК знайшли практичне застосування при діагностуванні стану старих теплотрас (рис. 5.12). Так на підвідному районному відділку теплотраси діаметром 325 мм після гідровипробувань була визначена ділянка витoku в теплопроводі.

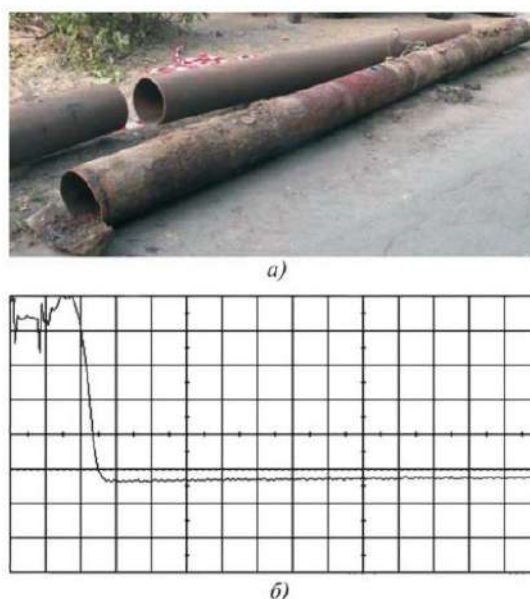


Рисунок 5.12– Демонтований ділянок трубопроводу довжиною 5,2 м (а) і його ехограма (б) [14]

Його ехограма (рис. 5.12 б) показала повну деградацію, втрату пружності металу. Після шурфування була проведена заміна дефектного відрізка труби. Демонтована труба в результаті корозії мала витончення на 80-90% товщини стінки труби. Після її заміни при повторних гідровипробуваннях виявили витік на наступній ділянці трубопроводу, що примикає до ввареного відрізка нової труби довжиною 5,2 м. Ехограма другої старої труби виявилася кращою. У ній пішов ультразвук (рис. 5.13), тобто метал труби ще зберіг пружність твердого тіла.

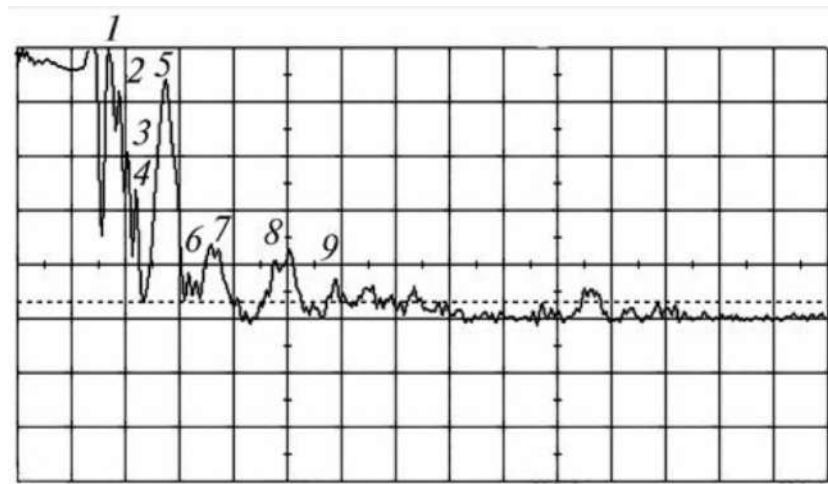


Рисунок 5.13– Осцилограма труби при шурфуванні [14]

На ехограмі другої труби на (рис. 5.13) є багато ехосигналів відбивачів.

Зокрема: 1 - зварний шов вварення кінця нової труби до трубопроводу, яка замінила вилучену; 2, 3, 4 - наскрізні отвори: 2 - 40×30 мм; 3 - 60×30 мм; 4 - 40×40 мм; 5 - зварений радіальний шов; 6 - корозія; 7 - отвір 50×20 мм; 8 і далі - слідує індикації акустичних відбивачів за межами шурфу. Вимірювання відстаней до дефектів і порівняння їх з вимірами рулеткою показано в табл. 5.3. Відстані від антени до відбивачів вказано в мікросекундах і метрах, розраховані за формулою (5.1):

$$L = vt/2 \quad (5.1)$$

де t - час проходження відбитого ехосигналу на осцилограмі,

v - швидкість поширення ультразвуку (3250 м/с).

Таблиця 5.3 – Порівняння результатів вимірювання розташування відбивачів на ехограмі

Проточка	№ індикації ехосигналу									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
За ехограмою, мс	3,18	3,62	4,12	4,37	4,74	5,68	7,17	9,73	10,40	12,0
За ехограмою, м	5,08	5,79	6,59	6,99	7,58	9,09	11,47	15,57	16,64	19,2
Рулеткою, м	4,78	5,68	6,71	6,83	7,34	8,88	10,58	—	—	—

Результати вимірювань рулеткою та ехограмою збігаються, тобто, не розкриваючи трубопровід, можна визначити, де знаходяться серйозні дефекти, що також дає змогу застосовувати пристрій для деталей авіабудівної промисловості.

Цапфа є відповідальною деталлю, що має тонкостінну конструкцію складного профілю, тому використання вищенаведених методів неруйнівного контролю є актуальним.

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ АБО ЗАХОДІВ

Для підвищення ефекту економіко-технічних показників в дипломному проєкті було об'єднано декілька токарних операцій, які виконувалися на двох токарних верстатах 16K20, в одну токарну 020 на верстаті з ЧПУ CL-1640ZX CNC.

Підраховую річну економію завдяки об'єднанню операцій, не враховуючи вартість основного матеріалу [22, с.91]:

$$E_{річ} = [(C_1 + E_n \cdot K_1) - (C_2 + E_n \cdot K_2)] \cdot N \quad (6.1)$$

де $C_{1,2}$ – технологічна собівартість однієї одиниці продукції до та після зміни обладнання;

E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних витрат;

$K_{1,2}$ – питомі капітальні витрати до та після зміни обладнання, що препадають на одну одиницю продукції й розраховуються за формулою [22, с.93] (6.2).

$$K_1 = B_{61} / N \quad K_2 = B_{62} / N \quad (6.2)$$

де B_{61}, B_{62} – вартість (балансова) обладнання до та після зміни грн./шт.

Технологічна собівартість на одну одиницю продукції має такі статті витрат, що будуть наведені в формулі [22, с.91] (6.3):

$$C = B_o + Z_o + A_v + B_p + B_e + B_{ін} + B_{пр} \quad (6.3)$$

де B_o – вартість основних матеріалів, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.91] (6.4):

$$B_o = H_B \cdot C_M - B \cdot C_B \quad (6.4)$$

де H_B – норми витрат матеріалу на одну одиницю продукції, кг;

C_M – ціна матеріалу за один кг, грн/кг;

B – величина відходів на одну одиницю продукції, кг;

C_B – ціна відходів за один кг, грн/кг.

Z_o – основну заробітну плату основних робочих, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.91] (6.5):

$$Z_o = P_{\text{від.сум}} \quad (6.5)$$

де $P_{\text{від.сум}}$ – відрядна сумарна розцінка за операціями технологічного процесу.

A_B – амортизаційні відрахування на одну деталь, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.92] (6.6):

$$A_B = B_6 \cdot H_a / (100 \cdot N) \quad (6.6)$$

де B_6 – балансова вартість даного обладнання, грн/шт;

H_a – норми амортизації, %.

B_p – витрати пов'язані з ремонтом, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.92] (6.7):

$$B_p = 0,5 \cdot A_B \quad (6.7)$$

B_e – витрати на енергію, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.92] (6.8):

$$B_e = (N_{\text{обл}} \cdot K_n \cdot T_{\text{маш}} \cdot C_B) / 60 \quad (6.8)$$

де $N_{\text{обл}}$ – потужність обраного обладнання, кВт;

K_n – коефіцієнт попиту 0,7–0,9;

$T_{\text{маш}}$ – машинний час операції, хв;

Π_v – ціна кВт/год силової енергії, грн/кВт.

$V_{\text{ріж}}$ – витрати на ріжучий інструмент грн., підраховую за формулою [22, с.92] (6.9):

$$V_{\text{ріж}} = V_{\text{хв}} \cdot T_{\text{маш}} \cdot K_{\text{под}} \quad (6.9)$$

де $V_{\text{хв}}$ – вартість експлуатації 1ї хвилини ріжучого інструменту, грн./хв.;

$K_{\text{под}}$ – коефіцієнт підвищення ціни інструменту.

$V_{\text{пр}}$ – витрати, які пов'язані з експлуатацією приміщень, що займає обладнання, грн/шт, підраховую за формулою [22, с.92] (6.10):

$$V_{\text{пр}} = \frac{S_{\text{вир}} \cdot K_{\text{дод}} \cdot T_{\text{шт}} \cdot C_{\text{прим}}}{\Phi_d \cdot 60 \cdot K_{\text{вн}}} \quad (6.10)$$

де $S_{\text{вир}}$ – виробнича площа, котру займає обладнання до та після зміни, м²;

$K_{\text{дод}}$ – коефіцієнт, котрий враховує додаткову площу;

$C_{\text{прим}}$ – вартість експлуатації приміщення, котру займає обладнання, грн/шт;

$K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт використання ефективного часу.

Технологічна собівартість перед зміною обладнання.

Вартість основних матеріалів підраховую за формулою (6.4):

$$V_o = 15,78 \cdot 3,15 - 14,78 \cdot 0,14 = 47,92 \text{ грн/шт.}$$

Основну заробітну плату основних робочих, грн/шт, підраховую за формулою (6.5):

$$З_o = 2,85 \text{ грн./шт.}$$

Амортизаційні відрахування на одну деталь, грн/шт, за формулою (6.6):

$$A_v = \frac{422000 \cdot 24}{100 \cdot 5000} = 20,26 \text{ грн/шт.}$$

Витрати пов'язані з ремонтом підраховую за формулою (6.7):

$$B_p = 0,5 \cdot 20,26 = 10,13 \text{ грн/шт.}$$

Витрати на енергію підраховую за формулою (6.8):

$$B_e = \frac{7 \cdot 0,7 \cdot 6,08 \cdot 0,88}{60} = 0,44 \text{ грн/шт.}$$

Витрати на ріжучий інструмент підраховую за формулою (6.9):

$$B_{p\dot{r}i\dot{z}} = \frac{1,55 \cdot 6,08 \cdot 1,14}{60} = 0,18 \text{ грн/шт.}$$

Витрати, які пов'язані з експлуатацією приміщень, що займає обладнання, підраховую за формулою (6.10):

$$B_{np} = \frac{12,8 \cdot 2 \cdot 3,68 \cdot 1150}{3851 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,45 \text{ грн/шт.}$$

Технологічну собівартість на одну одиницю продукції підраховую за формулою (6.3):

$$C_1=47,92+2,85+20,26+10,13+0,44+0,18+0,44=82,22 \text{ грн/шт.}$$

Після заміни обладнання також розраховується технологічна собівартість.

Вартість основних матеріалів підраховую за формулою (6.4):

$$B_o=12,87 \cdot 3,5 - 11,79 \cdot 0,14 = 43,39 \text{ грн/шт.}$$

Основну заробітну плату основних робочих, грн/шт, підраховую за формулою (6.5):

$$Z_o = 3,14 \text{ грн/шт.}$$

Амортизаційні відрахування на одну деталь, грн/шт, підраховую за формулою (6.6):

$$A_v = \frac{180000 \cdot 24}{100 \cdot 5000} = 8,64 \text{ грн/шт.}$$

Витрати, пов'язані з ремонтом, підраховую за формулою (6.7):

$$B_p = 0,5 \cdot 8,64 = 4,32 \text{ грн/шт.}$$

Витрати на енергію підраховую за формулою (6.8):

$$B_e = \frac{3,5 \cdot 0,7 \cdot 1,07 \cdot 0,75}{60} = 0,03 \text{ грн/шт.}$$

Витрати на ріжучий інструмент підраховую за формулою (6.9):

$$B_{in} = \frac{1,55 \cdot 1,07 \cdot 1,14}{60} = 0,04 \text{ грн/шт.}$$

Витрати, які пов'язані з експлуатацією приміщень, що займає обладнання, підраховую за формулою (6.10):

$$B_{\text{пр}} = \frac{6,5 \cdot 2 \cdot 0,92 \cdot 950}{3851 \cdot 60 \cdot 1,05} = 0,05 \text{ грн/шт.}$$

Технологічну собівартість на одну одиницю продукції підраховую за формулою (6.3):

$$C_2 = 43,39 + 3,14 + 8,64 + 4,32 + 0,03 + 0,04 + 0,05 = 59,6 \text{ грн/шт.}$$

Питомі капітальні витрати до і після заміни обладнання що приходять на одиницю продукції розраховуються за формулою (6.2):

$$K_1 = 422000 / 5000 = 84,4 \text{ грн/шт.};$$

$$K_2 = 180000 / 5000 = 36 \text{ грн/шт.}$$

Розрахунок річної економії за рахунок об'єднання операцій та заміни обладнання без врахування вартості основного матеріалу проводимо за формулою (6.1):

$$E_{\text{річ}} = [(82,22 + 1,3 \cdot 84,4) - (59,6 + 1,3 \cdot 36)] \cdot 5000 = 427650 \text{ грн.}$$

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

Згідно рекомендацій методичних вказівок проаналізуємо потенційні небезпеки, що можуть виникати під час обробки деталей на токарних верстатах з ЧПУ, на токарно-фрезерному верстаті, під час операцій на вертикально-свердильному, плоскошліфувальному, внутрішньо шліфувальному, токарно гвинторізному, фрезерно-свердильному з ЧПУ та в процесі виконання виробничих обов'язків працівників механічної дільниці [23]:

1. Можливе ураження електричним струмом, у наслідок несправності електорообладнання;
2. Механічні травми внаслідок різноманітних організаційних причин;
3. Можливе травмування очей пиловими частками або стружкою, що відлітає в процесі обробки матеріалів.
4. Недостатнє освітлення приміщень, у зв'язку з несправністю або хибного вибору освітлювальних приладів може привести до травмування та погіршення зору;
5. Підвищений рівень шуму призводить до роздратованості, в окремих випадках - до погіршення слуху.
6. Вірогідність загоряння, у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що призводить до пожежі;
7. Неправильні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, які призводять до паніки та загибелі людей.

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Щоб уникнути механічних та електричних травм під час технологічного процесу передбачені заходи по проведенню навчання, перевірки знань з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих згідно НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці» [24].

Безпека людей під час виконання технологічних вимог та роботи на обладнанні гарантується вибором принципів дії, конструктивних схем, матеріалів та робочого процесу, дотриманням ергономічних вимог, а також відповідністю вимогам нормативно-правових актів, законодавства України та рекомендацій «Технічному регламенту безпеки» [25].

Для уникнення можливих травм при контакті з рухомими частинами верстатів передбачені захисні огорожі згідно ДСТУ EN ISO 14120:2017 «Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож» [26].

Категорія приміщення, відповідно НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок» - підвищеної небезпеки (сухе – відносної вологості не більше 60%, металевий пил в повітрі, температура до 30°C, залізобетонна підлога). Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам: ПУЕ («Правила устрою електроустановок»), величина опору захисного заземлення електрообладнання приміщення – 4 Ом [27].

Для попередження механічних травм враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» [28].

З метою зменшення важкої фізичної праці та запобіганню травматизму в умовах серійного виробництва передбачено механізоване переміщення вантажів, масою понад 20 кг та на відстань понад 25 м, яке відповідає вимогам ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні» [29].

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для механічної дільниці розроблено згідно вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МЮУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 (далі – «Гігієнічна класифікація праці»), ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [30].

Метеорологічні умови на дільниці: температура повітря, відносна вологість повітря й швидкість його переміщення відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень». Роботи на дільниці належать до категорії Па – робота середньої важкості, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату [31]:

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

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

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Загальне та місцеве освітлення, його рівень вибрані згідно рекомендацій ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [32]. Нормована освітленість на робочій поверхні становить 200-300 лк, для забезпечення якої застосовуються світильники типу РСП, з газорозрядними лампами типу ДРЛ.

Рівні вібрації під час верстатних робіт перевищують допустимі значення, що визначені в ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації» і ДСТУ ГОСТ 12.1.012:2008 «ССБП. Вібраційна безпека. Загальні вимоги» [33].

7.4 Заходи з пожежної безпеки

Заходи з пожежної безпеки розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [34].

Залежно від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин й матеріалів пожежі згідно ДСТУ EN 2:2014 «Класифікація пожеж (EN 2:1992, EN 2:1992/A1:2004, IDT)» приміщення відноситься до класу можливої пожежі класів – А (пожежа, що супроводжується горінням твердих матеріалів) та Е (пожежі, пов'язані з горінням електроустановок, що перебувають під напругою до 1000 В) [34].

Згідно із методикою визначення категорій приміщень та будівель за вибухопожежною та пожежною небезпекою, який регламентується

ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою» та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки – наявність незаймистих речовини і матеріали в холодному стані [34].

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», ступінь вогнестійкості приміщення дослідницької лабораторії – II.

Згідно ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги», на випадок пожежі передбачені два шляхи евакуації працівників із адміністративних приміщень та два евакуаційних виходи з механічної дільниці. Максимальне видалення від найбільш віддаленого робочого місця до найближчого евакуаційного виходу, згідно п.2.29 СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» становить 70 метрів.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників», затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 приміщення (лабораторія) оснащено переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 2 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини [35].

7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях. Аварії на радіаційно-небезпечних об'єктах

Об'єкти, на яких використовуються, виготовляються, переробляються, зберігаються або транспортуються небезпечні радіоактивні, хімічні й біологічні речовини, пожежовибухові, гідротехнічні й транспортні споруди, транспортні засоби, а також інші об'єкти, що створюють загрозу виникнення

НС є потенційно небезпечними об'єктами. Особливу небезпеку для людей і навколишнього середовища становлять радіаційно небезпечні об'єкти (РНО). До РНО належать: атомні електростанції (АЕС), підприємства з виготовлення і переробки ядерного палива, підприємства поховання радіоактивних відходів, науково-дослідні організації, які працюють з ядерними реакторами; ядерні енергетичні установки на об'єктах транспорту та ін [36, 37].

В Україні діють 5 атомних електростанцій з 16 енергетичними ядерними реакторами, 2 дослідних ядерних реактори та більше 8 тис. підприємств і організацій, які використовують у виробництві, науково-дослідній роботі та медичній практиці різноманітні радіоактивні речовини, а також зберігають і переробляють радіоактивні відходи.

З усіх можливих аварій на РНО найбільш небезпечними є радіаційні аварії на атомних електростанціях з викидом радіоактивних речовин у навколишнє середовище [36, 37].

Радіаційні аварії - це аварії з викидом радіоактивних речовин або іонізуючих випромінювань за межі, непередбачені проектом для нормальної експлуатації радіаційно небезпечних об'єктів, у кількостях понад установлену межу їх безпечної експлуатації.

Потенційною небезпекою для України є можливі аварії на АЕС інших держав з викидом радіоактивних речовин.

При аваріях на АЕС можуть бути пошкодження конструкцій, технологічних ліній, пожежі, викиди в навколишнє середовище радіоактивних речовин. У 1998 р. на АЕС було 44 надзвичайних подій об'єктового характеру.

Прогноз і оцінювання радіаційної обстановки передбачають два види можливих аварій: гіпотетична аварія і аварія з руйнуванням реактора.

Гіпотетична аварія - це аварія, для якої проектом не передбачаються технічні заходи, що забезпечують безпеку АЕС. Може утворитись небезпечна радіаційна обстановка при викиданні в атмосферу радіоактивних речовин, що може призвести до опромінення населення.

Аварія з повним руйнуванням ядерного реактора може відбутися в результаті стихійного лиха, вибуху боєприпасів, падіння повітряного транспорту на споруди АЕС та ін. Така аварія може бути з розривом трубопроводів із теплоносієм, ушкодженням реактора і герметичних зон, виходом з ладу систем керування і захисту, що може призвести до миттєвої втрати герметичності конструкцій реактора, сплавлення тепловидільних елементів і викиду радіоактивних речовин з парою в навколишнє середовище, можливе розкидання радіоактивних осколків, уламків конструкцій паливних елементів [36, 37].

З моменту зруйнування реактора до його накриття проходить тривалий час, який розділяють на 3 етапи - ранній, проміжний і відновний.

1. Ранній - від моменту аварії до кількох годин після її початку.

2. Проміжний - від кількох годин до кількох діб після початку аварії. Більша частина викиду вже відбулася і радіоактивні речовини в основному вже осіли на поверхні ґрунту.

3. Відновний - характеризується поступовою відміною введених раніше засобів захисту і прийняттям рішень пов'язаних з поверненням людей до нормального способу життя.

В результаті аварії на АЕС при викиді радіонуклідів в атмосферу утворюється хмара або факел. В процесі її поширення відбувається розсіювання радіоактивних продуктів, що в ній містяться. Це зумовлює зовнішнє опромінення населення від хмари (факелу), а також надходження радіонуклідів в організм за рахунок вдихання радіоактивних аерозолів.

Осідання радіоактивних аерозолів з хмари (факелу) на поверхню землі і відкриті водоймища створює радіоактивне забруднення цих середовищ, а також людини. Це призводить до зовнішнього опромінення від радіоактивних продуктів, що осіли на ґрунт, а також контактного опромінення за рахунок радіоактивного забруднення одягу та відкритих ділянок тіла. В подальшому радіонукліди включаються в обмінні процеси,

що призводить до їх нагромадження в організмі і наступної міграції харчовими ланцюгами [36, 37].

Основні фактори, що визначають радіаційну ситуацію при ядерній аварії на АЕС наступні:

- характер надходження радіоактивних речовин в навколишнє середовище;
- загальна кількість радіоактивних речовин, що потрапили в навколишнє середовище;
- радіонуклідний склад аварійного викиду;
- метеорологічні умови в момент радіоактивного викиду (напрямок, швидкість вітру, опади);
- віддаль від джерела аварійного викиду до населених пунктів;
- гідрогеологічні і ґрунтові характеристики місцевості, їх рельєф;
- характер сільськогосподарського використання території, яка зазнала радіоактивного забруднення;
- умови водопостачання і харчування населення, характер його трудової діяльності;
- щільність населення і характер забудови території, що зазнала впливу радіоактивних опадів;
- час, що пройшов з моменту радіаційної аварії.

Масштаби і характер викидів радіонуклідів в значній мірі визначається конструктивними особливостями АЕС, її потужністю, особливістю руйнування будівельних конструкцій, захисної оболонки та ін. факторами, що сильно утруднює задачу прогнозування наслідків аварій.

Тому, розробку заходів із захисту людей в районах розміщення АЕС потрібно проводити на основі розрахунку на найважчий варіант перебігу і розвитку аварії. У відповідності з таким варіантом в атмосферу може бути викинуто до 100 % благородних газів, йоду, цезію і телуру, 10-30 % стронцію і до 3 % таких ізотопів, як рутеній і лантан. Загальна активність викиду при

аварії може досягти 10 % від загальної активності реактора на момент його зупинки або руйнування [36, 37].

Радіаційні аварії на АЕС можуть супроводжуватись як одноразовим (короткочасним) так і багаторазовим (тривалим) викидом радіонуклідів в навколишнє середовище.

При одноразовому викиді радіонуклідів в атмосферу, як правило, потрібний радіаційний захист населення в напрямку руху радіоактивної хмари.

При багаторазових і тривалих викидах радіоактивному забрудненню може піддаватись значна територія. Найбільша кількість радіонуклідів викидається протягом перших годин. Потім можуть бути повторні викиди, але вони, як правило, менш значні. В такій ситуації потрібно провести крупно масштабні заходи з радіаційного захисту населення.

Поширення газо-аерозольних сумішей при аваріях на АЕС може привести до ураження незахищеного населення на віддалі до 20-30 км. Окремі вогнища радіоактивного забруднення місцевості можуть відмічатися на віддалі до 80 км і більше.

Біологічна дія викинутих з реактора радіонуклідів різна і зумовлена з одного боку, їх фізичними властивостями (вид і енергія випромінювання, період піврозпаду), а з другого - їх біологічними особливостями (величина резорбції, характер розподілу в організмі та ін.).

Виходячи з цього, розробку заходів захисту населення в районах розміщення АЕС необхідно проводити на основі розрахунків на найважчий варіант розвитку аварії. При такому варіанті в атмосферу може бути викинуто до 100 % благородних газів, йоду, цезію і телуру, 10-30 % стронцію і до 3 % рутенію і лантану. На момент аварійного зупинення або руйнування реактора загальна активність викиду радіонуклідів може становити до 10% загальної активності реактора.

На території України розташовано понад 8000 різних установ і організацій, діяльність яких призводить до утворення радіоактивних відходів (РАВ). Виробниками і місцями концентрації радіоактивних відходів є:

1) АЕС (накопичено 70 тис. м³ РАВ);

2) уранодобувна і переробна промисловість (накопичено 65,5 млн м³ РАВ);

3) медичні, наукові, промислові та інші підприємства і організації. Збирання, транспортування, переробку і тимчасове зберігання радіоактивних відходів та джерел іонізуючого випромінювання (ДІВ) від цих підприємств і організацій незалежно від їх відомчої підпорядкованості здійснює Українське державне об'єднання "Радон" (накопичено 5 тис. м³ РАВ);

4) зона відчуження Чорнобильської АЕС (понад 1,1 млрд м³ РАВ).

Всі підприємства і організації (крім АЕС) незалежно від відомчої належності передають радіоактивні відходи на міжобласні спеціалізовані комбінати (МСК) державного об'єднання "Радон", яке має у своєму складі 6 спеціалізованих комбінатів: Київський, Львівський, Донецький, Дніпропетровський, Одеський і Харківський. Львівський, Харківський, Одеський і Дніпропетровський спецкомбінати приймають і ховають низько- та середньоактивні радіоактивні відходи. Донецький спецкомбінат не має вільних сховищ для зберігання та поховання РАВ. Київський комбінат може приймати для тимчасового зберігання відходи низької та середньої активності.

На Київському і Харківському державних міжобласних спеціалізованих комбінатах через недосконалі конструкції старих сховищ для радіоактивних відходів виникло забруднення підземних вод поза межами сховищ радіонуклідами тритію. Причиною поширення радіонуклідів поза межами сховищ РАВ, у тому числі законсервованих, є недосконалість конструкції сховищ. Міграція радіонуклідів зі сховищ відбувається внаслідок порушення гідроізоляції. У сховищах радіоактивних відходів і джерел іонізуючого

випромінювання накопичується вода, яка проникає з атмосферними опадами та утворюється внаслідок конденсації.

На території України розташовані 2 дослідні реактори (у Києві та у Севастополі) та одна критична збірка (в Харкові), яку на цей час зупинено. Можливі аварії на цих реакторах з радіоактивним забрудненням є загрозою насамперед містам, у яких вони розташовані. Небезпекою є й те, що реактори знаходяться в зоні польотів повітряного транспорту. На Київському реакторі були аварії у 1968, 1969 і 1970 рр.

У 1968 р. у навколишнє середовище було викинуто 40 кюрі радіоактивного йоду, що перевищувало допустиму норму в 400 разів. 4 лютого 1970 р. у результаті аварії на реакторі було опромінено 17 осіб.

Важливим завданням є поховання джерел іонізуючого (гамма-та нейтронного) випромінювання (ДІВ) тільки у спеціалізованих сховищах шляхом безконтейнерного розвантаження джерел (в Україні ДІВ ховають здебільшого у захисних контейнерах), а також необхідно переховати тверді радіоактивні відходи зі сховищ [36, 37].

Таким чином, для збереження здоров'я необхідно дотримуватись виробничої дисципліни, правил внутрішнього розпорядку, вимог інструкцій та, у разі потреби, застосувати засоби індивідуального захисту.

7.6 Значення шуму під час виробничого процесу

Розробка заходів по зниженню шуму вимагає комплексного аналізу причин його виникнення та усвідомлення рівня негативу, що супроводжує його розповсюдження. Як відомо, шум викликає роздратованість, заважає сконцентруватись під час бесіди, погіршує процес аналізу складної за змістом інформації, може стати причиною підвищеного стомлення

робітників. Загальне самопочуття і здоров'я людини також суттєво залежить від терміну дії шуму і часу роботи в таких умовах [38].

Суб'єктивне відчуття шуму у різних людей дуже відрізняється, бо слуховий апарат особистості реагує по різному на різні частоти і рівень шуму, що крім характеристик самого шуму залежить і від чутливості органу слуху та індивідуальних особливостей, як фізіологічних, так і загального здоров'я, віку людини.

Також на емоційний стан працюючих в умовах ненормованого шуму впливає його частота. При її збільшенні збільшується і чутливість вуха, тобто однакові за рівнем звуку але різні за частотою, людина вважає більш гучними, якщо у звука більша частота. На психологічне самопочуття високочастотний звук також впливає більш активно. Пов'язано це з тим, що високочастотний діапазон характеризується підвищеним випромінюванням звукової енергії в навколишнє середовище. Не зважаючи на те, що негативний вплив шуму на самопочуття працюючих зрозумілий, знизити його до мінімальних значень в промислових умовах, нажаль, не можливо.

Взагалі, промисловий шум характеризується хаотичним поєднанням різноманітних звуків, що супроводжують робочий процес. Крім постійного шуму, що утворюється обладнанням, можливим є виникнення інтенсивного ударного шуму, що виникає в процесі правки чи обрубки металевих листів, операції клепання та таке інше. Акустична енергія, що при цьому генерується, віддзеркалюється не тільки від деталі, що обробляється та джерела енергії, але і від усіх поверхонь, що розташовані на механічній ділянці [38]

Шум металорізальних верстатів можливо зменшити за рахунок зміни режимів різання, що не завжди можливо згідно технологічного процесу, та зміни швидкості обробки, що призведе до зменшення продуктивності праці. Останнім часом, промисловість усього світу йде по шляху створення обладнання, заходи по зменшенню шуму якого вирішуються конструктивно.

Застосування ефективних мастильно-змащуючих рідин дає можливість зменшити шум в середньому на 11-15дБ [39].

В реальних умовах механічного цеху недостатньо тільки заміряти рівень шуму за допомогою приладів та знати при яких частотах працює обладнання, тому що шум, як правило непостійний, може суттєво збільшуватись під час змін, що супроводжують технологічний процес. Спектр шум, що генерується різцем в процесі зняття стружки з деталі, що обробляється, як правило має середні або високочастотні характеристики. Звук, що при цьому утворюється, залежить від самого різця, та твердості деталі, що обробляється [39].

Тому, для гігієнічного визначення умов праці та розробки підходів для створення більш комфортних для здоров'я умов, застосовується комплексний підхід. Спочатку необхідно проаналізувати технічні характеристики обладнання, що застосовується для виготовлення деталей в механічному цеху. В таблиці1 наведено рівні шуму, що визначені паспортними характеристиками обладнання.

В умовах виробництва, сумарний рівень шуму визначається правилом енергетичного додавання. Як що джерела мають однаковий рівень, то сумарний рівень може бути визначений за формулою [39]:

$$L=L_i+10\lg n, \quad (7.1)$$

де: L_i -рівень шуму i -го джерела;

n - кількість однакових джерел шуму;

Орієнтуючись на значення, що наведено в табл.7.1, розрахуємо шум, що може виникнути під час обробки деталей:

$$L_1=83+10\lg 3=87,77\text{дБ}$$

$$L_2=84+10\lg 2=87,01\text{дБ}$$

$$L_3=85+10\lg 2=88,01\text{дБ}$$

$$L_4=75+10\lg 2=78,01\text{дБ}$$

Таблиця 7.1 – Рівні шуму різноманітного обладнання

Вид обладнання	Сумарний рівень звукового тиску, дБА	Різниця між допустимим і фактичним значення	Термін дії
Токарний верстат з ЧПУ	84	4	постійно
Токарно-фрезерний	85	5	постійно
Вертикально-свердлильний	83	3	постійно
плоскошліфувальний	83	3	постійно
Внутрішньошліфувальний	84	4	постійно
Токарний гвинторізний	85	5	постійно
Фрезерно-свердлильний з ЧПУ	83	3	постійно
Загальна вентиляційна система	75	-5	постійно
Місцева вентиляція	75	-5	періодично
Обдув стислим повітря (супроводжується високо частотним шумом)	92	12	періодично
Електродвигуни	Спектр 30-110		періодично

Враховуючи, що в умовах механічного цеха одночасно працюють верстати з різним рівнем шуму, то для визначення шуму, що може виникнути під час роботи верстатів їх рівні сумуються послідовно [39]:

$$L=L_{\max}+ P, \quad (7.2)$$

де: P- поправка, що залежить від різниці рівней шуму двох джерел.

Наприклад, якщо різниця рівней шуму двох джерел становить 0,1,2,3,4,5,6,10,15 дБ, поправка, що додається до більшого значення шуму, відповідно становить -3; 2.5; 2.1; 1.8; 1.5; 1.2; 1; 0.4; 0.2 дБ. Якщо різниця в рівнях шуму між двома джерелами становить більше ніж десять дБ, то джерело шуму з меншим значенням не враховується. Шум, що супроводжує роботу загальної та місцевої вентиляційної системи не враховуємо, бо різниця між шумом L_1 , L_2 , L_3 більша ніж 10 дБ.

Для визначення сумарного розрахункового рівня шуму, визначимо спочатку значення поправки, враховуючи, що різниця становить:

$$P = L_3 - L_4 = 88,01 - 78,01 = 10 \text{ дБ}$$

Враховуючи рекомендації науково-практичних досліджень [38] рівню шуму в 10 дБ відповідає поправка в 0.4 дБ, а можливий розрахунковий рівень шуму, що супроводжує механічну обробку деталей може становити 88, 4 дБ. Для оцінки можливості безпечно працювати в таких умовах порівнюємо результати з рекомендаціями ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку», відповідно яких для промислових приміщень нормативно допустимим є рівень в 80 дБа. Тобто показники шумового навантаження ($L=88,4\text{дБ}$) перевищують допустимий рівнів на 8 дБ.

Для забезпечення комфортних та безпечних умов праці найбільш доцільно застосувати метод зменшення сили шуму на шляху його поширення - звукоізоляцію та звукопоглинання (стіни, загородки, перекриття з металу, товстого скла, цегли, залізобетону, які покривають пористими матеріалами, шлаковатою, пінополіуретаном, тканинами тощо) [38]. Над верстатами доцільно розташувати акустичні плити із шпаристо-волокнистого матеріалу (скляне, базальтове волокно, мінеральна вата) в захисній оболонці із тканини з металевим напиленням. Акустична ефективність використання таких плит становить приблизно 5-8 дБ в середньо частотному звуковому діапазоні [41].

Для реальної оцінки рівнів шуму на робочих місця в умовах виробництва застосовується прибори ВШВ-003М2 та ШВИЛ-01ДМ. У випадку перевищення нормативно допустимих значень, для контролю стану здоров'я працюючих передбачено проходження медичних оглядів один раз на два роки та (у разі необхідності) проведення профілактичного лікування.

ВИСНОВОК

Відповідно завданням магістерського дипломного проєкту, було удосконалено технологічний процес виготовлення деталі «цапфа». Обрано більш доцільний метод отримання заготовки. Також на заготовку було призначено припуски. Було визначено та призначено режими різання та технічне нормування часу згідно рекомендаціям нормативних документів машинобудівної галузі.

При допомозі програмного забезпечення Siemens NX CAM було розроблено 3D моделі двох варіантів заготовок та деталі. Технологічний процес було розроблено з врахуванням вимог охорони праці. Було розроблено та спроектовано пристосування верстатів, які дозволяють швидко та надійно затискати та закріплювати заготовку під час обробки, що є важливою особливістю в умовах серійного виробництва. Було запропоновано автоматизувати промисловий неруйнівний контроль.

Виконано спеціальне завдання на тему: «неруйнівний контроль об'єктів, що тривало експлуатуються». На міцність було розраховано, найуразливішу частину деталі при допомозі програмного забезпечення SIEMENS NX.

Також розроблено та укомплектовано альбом технологічної документації на виготовлення деталі «Цапфа».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ГОСТ 8479-70 Поковки из конструкционной углеродистой и легированной стали. Постановлением Госстандарта от 23.06.86 № 1671 срок действия продлен до 01.01.92*.

2. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи технології виготовлення деталей та складання машин» для студентів спеціальності 6.05050201 – технологія машинобудування всіх форм навчання // Укл.: В.І. Ципак (перевидання 2-е). Під ред., Гончар Н.В. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012 – 62 с.

3. Справочник технолога-машиностроителя Т1. /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.- 694 с.

4. Методичні вказівки до практичних занять з дисциплін «Технології машинобудування» (розділ – проектування технологічних процесів), для студентів напрямку 6.050502. Спеціальності «Металорізальні верстати та системи» усіх форм навчання // Укл.: О.В.Алексєєнко. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2011.– 86 с.

5. Нормативные таблицы режимов резания на токарные, сверлильные и фрезерные работы, справочник: Запорожье; изд-во АТ «Мотор Сич», Т1 – 136с., Т2 – 133с.

6. Справочник технолога-машиностроителя Т2. /Под ред. А.Г.Косиловой, Р.К.Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985.- 652 с.

7. Стружестрах Е.И. Справочник нормировщика.М.: Машиностроение, 1961.-Т2.-890с.

8. Богуслаев В. А. Станочные приспособления / В. А. Богуслаев, В. А. Леховицер, А. С. Смирнов. – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2000. – 461 с.

9. Электронный ресурс: http://www.tndt.idspektr.ru/images/stories/archive/03_2018/tndt_2018_03_pp_044_046.pdf.
10. Каневский, И.Н. Неразрушающие методы контроля: учеб. пособие / И.Н. Каневский, Е.Н. Сальникова. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2007. – 243 с.
11. Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т. / под общ. ред. В.В. Ключева. Т. 1. Визуальный и измерительный контроль. Кн. 1 / Ф.Р. Соснин. 2-е изд., перераб. М.: Машиностроение, 2008.
12. Троицкий В.А., Литвиненко В.А. Устройство для быстрого и точного визуального контроля протяженных металлоконструкций // Сварщик. 2019. № 4. С. 38 – 42.
13. Троицкий В.А. Визуально-измерительный контроль протяженных металлоконструкций на основе подвижных магнитных систем // Монтажные и строительные работы. 2018. № 4. С. 2 – 8.
14. ГОСТ Р ИСО 6520-1–2012. Классификация дефектов геометрии и сплошности в металлических материалах. Ч. I. Сварка плавлением: ISO 6520-1:2007. М.: Стандартиформ, 2014.
15. ГОСТ Р ИСО 5817-1–2009. Сварные соединения из стали, никеля, титана и их сплавов, полученные сваркой плавлением, уровни качества: ISO 5817:2003. М.: Стандарт - информ, 2011.
16. Troitskiy V.A. Quik Industrial X-ray Testing without Intermediate Data carriers of Information, ASNT // The NDT Technician. 2016. V. 15. No. 4.
17. Troitskiy V.A. Perspective of development of radiation testing of Welded joints // 19 th WCNDT2016, Munich, Germany, 2016.
18. Troitskiy V.A. Digital radiographic systems for NDT of Welding joints // 12th ECNDT conference. Gothenburg, 2018, June, 11 – 15. Gothenburg, 2018.
19. Troitskiy V.A. Indust X-ray testing without intermediate data carriers of information // Badanja Nieniszczone Diagnostyka. 2018. No. 2. P. 29 – 34.
20. Troitskiy V.A. Non-destructive testing of multilayers welded structures // Insight. 1997. V. 39. No. 9. European IS.

21. Jinhao Ge, Wei Li, Guoming Chen. Analysis of signals for inclined crack detection through alternating Current field measurement with a U-shaped probe // Insight. 2017. V. 59. No. 3.

22. Методичні рекомендації до проектування магістерської роботи з технології авіадвигунобудування та машинобудування / В.К. Яценко, В.І. Ципак, Є.Я. Кореневський. – Запоріжжя: ЗДТУ, 2000. – 245 с.

23. Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах (проектах) зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Технологія машинобудування»; 133 «Галузеве машинобудування» за освітньою програмою (спеціалізація) «Металорізальні верстати та системи»; 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» за освітньою програмою (спеціалізація) «Авіаційні двигуни та енергетичні установки», «Технології виробництва авіаційних двигунів та енергетичних установок» / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: Каф. ОП і НС. НУ «Запорізька політехніка», 2019. – 32 с.

24. НПАОП 0.00-4.12-05.Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. [На заміну ДНАОП 0.00-4.12-99, ДНАОП 0.00-8.01-93]. К. : Держнагляд охорони праці, 2005. 26с.- (Нормативно-правовий акт охорони праці)

25. 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)

26. ДСТУ EN ISO 14120:2017«Безпечність машин. Захисні огорожі. Загальні вимоги до проектування та будівництва стаціонарних і знімних захисних огорож».

27. ПУЕ-2017. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86 ; чинний з 2017-08-21]. К. : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

28. ДБН В.2.2-28:2010 Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення . [На заміну СНиП 2.09.04-87 ; чинний від 2011-10-01]. К. : Міненбуд України, 2011. 31 с.

29. ДСТУ EN 13155-2018 «Крани вантажопідіймальні. Вимоги щодо безпеки. Пристрої вантажозахоплювальні знімні».

30. Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу. [На заміну ГН 3.3.5-8.6.6.1-2002 ; чинний від 2014-05-30]. К. : МОЗ України, 2014. 37 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14>. (Державні санітарні норми та правила)

31. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Електронний ресурс]:– Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

32. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

33. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації, [Електронний ресурс] Чинний від 1999-12-01. К. : МОЗ України, 1999. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>

34. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною безпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с. (Державний Стандарт України)

35. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с. (Правила)

36. Демиденко Г. П. [и др.]. Повышение устойчивости работы объектов народного хозяйства в военное время : учебное пособие. К. : Вища шк. Головное изд-во, 1984. 232 с.

37. Шоботов В. М. Цивільна оборона : навчальний посібник вид. 2-ге, перероб. Київ : Центр навчальної літератури, 2006. 438 с.

38. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с. + 1 эл. опт. диск (CD-ROM). ISBN 978-617-07-0134-3.

39. Тимофеев Л.П., Усок В.Ф. Снижение шума на промышленных предприятиях. К., Техника, 1980.-143с.

40. Пістун І. П., Стець Р. Є., Трунова І. О. Охорона праці в галузі машинобудування: Навч. посіб. – Суми: Університетська книга, 2011. 557 с.

41. Жидецький В. Ц. Практикум із охорони праці : навчальний посібник. Львів : Афіша, 2000. 352 с. : іл., табл. ISBN 966-7760-09-X

