

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний

(повне найменування інституту, факультету)

Технологія машинобудування

(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

другий (магістерський)

(ступінь вищої освіти)

на тему «Забезпечення несучої здатності поверхневого шару
деталей з легованих сталей технологічними методами»

Виконав: студент(ка) _6_ курсу, групи _М-110м_

Спеціальності _131 Прикладна механіка_
(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)
Технологія машинобудування

Клименко П. К.

(прізвище та ініціали)

Керівник _Логомінов В.О., канд. техн. наук, доц._
(прізвище та ініціали)

Рецензент _Матюхін А.Ю., канд. техн. наук, доц._
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет Машинобудівний
 Кафедра Технологія машинобудування
 Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) другий (магістерський)
 Напрямок підготовки «Технологія машинобудування»
 (код і назва)
 Спеціальність 131 «Прикладна механіка»
 (код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри С. І. Дядя
 “ ” 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
 НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Клименко Павла Костянтиновича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) Забезпечення несучої здатності поверхневого шару з легованих сталей технологічними методами

керівник проекту (роботи) Логомінов В. О., канд. техн. наук, доцент,

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” 11 2021 року № 443

2. Строк подання студентом проекту (роботи) _____

3. Вихідні дані до проекту (роботи) робоче креслення деталі, річна програма випуску N = 4000 шт

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Технологічна частина; 2 Конструкторська частина; 3 Розмірний розрахунок; 4 Розрахунок деталі на міцність; 5 Спеціальне завдання. Забезпечення несучої здатності поверхневого шару легованих сталей технологічними методами; 6 Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів; 7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Креслення деталі, заготовки; графічне зображення 3D-моделей деталі та заготовок; маршрут виготовлення деталі; графічне зображення етапів підготовки УП для верстатів з ЧПУ та лист розмірного розрахунку; 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
1-6	к. т. н., доцент Логомінов В. О.		
7	к. т. н., доцент Шмирко В. І.		
нормоконтроль	к. т. н., доцент Дядя С. І.		

7. Дата видачі завдання 28 вересня 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Технологічна частина	28.09.2021	
2	Конструкторська частина	11.10.2021	
3	Розмірний розрахунок	22.10.2021	
4	Розрахунок деталі на міцність	3.11.2021	
5	Спецзавдання. Забезпечення несучої здатності -	12.11.2021	
	поверхневого шару легованих сталей технологічними		
	методами		
6	Оцінка очікуваної економічної ефективності заходів	19.11.2021	
7	Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	26.11.2021	
8	Оформлення пояснювальної записки	30.11.2021	
9	Нормоконтроль і рецензія	4.12.2021	
10	Захист магістерської роботи	15.12.2021	

Студент

_____ Клименко П. К.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту (роботи)

_____ Логомінов В. О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

ПЗ: 175 с., 47 рис., 12 табл., 2 додатки, 39 джерел.

КІЛЬЦЕ УПОРНЕ, МЕХАНІЧНА ОБРОБКА, НІТРОЦЕМЕНТАЦІЯ, РЕЖИМИ РІЗАННЯ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ХІМІКО-ТЕРМІЧНА ОБРОБКА.

Об'єкт дослідження – кільце упорне відцентрового очищувача мастила двигуна Д-18Т.

Мета роботи – вдосконалення технологічного процесу виготовлення кільця упорного відцентрового очищувача мастила двигуна Д-18Т.

Методи дослідження – розрахунково-аналітичний метод; комп'ютерне зображення умов експлуатації деталі; комп'ютерна модель процесу обробки на металорізальних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) деталі «Кільце упорне».

В магістерській роботі спроектовано технологічний процес виготовлення деталі «Кільце упорне», вибрано і економічно обґрунтовано метод отримання заготовки, обрано обладнання, інструмент, розраховані режими різання, норми часу, спроектовані три операції на верстатах з ЧПК, спроектовано робоче та контрольне пристосування, виконане спеціальне завдання на тему зміцнення поверхневого шару деталей з легованих сплавів методами хіміко-термічної обробки (ХТО), деталь розрахована на міцність, передбачені заходи щодо безпечної роботи персоналу.

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ.....	8
1 Технологічна частина.....	10
1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі.....	10
1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт.....	13
1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням	15
1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі	21
1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність.....	21
1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь	23
1.4.3 Маршрут виготовлення деталі	32
1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів.....	32
1.6 Розрахунок режимів різання	42
1.6.1 Операція 020 – Токарна.....	42
1.6.2 Операція 110 – фрезерна з ЧПК.....	49
1.6.3 Операція 105 – свердлильна з ЧПУ	55
1.6.4 Операція 130 – внутрішньо-шліфувальна з ЧПК.....	64
1.7 Технічне нормування операцій.....	69
1.7.1 Технічне нормування токарної операції 20 з ЧПК	69
1.7.2 Технічне нормування фрезерної операції 110 з ЧПК.	72
1.7.3 Технічне нормування свердлильної операції 105 з ЧПК.....	75
1.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції 130 з ЧПК.....	77
1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК	81
1.8.1 Розробка токарної операції	81
1.8.2 Розробка свердлильної операції	84
1.8.3 Розробка фрезерної операції	87

2 Конструкторська частина	89
2.1 Проектування робочого пристосування	89
2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування	89
2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність.....	90
2.1.3 Розрахунок необхідного зусилля затиску заготовки. Вибір приводу.	93
2.2 Проектування контрольного пристосування	97
3 Розмірний розрахунок.....	102
4 Розрахунок деталі на міцність	111
5 Спеціальне завдання. Зміцнення поверхневого шару деталей з легованих сплавів технологічними методами.	Ошибка! Закладка не определена.
6 Оцінка очікуваної економічної ефективності розробки заходів	147
7 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.....	148
7.1 Аналіз потенційних небезпек.....	148
7.2 Заходи по забезпеченню безпеки.....	149
7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці.....	151
7.4 Заходи з пожежної безпеки.....	157
7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	159
Висновок.....	167
Перелік джерел посилання	168
Додаток А. Специфікація робочого пристосування.....	172
Додаток Б. Специфікація контрольного пристосування.....	174

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КВМ – коефіцієнт використання матеріалу

КГШП – кривошипно-гарячештампувальний прес

ККД – коефіцієнт корисної дії

КП – керуюча програма

КПО – коефіцієнт природної освітленості

МВД – маршрут виготовлення деталі

МОП – маршрут обробки поверхні

НС – надзвичайна ситуація

ПБЕЕС – правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів

ПК – персональний комп'ютер

ПУЕ – правила улаштування електроустановок

РТК – розрахунково-технологічна карта

САПР – системи автоматизованого проектування

СВЧ – струм високої частоти

ТП – технологічний процес

ХТО – хіміко-термічна обробка

ЦЗ – цивільний захист

ЧПК – числове програмне керування

ВСТУП

Найважливішою галуззю важкої індустрії є машинобудування. Темпи розвитку і технологічний рівень промисловості, сільського господарства залежить від того, в якій мірі задовольняються їх потреби в машинах і наскільки вони досконалі.

Сукупність усіх дій людей і знарядь виробництва, пов'язаних з переробкою сировини і напівфабрикатів в заготовки, готові деталі, складальні одиниці і готові вироби на даному підприємстві, називається виробничим процесом. Головною частиною виробничого процесу є технологічний процес, який являє собою процес обробки заготовки на верстатах з метою перетворення її в готову деталь.

Розроблені технологічні процеси оформляються у вигляді технологічної документації, до складу якої входять: маршрутна карта, операційна карта, карта ескізів, карта технічного контролю, специфікація технологічних документів.

Технологія машинобудування – наука про способи виготовлення деталей машин, а також складання в вузли і готові машини. Предметом вивчення в технології машинобудування є виготовлення виробів заданої якості, в встановленою програмою випуску кількості, при найменших витратах матеріалів, мінімальної собівартості і високої продуктивності праці.

Зростання промисловості і народного господарства, а також темпи переозброєння їх новою технікою в значній мірі залежать від рівня розвитку машинобудування. Технічний прогрес в машинобудуванні характеризується вдосконаленням технології виготовлення машин, рівнем їх конструктивних рішень і надійності їх в подальшій експлуатації.

В даний час важливо – якісно, дешево, в задані терміни з мінімальними витратами живої і матеріалізованої праці виготовити машину, застосувавши сучасну високопродуктивну техніку, обладнання, інструмент, технологічне оснащення, засоби механізації та автоматизації виробництва.

Розробка технологічного процесу виготовлення машини не повинна зводитися до формального встановлення послідовності обробки поверхонь деталей, вибору обладнання й режимів. Вона вимагає творчого підходу для забезпечення узгодженості всіх етапів побудови виробу і досягнення необхідної якості з найменшими витратами.

При проектуванні технологічних процесів виготовлення деталей машин необхідно враховувати основні напрямки в сучасній технології машинобудування:

Наближення заготовок за формою, розмірами і якістю поверхонь до готових деталей, що дає можливість зменшити витрату матеріалу, значно знизити трудомісткість обробки деталей на металорізальних верстатах, а також зменшити витрати на ріжучі інструменти, електроенергію та інше.

Підвищення продуктивності праці шляхом застосування: автоматичних ліній, автоматів, агрегатних верстатів, верстатів з ЧПК, більш досконалих методів обробки, нових марок матеріалів ріжучих інструментів.

Концентрація декількох різних операцій на одному верстаті для одночасної або послідовної обробки великою кількістю інструментів з високими режимами різання.

Застосування електрохімічних та електрофізичних способів розмірної обробки деталей.

Розвиток зміцнювальних технологій, підвищення міцності і експлуатаційних властивостей деталей шляхом зміцнення поверхневого шару механічними, термічними, термомеханічними, хіміко-термічними способами.

Застосування прогресивних високопродуктивних методів обробки, що забезпечують високу точність і якість поверхонь деталей машини, методів зміцнення робочих поверхонь, що підвищують ресурс роботи деталі і машини в цілому, ефективне використання автоматичних і поточкових ліній, верстатів з ЧПК – все це спрямовано на вирішення головних завдань: підвищення ефективності виробництва і якості продукції.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Опис конструкції і службового призначення деталі

Деталь «Кільце упорне» слугує елементом ущільнення відцентрового очищувача мастила. Деталь являє собою необертальний елемент ущільнення. Кільце упорне працює в мастилі при температурі до 200°C.

Відцентровий очищувач мастила розроблений для покращення очищення мастила до 10-го класу чистоти, призначений для підвищення ресурсу роботи кулькопідшипників, зубчастих передач й підвищення ресурсу експлуатації двигуна Д-18Т в цілому.

Деталь «Кільце упорне» являє собою сукупність циліндричних і торцевих поверхонь. В центрі деталі розташовано наскрізний отвір, також конструкція деталі має шість глухих отворів. Всі поверхні деталі доступні для обробки, що дозволяє застосовувати стандартний ріжучий інструмент і засоби контролю. Вимоги до точності розмірів та шорсткості поверхонь обумовлені призначенням деталі.

Ескіз деталі зображено на рисунку 1.1.

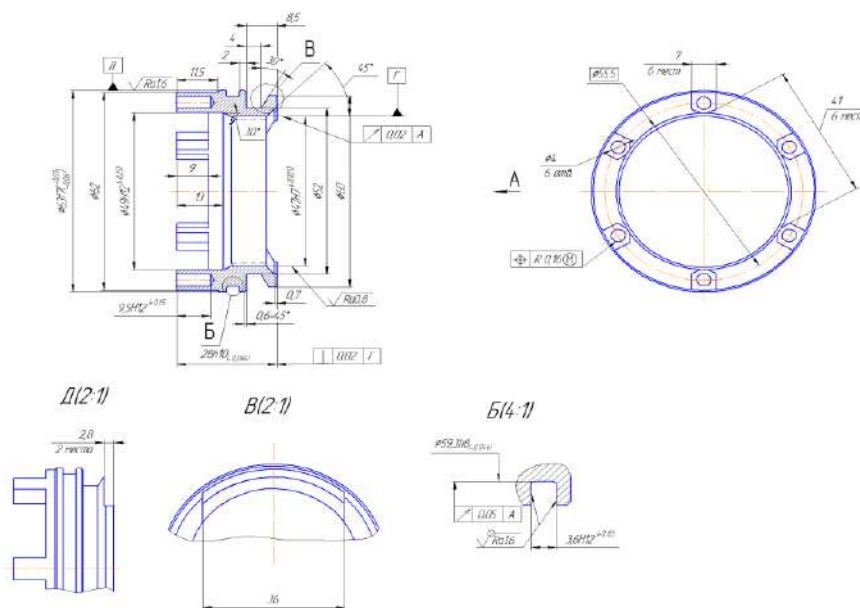


Рисунок 1.1 – Ескіз деталі «Кільце упорне»

Деталь має наступні конструктивні елементи:

- фланець $\varnothing 63f7(-0,03_{-0,06})$;
- наскрізний отвір $\varnothing 47H7(+0,025)$;
- виточка $\varnothing 4912(+0,025)$;
- канавка шириною $3,6H12(+0,12)$, $\varnothing 59,3h(-0,046)$;
- 6 глухих отворів $\varnothing 4$, глибиною $9,5H12(+0,15)$;
- 6 кулачків $b=7$ мм, $l=9$ мм;
- фаска $0,6 \times 45^\circ$;
- галтелі: $R1$, $R0,4$, $R0,2$.

Модель деталі та її маса наведені на рисунку 1.2.

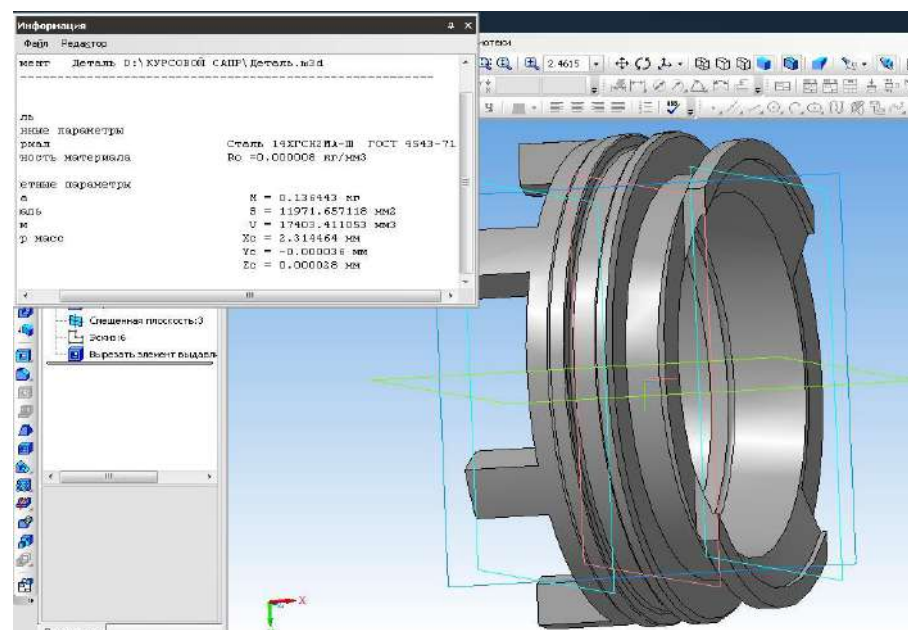


Рисунок 1.2 – Модель деталі «Кільце упорне»

Шорсткість поверхонь в R_a , мкм:

- наскрізний отвір $\varnothing 47H7(+0,025)$; – 0,8;
- фланець $\varnothing 63f7(-0,03_{-0,06})$; – 1,6;
- паз шириною $3,6H12(+0,12)$, $\varnothing 59,3h(-0,046)$ – 1,6 (по контуру);

Всі останні поверхні (19 шт.) по Ra 3,2.

Похибка форми і розташування поверхонь:

– допуск радіального биття отвору $\varnothing 47H7(^{+0,025})$ – відносно фланця $\varnothing 63f7(^{-0,03}_{-0,06})$; не більше 0,02 мм;

– допуск перпендикулярності торця $\varnothing 60$ відносно отвору $\varnothing 47H7(^{+0,025})$ не більше 0,02 мм;

– допуск радіального биття паза $\varnothing 59,3h(^{-0,046})$ відносно фланця $\varnothing 63f7(^{-0,03}_{-0,06})$ не більше 0,05 мм;

– позиційний допуск 6-ти отворів 0,16 мм (допуск залежний).

Поверхня отвору $\varnothing 47H7(^{+0,025})$ нітроцементується на h 0,4...0,6 мм і має твердість 89,0...92,5 HRN 15.

Деталь «Кільце упорне» виготовляється з легованої конструкційної сталі марки 14ХГСН2МА-Ш. Хімічний склад і фізико-механічні властивості матеріалу наведені в таблицях 1.1-1.2 [1, с.109].

Таблиця 1.1 – Хімічний склад сталі 14ХГСН2МА-Ш ГОСТ 4543-71

C%	Cr%	Mn%	Si%	Ni%	Mo%	V%	S%	P%	Fe%
0,11-0,16	1,2-1,6	0,7-1	0,45-0,7	1,6-2	0,25-0,4	0,03-0,06	0-0,025	0-0,03	94,025

Таблиця 1.2 – Основні фізико-механічні властивості 14ХГСН2МА-Ш ГОСТ4543-71

Режим термічної обробки	Механічні властивості, не менше				
	σ_B	$\sigma_{0,2}$	δ	ψ	KCU
°C	МПа		%		Дж/см ²
Гартування $840 \pm 20^\circ\text{C}$ в мастило відпускання при $160-250^\circ\text{C}$	980	785	12	55	$3,0 \div 3,55$

В таблиці 1.2 прийняті наступні позначення:

- σ_B – межа тимчасової міцності, [МПа];
- $\sigma_{0,2}$ – умовна межа текучості при пластичній деформації 0,2%;
- δ – відносне видовження при розриві, [%];
- ψ – відносне звуження, [%];
- KCU – ударна в'язкість, [кДж / м²].

Сталь складнозварювальна. При обробці потребує попереднього нагріву.

Деталь проходить термічну операцію: гартування – відпуск з отриманням твердості 32...42,5 HRC.

Технологія виготовлення деталі передбачає міднення: нанесення мідного покриття гальванічним методом на сталеві вироби для захисту від цементації.

1.2 Вибір типу виробництва та форми організації робіт

В машинобудуванні в залежності від програми випуску виробів та характеру продукції, що виготовляється розрізняють три типи виробництва: одиничне, серійне та масове. Серійне виробництво в свою чергу поділяється на мілко-, середнє- та багатосерійне виробництво.

Кожен тип виробництва має відповідні йому форми організації робіт, що впливає на побудову маршрутів технологічних процесів виготовлення деталей, вибір обладнання та оснащення, трудомісткість та собівартість виготовлення продукції.

На даному етапі проектування важко правильно визначити тип виробництва, тому попередньо визначається тип виробництва виходячи з річної програми випуску та маси деталі згідно таблиці 1.3 [2].

Враховуючи, що маса деталі (m) дорівнює 0,136 кг та річна програма випуску (N) дорівнює 4000 штук, тип виробництва можна вважати серійним.

Форми організації технологічних процесів (ТП) згідно ГОСТ 14312-74 залежить від встановленого порядку виконання операцій ТП, розташування технологічного обладнання, кількості деталей. Для обробки заданої деталі обираємо поточну форму організації ТП.

Таблиця 1.3 – Попередній вибір типу виробництва

Тип виробництва	Кількість оброблюваних деталей на рік		
	важкі, $m > 100$ кг	середні, $m = 10..100$ кг	легкі, $m < 10$ кг
одиничне	до 5	до 10	до 100
дрібносерійне	5...10	10...200	100...500
серійне	100...300	200...500	500...5000
крупносерійне	300...1000	500...5000	5000...50000
масове	більше 1000	більше 5000	більше 50000

В серійному виробництві запуск деталей здійснюється партіями.

Кількість деталей в партії n , в штуках розраховується за формулою (1.1) [4, с.604]:

$$n = \frac{\alpha \cdot N}{A} \quad (1.1)$$

де N – річна програма випуску, шт;

α – періодичність запуску партій деталей в виробництво;

A – кількість робочих днів на рік.

$$n = \frac{10 \cdot 4000}{251} = 159,4 \text{ шт}$$

Приймаємо кількість деталей в партії 160 штук, що кратно річній програмі випуску.

1.3 Вибір виду і способу отримання заготовки з економічним обґрунтуванням

На метод отримання заготовки впливають матеріал деталі, його призначення і технічні вимоги до виготовлення, річний об'єм випуску, конфігурація, форма поверхонь і розміри.

Вид заготовки встановлюється в результаті аналізу креслення деталі, її матеріалу і технологічних вимог до виготовлення, габаритів і маси, об'єму випуску, на основі техніко-економічного порівняння кількох варіантів.

Для раціонального вибору заготовки необхідно одночасно враховувати всі вищеперераховані вихідні данні, так як між ними існує тісний взаємозв'язок [4, с.114].

Заготовку деталі можна отримати такими способами як:

- штамповка на кривошипному гаряче штампованому пресі (КГШП);
- штамповка на молотах.

Для штампованої заготовки встановлюються наступні характеристики [3]:

- клас точності – Т2 [3, с.58, табл. 5.13];
- група сталі – М3 [3, с.59];
- ступінь складності – С1 [3, с.60];
- нахили для зовнішніх поверхонь – $3 \pm 1^\circ$ [3, с.64-66, табл. 5.17];
- радіуси заокруглень – 4 мм [3, с.67, табл. 5.18].

Маса заготовки визначається за допомогою програми Компас-3D за допомогою функції виміру масово-центровочних характеристик. Ескіз заготовки отриманої на КГШП наведений на рисунку 1.3.

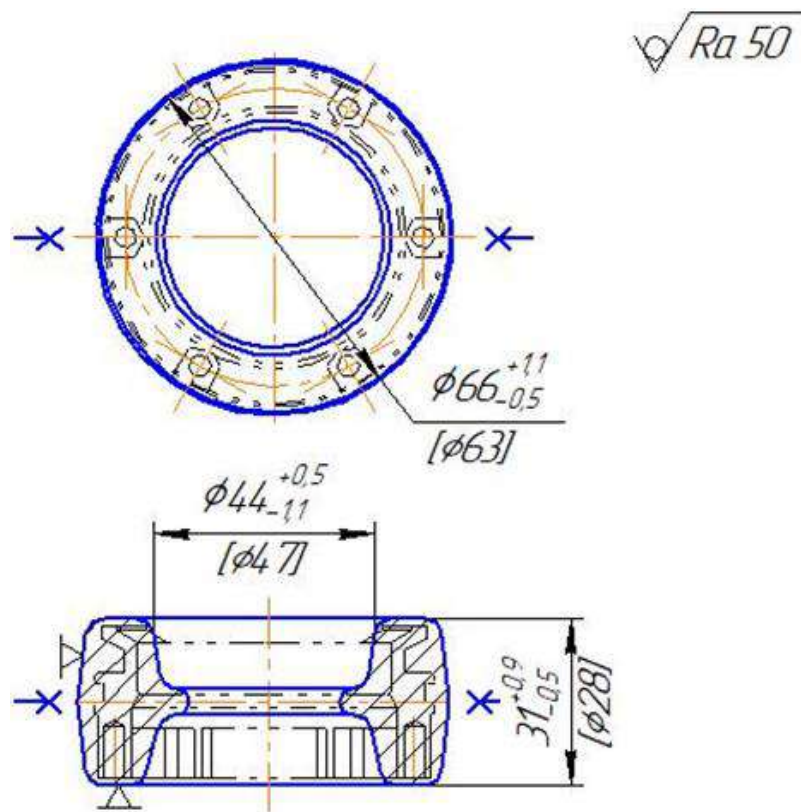


Рисунок 1.3 – Ескіз заготовки – КГШП

Розрахунок маси заготовки, отриманої на КГШП наведений на рисунку 1.4.

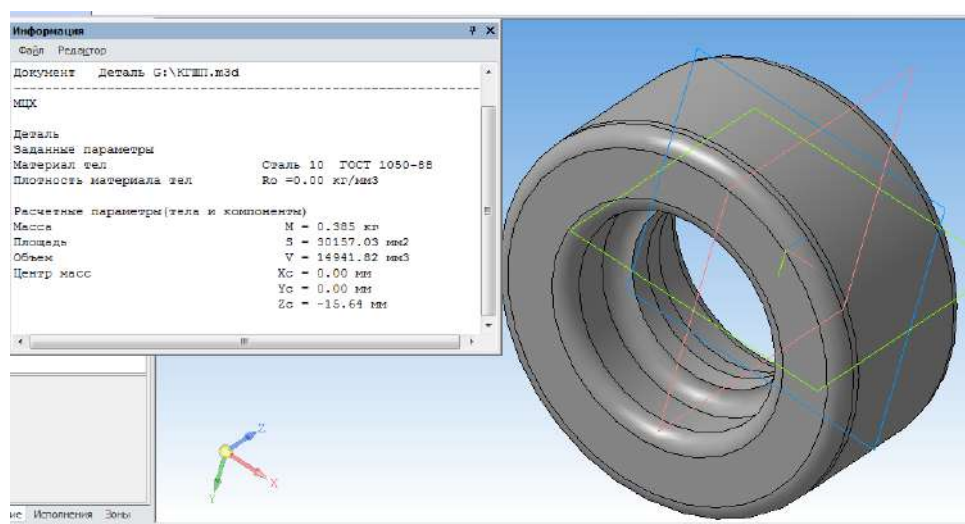


Рисунок 1.4 – Розрахунок маси заготовки КГШП

Маса штампованої заготовки визначається за допомогою системи Компас-3D. Ескіз заготовки, отриманої методом штамповки на молотах наведений на рисунку 1.5.

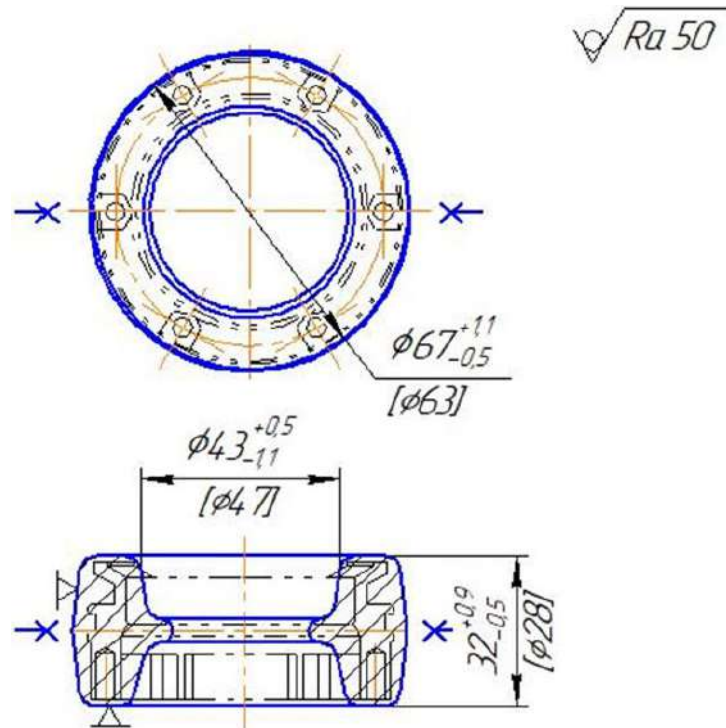


Рисунок 1.5 – Ескіз заготовки, що отримується на молотах

Результати розрахунку маси наведених на рисунку 1.6.

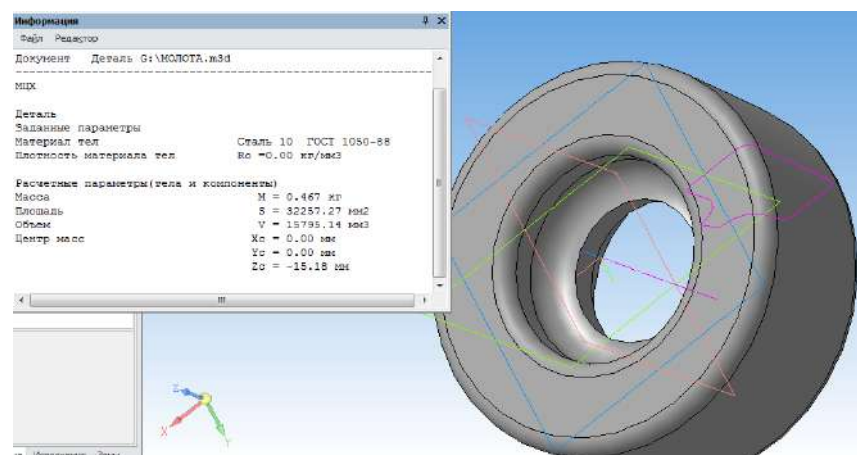


Рисунок 1.6 – Розрахунок маси заготовки отриманої на молотах

Для вибору метода отримання заготовки необхідно провести техніко-економічне обґрунтування її отримання, яке може проводитися на основі цілого ряду показників. Головними з них є технологічна трудомісткість виготовлення заготовки і деталі, коефіцієнт використання матеріалу, ступінь автоматизації виробництва і інші. Розрахунок цих показників, часто, досить трудомісткий, тому для порівняння двох або більше варіантів отримання заготовок досить провести оцінку по основним показникам (собівартості та коефіцієнту використання матеріалу).

Собівартість виготовлення однієї заготовки V , грн, розраховується за формулою [2, с. 5]:

$$V_z = \frac{V_B}{1000} M_z \cdot K_T \cdot K_M \cdot K_C \cdot K_z \cdot K_{\Pi} - (M_z - M_d) \frac{V_{\text{відх}}}{1000}, \quad (1.2)$$

де M_z, M_d – маса заготовки і готової деталі;

V_B – базова собівартість виготовлення заготовок, грн. [2, с.13, табл. 1.4];

K_T – коефіцієнт, що враховує клас точності заготовки [2, с.18, табл. 1.24];

K_M – коефіцієнт, що враховує матеріал деталі [2, с.18, табл. 1.25];

K_C – коефіцієнт, що враховує групу складності заготовки [2, с.19, табл. 1.26];

K_z – коефіцієнт, що враховує масу заготовки [2, с.19, табл. 1.27];

K_{Π} – коефіцієнт, що враховує програму випуску заготовки [2, с.19, табл. 1.28];

$V_{\text{відх}}$ – вартість відходів (стружка) [2, с.13, табл. 1.5].

$$\begin{aligned} V_M &= \frac{3500}{1000} \cdot 0,467 \cdot 1,0 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1,0 - (0,467 - 0,136) \frac{140}{1000} = \\ &= 2,36 \text{ грн} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{КГШП}} &= \frac{3500}{1000} \cdot 0,385 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,51 \cdot 0,77 \cdot 1,27 \cdot 1,0 - (0,385 - 0,136) \frac{140}{1000} \\ &= 1,95 \text{ грн} \end{aligned}$$

Коефіцієнт використання матеріалу $K_{\text{ВМ}}$ (КВМ) розраховується за формулою [2, с. 6]:

$$K_{\text{ВМ}} = \frac{q}{Q} \quad (1.3)$$

$$K_{\text{ВМКГШП}} = \frac{0,136}{0,385} = 0,35$$

$$K_{\text{ВММ}} = \frac{0,136}{0,467} = 0,29$$

Порівняльні показники обраних методів заготовки заносяться в таблицю 1.4 [2, с.10, табл. 1.1]:

Таблиця 1.4 – Результати розрахунків показників за варіантами

Показник	Позначення	Одиниці виміру	Варіант заготовки	
			КГШП	Молота
Маса заготовки	M_z	кг	0,385	0,467
Оптова ціна 1 т поковок з базового сплаву	B_B	грн	3500	3500
Поправочні коефіцієнти	K_T		1,0	1,0
	K_M		1,51	1,51
	K_C		0,77	0,77
	K_3		1,27	1,27
	K_P		1,0	1,0
Заготівельна ціна 1 т стружки	$B_{\text{відх}}$	грн	140	140
Собівартість виготовлення одиниці заготовки	B_z	грн	1,95	2,36
Коефіцієнт використання матеріалу	$K_{\text{ВМ}}$		0,35	0,29

Вибір оптимального методу виробництва заготовки здійснюється за коефіцієнтом використання матеріалу K_{BM} та за собівартістю виготовлення деталі B для кожної заготовки. Оптимальним буде той метод виробництва заготовки, для якого одночасно собівартість виробництва деталі B буде меншою, а коефіцієнт використання матеріалу K_{BM} вищим [3, с. 75].

Порівняємо основні техніко-економічні показники заготовок [3, с. 75]:

$$K_{BMM} = 0,29 < K_{BМКГШП} = 0,35$$

$$B_M = 2,36 \text{ грн} > B_{КГШП} = 1,95 \text{ грн}$$

Отже, у якості заготовки приймається штамповка отримана на КГШП.

Економічний ефект за витратами на виготовлення заготовок розраховується за формулою [2, с. 9]:

$$EB_B = (B_M - B_{КГШП}) \cdot N, \quad (1.4)$$

де N – річна програма випуску, шт

$$EB_B = (2,36 - 1,95) \cdot 1500 = 615 \text{ грн}$$

Економічний ефект економії витрат матеріалу розраховується за формулою [2, с. 7]:

$$M_e = \frac{M_d(K_{BМКГШП} - K_{BMM})}{K_{BМКГШП} \cdot K_{BMM}} N \quad (1.5)$$

$$M_e = \frac{0,136(0,35 - 0,29)}{0,35 \cdot 0,29} \cdot 1500 = 120,59 \text{ кг}$$

1.4 Проектування технологічного маршруту обробки деталі

1.4.1 Аналіз конструкції деталі на технологічність

Розрізняють якісні та кількісні критерії технологічності [4, с. 197].

Якісні показники оцінюються за наступними критеріями:

- а) маса та габарити деталі не потребують застосування підйомних механізмів;
- б) точність і шорсткість поверхонь деталі має економічне та експлуатаційне обґрунтування показників;
- в) конструкція деталі дозволяє використовувати поверхні за установочну базу;
- г) можливість застосування принципу суміщення та постійності баз;
- д) оброблювані поверхні доступні і відкриті для обробки.

Згідно якісним показникам деталей технологічна.

До кількісних критеріїв відносяться наступні [40, с. 100].

Коефіцієнт використання матеріалу (КВМ) розраховано за формулою (1.3) і складає $K_{BM} = 0,35$.

Умова технологічності:

$$K_{BM} \geq 0,8$$

$$K_{BM} = 0,35 < 0,8$$

Деталь за КВМ не технологічна.

Коефіцієнт точності розмірів характеризує оптимальну точність розмірів і розраховується за формулою [40, с. 100]:

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{A_{cp}}, \quad (1.6)$$

де A_{cp} – середній квалітет точності деталі розраховується за формулою [40, с. 100]:

$$A_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot n_i}{\sum_{i=1}^n n_i}, \quad (1.7)$$

де A_i – клас точності i -тої поверхні;

n_i – кількість розмірів відповідної точності

$$A_{cp} = \frac{11 \cdot 16 + 12 \cdot 3 + 10 \cdot 1 + 8 \cdot 1 + 7 \cdot 2}{23} = 10,60$$

$$K_{T.O.} = 1 - \frac{1}{12,69} = 0,91$$

Умова технологічності [40, с 100]:

$$K_{T.O.} \geq 0,8$$

$$K_{T.O.} = 0,91 > 0,8$$

Деталь технологічна за розмірною точністю.

Коефіцієнт шорсткості характеризує якість поверхонь деталі і розраховується за формулою [40, с.100]:

$$K_{ш} = \frac{1}{B_{cp}} \quad (1.8)$$

де B_{cp} – середнє значення показників шорсткості:

$$K_{ш} = \frac{1}{2,84} = 0,35$$

Умова технологічності [40, с.100]:

$$K_{ш} < 0,32,$$

$$0,35 > 0,32$$

Деталь за коефіцієнтом шорсткості не технологічна.

Коефіцієнт уніфікації конструкційних елементів, який характеризується необхідністю застосування спеціального ріжучого інструменту, розраховується за формулою [40, с.101]:

$$K_{y.E} = \frac{Q_{y.E.}}{Q_E}, \quad (1.9)$$

де $Q_{y.}$ – кількість уніфікованих типорозмірів і конструктивних елементів;

$Q_.$ – загальна кількість типорозмірів і конструктивних елементів деталі

$$K_{y.E.} = \frac{20}{20} = 1,0$$

Умова технологічності [40, с.100]:

$$K_{y.E.} > 0,6$$

$$1,0 > 0,6$$

За коефіцієнтом уніфікації деталь технологічна.

Згідно розрахунків за більшістю кількісних показників деталей технологічна.

1.4.2 Проектування маршруту обробки поверхонь

Маршрут обробки поверхні (МОП) містить кількість технологічних переходів, послідовність цих переходів, способи обробки поверхонь [2, с. 23].

На зміст МОП впливають [2, с. 23]:

- вимоги до точності розмірів та точності взаємного розташування осей та поверхонь (квалітет точності, допуск відхилення форми);
- вимоги до якості поверхні (шорсткість);

- наявність та характер термічної обробки (твердість поверхневого шару);
- вимоги до точності установочних баз;
- вимоги до показників точності вихідної заготовки.

Зазначені вище фактори, в основному впливають на кількість переходів, необхідних для досягнення вимог, що пред'являються до поверхні деталі [2, с. 24].

Для спрощення проектування МОП та маршруту виготовлення деталі (МВД) проводиться нумерація поверхонь деталі. Ескіз деталі з технологічною розміткою поверхонь наведено на рисунку 1.7.

МОП внутрішньої $\varnothing 47H7(+0,025)$. Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулами [2, с. 24]:

$$\varepsilon_d = \frac{Td_3}{Td_d}, \quad (1.10)$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{Ra_3}{Ra_d}, \quad (1.11)$$

де Td_3 – допуск на розмір заготовки, мкм;

Td_d – допуск на розмір деталі, мкм

Ra_3 – параметр шорсткості заготовки, мкм;

Ra_d – параметр шорсткості деталі, мкм.

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1,6}{0,025} = 64$$

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

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою [2, с. 25]:

$$k = 2 \cdot \lg \varepsilon \quad (1.12)$$

$$k = 2 \cdot \lg 64 = 3,6$$

Прийнята кількість переходів механічної обробки 4.

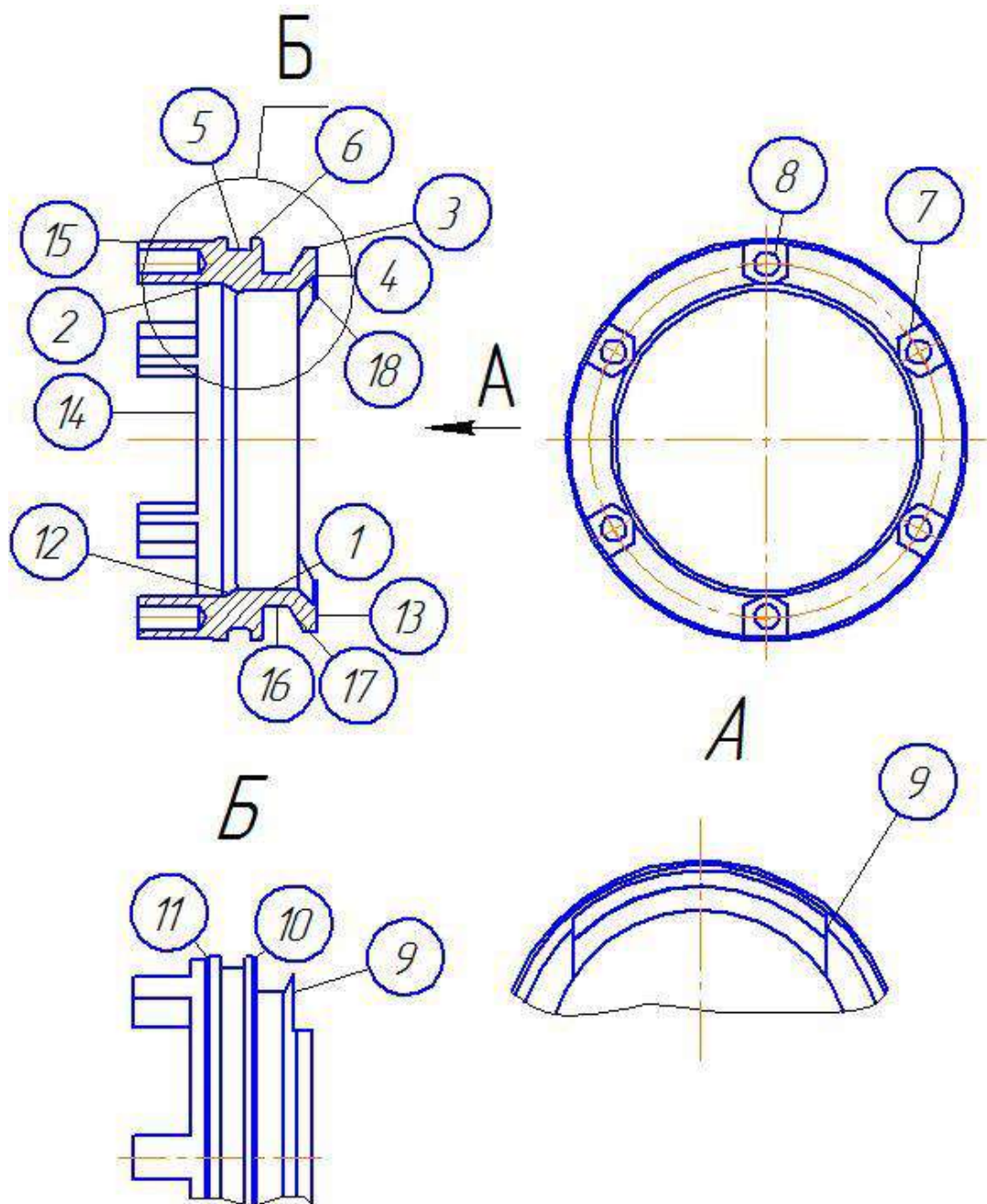


Рисунок 1.7 – Технологічна розмітка поверхонь деталі

Розрахункова різниця квалітетів: $\Delta IT = IT_{14} - H_7 = 7$ [2, с. 27].

Отриману різницю квалітетів розподіляємо між прийнятою кількістю переходів механічної обробки по закону зменшення: $7 = 2 + 2 + 2 + 1$;

$IT_{14} \rightarrow H_{12} \rightarrow H_{10} \rightarrow H_8 \rightarrow H_7$;

Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8

МОП внутрішньої циліндричної поверхні:

- заготовка-штамповка;
- розточування чорнове;
- розточування чистове;
- термічна обробка;
- шліфування чорнове;
- шліфування чистове.

Розрахунок уточнень за показниками геометричного розміру по кожному механічному переходу відбувається відносно попереднього та відносно першого переходу [2, с. 26].

Уточнення за показниками геометричного розміру (квалітету точності) для переходів механічної обробки [2, с. 28]:

$$\varepsilon_{Td_1} = \frac{1,6}{0,25} = 6,4$$

$$\varepsilon_{Td_2} = \frac{0,25}{0,1} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Td_4} = \frac{0,1}{0,039} = 2,56$$

$$\varepsilon_{Td_5} = \frac{0,039}{0,025} = 1,56$$

Уточнення за показниками шорсткості для переходів механічної обробки [2, с. 28]:

$$\varepsilon_{Ra_1} = \frac{50}{6,3} = 7,94$$

$$\varepsilon_{Ra_2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,97$$

$$\varepsilon_{Ra_4} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

$$\varepsilon_{Ra_5} = \frac{1,6}{0,8} = 2$$

МОП для зовнішньої циліндричної поверхні $\varnothing 63f7(-0,03_{-0,06})$.

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулою (1.8)-(1.9) [2, с. 24]:

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1,6}{0,03} = 53,3$$

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

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою (1.10) [2, с. 25]:

$$k = 2 \cdot \lg 53,3 = 3,45$$

Прийнята кількість переходів механічної обробки 3.

Розрахункова різниця квалітетів: $\Delta IT = IT_{14} - f_7 = 7$ [2, с. 27].

Отриману різницю квалітетів розподіляємо між прийнятою кількістю переходів механічної обробки по закону зменшення: $7 = 2 + 2 + 3$;

$IT_{14} \rightarrow h_{12} \rightarrow h_{10} \rightarrow f_7$; $Ra_{50} \rightarrow Ra_{6,3} \rightarrow Ra_{3,2} \rightarrow Ra_{1,6}$ [2, с. 27].

МОП зовнішньої циліндричної поверхні:

- заготовка-штамповка;
- точіння чорнове;
- точіння чистове;
- термічна обробка;
- шліфування.

Уточнення за показниками геометричного розміру (квалітету точності) для переходів механічної обробки [2, с. 28]:

$$\varepsilon_{Td_1} = \frac{1,6}{0,3} = 5,3$$

$$\varepsilon_{Td_2} = \frac{0,3}{0,12} = 2,5$$

$$\varepsilon_{Td_4} = \frac{0,12}{0,03} = 4$$

Уточнення за показниками шорсткості для переходів механічної обробки [2, с. 28]:

$$\varepsilon_{Ra_1} = \frac{50}{6,3} = 7,94$$

$$\varepsilon_{Ra_2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,97$$

$$\varepsilon_{Ra_4} = \frac{3,2}{1,6} = 2$$

МОП зовнішньої лінійної поверхні 28h10_(-0,084).

Загальне уточнення за показниками точності та шорсткості поверхні розраховується за формулою (1.10)-(1.11) [2, с. 24]:

$$\varepsilon_{Td} = \frac{1,4}{0,084} = 16,67$$

$$\varepsilon_{Ra} = \frac{12,5}{3,2} = 3,91$$

Кількість переходів розраховується по превалюючому показнику за формулою (1.12) [2, с. 25]:

$$k = 2 \cdot \lg 16,67 = 2,44$$

Прийнята кількість переходів механічної обробки 2.

Розрахункова різниця квалітетів: $\Delta IT = IT14 - h10 = 4$ [2, с. 27].

Отриману різницю квалітетів розподіляємо між прийнятою кількістю переходів механічної обробки по закону зменшення [2, с. 27]:

$$4=2+2; IT14 \rightarrow h12 \rightarrow h10; Ra_{12,5} \rightarrow Ra_{6,3} \rightarrow Ra_{3,2}.$$

МОП зовнішньої лінійної поверхні:

- заготовка-штамповка
- підрізка торця чорнова
- підрізка торця чистова

Уточнення за показниками геометричного розміру (квалітету точності) для переходів механічної обробки:

$$\varepsilon_{Td_1} = \frac{1,4}{0,25} = 5,6$$

$$\varepsilon_{Td_2} = \frac{0,25}{0,084} = 2,98$$

Уточнення за показниками шорсткості для переходів механічної обробки:

$$\varepsilon_{Ra_1} = \frac{12,5}{6,3} = 1,98$$

$$\varepsilon_{Ra_2} = \frac{6,3}{3,2} = 1,97$$

Результати розрахунків та розробка МОП обраних поверхонь наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Маршрут обробки поверхонь деталі

Характер поверхні	Показники	Уточнення	Кількість переходів		Різниця показників ППТЯ	МОП		Параметр по переходам		Уточнення	
			розр	прийн		i	Метод обробки	допуск розміру	шорсткість	розміру	шорсткості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Внутрішня циліндрична поверхня 1 Ø47H7 ^(+0,025) Ra0,8 Заготовка Ø44 ^{+1,1} _{-0,5} IT14, Ra50	Td	64	3,6	4	Δ IT = IT14 - H7 = 7 IT14 → H12 → H10 → H8 → H7 Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6 → Ra0,8	0	Заготовка- штамповка	1,6	50	-	-
	Ra	15,6	1	Розточування чорнове		0,25	6,3	6,4	7,94		
			2	Розточування чистове		0,1	3,2	2,5	1,97		
			3	Термічна обробка Шліфування							
			4	попереднє Шліфування		0,039	1,6	2,56	2		
			5	чистове		0,025	0,8	1,56	2		

Продовження таблиці 1.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Зовнішня циліндрична поверхня 6 Ø63f7(^{-0,03} _{-0,06}) Ra1,6 Заготовка Ø66 ^{+1,1} _{-0,5} IT14, Ra 50	Td	53,3	3,45	3	Δ IT = IT14 - f7 = 7 IT14 → h12 → h10 → f7, Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2 → Ra1,6	0	Заготовка- штамповка	1,6	12,5	-	-	
	Ra	7,81				1	Точіння чорнове	0,3	6,3	5,3	7,94	
						2	Точіння чистове	0,12	3,2	2,5	1,97	
						3	Гартування					
						4	Шліфування	0,03	1,6	4	2	
Зовнішня лінійна поверхня 13 28h10(_{-0,084}) Ra3,2 Заготовка 31 ^{+0,9} _{-0,5} IT14, Ra 50	Td	16,67	2,44	2	Δ IT = IT14 - h10 = 4 IT14 → h12 → h10 Ra50 → Ra6,3 → Ra3,2	0	Заготовка- штамповка	1,4	12,5	-	-	
	Ra	3,91					2	Підрізка торця чорнова	0,25	6,3	5,6	7,94
							3	Підрізка торця чистова	0,084	3,2	2,98	1,97

1.4.3 Маршрут виготовлення деталі

Маршрут виготовлення деталі (МВД) — це загальний план, встановлена послідовність операцій технологічного процесу, вказані тип та модель верстата, встановлені технологічні комплекси, розроблені схеми встановлення, приведені вхідні та вихідні характеристики оброблюваних поверхонь [40, с.130].

Технологічний процес виготовлення деталі можна розділити на етапи: заготівельний, чорновий, напівчистовий, чистовий, фінішний, та доводочний.

Графічне зображення маршруту виготовлення деталі «Кільце упорне» наведено в графічній частині магістерської роботи НУЗП 712003.002.

1.5 Розрахунок припусків і технологічних розмірів

Розрахунково-аналітичний метод визначення припусків для внутрішньої циліндричної поверхні 1 – Ø47H7(+0,025):

- 1) для заготовки значення $Rz_0 = 80$ мкм та $h_0 = 150$ мкм [4, с.186, табл.12]
- 2) для чорнового розточування $Rz_1 = 40$ мкм та $h_1 = 50$ мкм [4, с.188, табл.25];
- 3) для чистового розточування $Rz_2 = 20$ мкм та $h_2 = 20$ мкм [4, с.188, табл.25];
- 4) для шліфування чорнового $Rz_3 = 20$ мкм та $h_3 = 30$ мкм [4, с.188, табл.25]
- 5) для шліфування чистового $Rz_4 = 5$ мкм та $h_4 = 15$ мкм [4, с.188, табл.25]

Сумарне значення просторових відхилень заготовки розраховують за формулою [2, с. 59].

$$\rho_0 = \sqrt{\rho_{зм}^2 + \rho_{кор}^2}, \quad (1.13)$$

де $\rho_{зм}$ – похибка від зміщення, $\rho_{зм} = 1,0$ мкм відхилення від перпендикулярності торців відносно отворів на 1 мм довжини поверхні [4, с.186, табл.17];

$\rho_{кор}$ – похибка від короблення [2, с. 59];

$\Delta_{кор} = 2,0$ мкм без правки на 1 мм довжини поверхні [4, с.186, табл.17].

$$\rho_{кор} = \Delta_{кор} \cdot \ell = 2,0 \cdot 32 = 64 \text{ мкм}$$

$$\rho_0 = \sqrt{1,0^2 + 64^2} = 64,01 \text{ мкм}$$

Просторові похибки для механічних переходів розраховуються з урахуванням коефіцієнту уточнення за формулою [2, с. 59]:

$$\rho_1 = K_{ут} \cdot \rho_0, \quad (1.14)$$

де $K_{ут}$ – коефіцієнт уточнення для переходів механічної обробки по [4, с.190, табл.29].

$$\rho_1 = 0,06 \cdot 64,01 = 3,84 \text{ мкм}$$

$$\rho_2 = 0,04 \cdot 3,84 = 0,154 \text{ мкм}$$

$$\rho_3 = 0,03 \cdot 0,154 = 0,005 \text{ мкм}$$

$$\rho_4 = 0,02 \cdot 0,005 \approx 0 \text{ мкм}$$

Мінімальні припуски для переходів механічної обробки [2, с. 57]:

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

де ρ – сумарне відхилення форми [2, с. 59];

ε – похибка встановлення, деталь встановлюється в патроні [4, с.42, табл.13].

$$2z_1^{\min} = 2 \left(80 + 150 + \sqrt{64,01^2 + 0^2} \right) = 588,02 \text{ мкм}$$

$$2z_2^{\min} = 2 \left(40 + 50 + \sqrt{3,84^2 + 0^2} \right) = 187,68 \text{ мкм}$$

$$2z_3^{\min} = 2 \left(20 + 30 + \sqrt{0,154^2 + 0^2} \right) = 100,31 \text{ мкм}$$

$$2z_4^{\min} = 2 \left(20 + 30 + \sqrt{0,005^2 + 0^2} \right) = 100,01 \text{ мкм}$$

Максимальний розмір поверхні деталі – останнього переходу розраховується за формулою [2, с. 61]:

$$D_4^{\max} = D_4^{\min} + ES_{D4} \quad (1.16)$$

$$D_4^{\max} = 47 + 0,025 = 47,025 \text{ мм}$$

Максимальні розміри для механічних переходів розраховується за формулою [2, с. 61]:

$$D_i^{\max} = D_{i+1}^{\max} - 2z_{i+1}^{\min} - TD_{i+1} \quad (1.17)$$

$$D_3^{\max} = 47,025 - 0,100 - 0,025 = 46,9 \text{ мкм}$$

$$D_2^{\max} = 46,9 - 0,1003 - 0,039 = 46,761 \text{ мкм}$$

$$D_1^{\max} = 46,761 - 0,188 - 0,1 = 46,473 \text{ мкм}$$

$$D_0^{\max} = 46,473 - 0,588 - 0,25 = 45,635 \text{ мкм}$$

Мінімальні розміри поверхні розраховуються за формулою [2, с. 61]:

$$D_i^{\min} = D_i^{\max} - TD_i \quad (1.18)$$

$$D_0^{\min} = 45,635 - 1,6 = 44,035 \text{ мм}$$

$$D_1^{\min} = 46,473 - 0,25 = 46,223 \text{ мм}$$

$$D_2^{\min} = 46,761 - 0,1 = 46,661 \text{ мм}$$

$$D_3^{\min} = 46,9 - 0,039 = 46,861 \text{ мм}$$

$$D_4^{\min} = 47,025 - 0,025 = 47 \text{ мм}$$

Граничні значення припусків по переходам механічної обробки розраховуються за формулою [2, с. 6]:

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

$$2z_1^{\max} = 46,473 - 44,035 = 2,438 \text{ мм}$$

$$2z_2^{\max} = 46,761 - 46,223 = 0,538 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 46,9 - 46,661 = 0,239 \text{ мм}$$

$$2z_4^{\max} = 47,025 - 46,861 = 0,164 \text{ мм}$$

Мінімальні припуски розраховуються за формулою [2, с. 6]:

$$2z_i^{\min} = D_i^{\min} - D_{i-1}^{\max} \quad (1.20)$$

$$2z_1^{\min} = 46,223 - 45,635 = 0,588 \text{ мм}$$

$$2z_2^{\min} = 46,661 - 46,473 = 0,188 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\min} = 46,861 - 46,761 = 0,1 \text{ мм}$$

$$2z_4^{\min} = 47 - 46,9 = 0,1 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків виконується за формулами [2, с. 62]:

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = TD_{\text{заг}} + TD_{\text{дет}} = TD_0 \quad (1.21)$$

$$2z_0^{\max} = D_4^{\max} - D_0^{\min} \quad (1.22)$$

$$2z_0^{\min} = D_4^{\min} - D_0^{\max} \quad (1.23)$$

$$2z_0^{\max} = 47,025 - 44,035 = 2,99 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 47 - 45,635 = 1,365 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,6 + 0,025 = 1,625 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 2,99 - 1,365 = 1,625 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 44,535_{-0,5}^{+1,1}$ мм.

Схема розташування допусків припусків та технологічних розмірів наведено на рисунку 1.8.

Табличні значення припусків для зовнішньої поверхні 6 – $\varnothing 63f7(-0,03_{-0,06}^{0,03})$ на механічні переходи [5, с. 42, табл. 4.3]:

1) точіння чорнове $2z_1^{\min} = 2,0$ мм

2) точіння чистове $2z_2^{\min} = 0,3$ мм

3) шліфування $2z_3^{\min} = 0,1$ мм

Максимальний діаметр розраховується за формулою [2, с. 61]:

$$d_i^{\max} = d_{i+1}^{\max} + 2z_{i+1}^{\min} + Td_i \quad (1.24)$$

$$d_3^{\max} = 63 - 0,03 = 62,97 \text{ мм}$$

$$d_2^{\max} = 62,97 + 0,1 + 0,12 = 63,19 \text{ мм}$$

$$d_1^{\max} = 63,19 + 0,3 + 0,3 = 63,79 \text{ мм}$$

$$d_0^{\max} = 63,79 + 2,0 + 1,6 = 67,39 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр розраховується за формулою [2, с. 61]:

$$d_i^{\min} = d_i^{\max} - Td_i \quad (1.25)$$

$$d_0^{\min} = 67,39 - 1,6 = 65,79 \text{ мм}$$

$$d_1^{\min} = 63,79 - 0,3 = 63,49 \text{ мм}$$

$$d_2^{\min} = 63,19 - 0,12 = 63,07 \text{ мм}$$

$$d_3^{\min} = 62,97 - 0,03 = 62,94 \text{ мм}$$

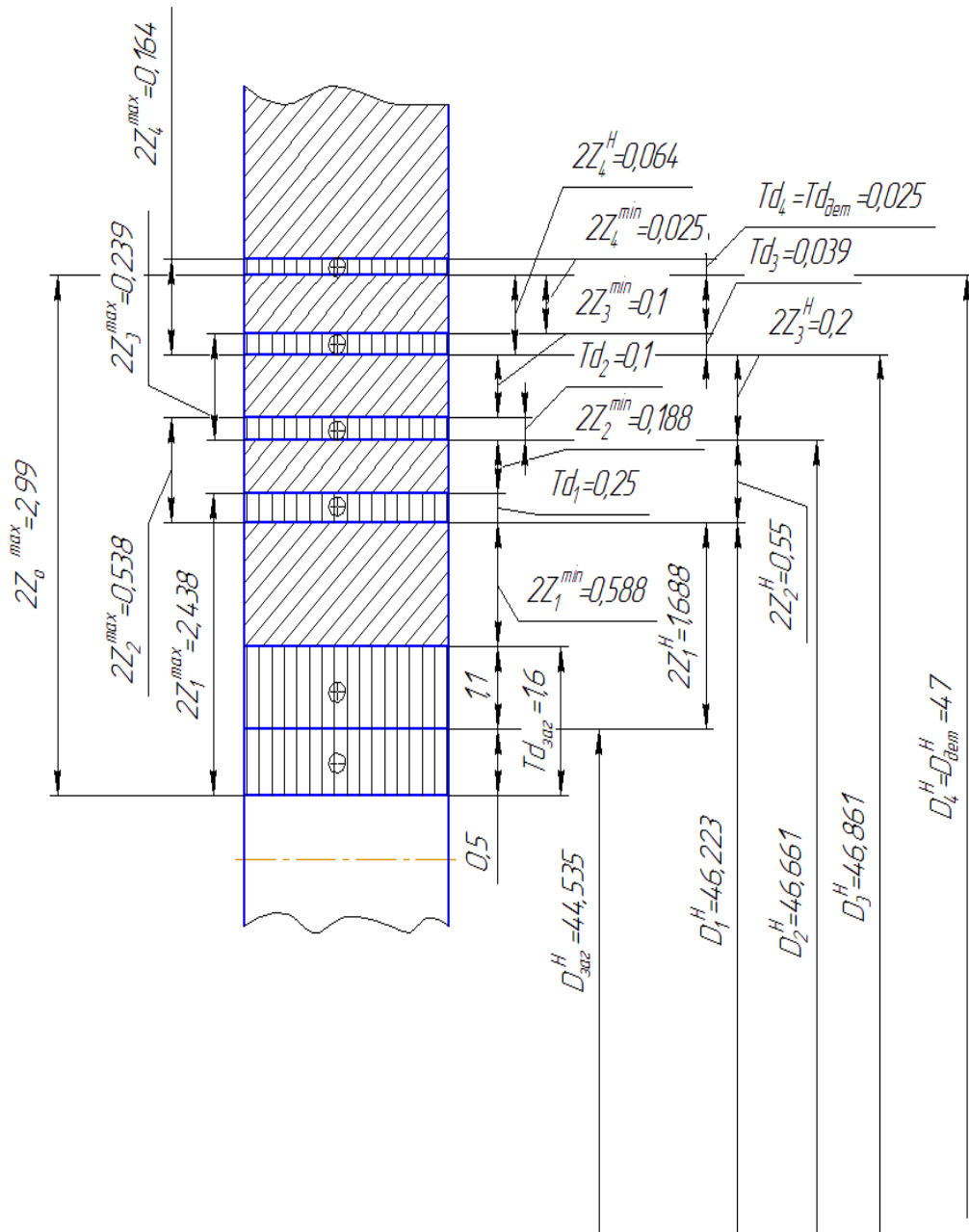


Рисунок 1.8 – Схема розташування допусків, припусків та технологічних розмірів

Максимальні припуски розраховуються за формулою [2, с. 61]:

$$2z_i^{\max} = d_{i-1}^{\max} - d_i^{\min} \quad (1.26)$$

$$2z_1^{\max} = 67,39 - 63,49 = 3,9 \text{ мм}$$

$$2z_2^{\max} = 63,79 - 63,07 = 0,72 \text{ мм}$$

$$2z_3^{\max} = 63,19 - 62,94 = 0,25 \text{ мм}$$

Перевірка правильності розрахунків за формулами (1.21)-(1.23) [2, с. 62]:

$$2z_0^{\max} = 67,39 - 62,94 = 4,45 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\min} = 65,79 - 62,97 = 2,82 \text{ мм}$$

$$TD_0 = 1,6 + 0,03 = 1,63 \text{ мм}$$

$$2z_0^{\max} - 2z_0^{\min} = 4,45 - 2,82 = 1,63 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір заготовки – $\varnothing 66,29_{-0,5}^{+1,1}$ мм.

Схема розташування допусків припусків та технологічних розмірів наведено на рисунку 1.9.

Табличне значення припусків механічної обробки для поверхні 13 – 28h10($-0,084$) призначається по [5, с. 42, табл. 4.3]:

1) підрізка торця чорнова $z_1^{\min} = 1,5$ мм

2) підрізка торця чистова $z_2^{\min} = 0,7$ мм

Номінальні значення припусків, які знімаються на перших переходах обробки торця розраховується за формулою [2, с. 78]:

$$zA_1^{\text{НОМ}} = zA_1^{\min} + \left| \frac{eiA_{\text{зар}}}{2} \right| \quad (1.27)$$

$$zA_1^{\text{НОМ}} = 1,5 + \left| \frac{0,5}{2} \right| = 1,75 \text{ мм}$$

Номінальні значення припусків, які знімаються на механічних переходах розраховуються за формулою [2, с. 78]:

$$zA_i^{\text{НОМ}} = zA_1^{\min} + TA_{i-1} \quad (1.28)$$

$$zA_i^{\text{НОМ}} = 0,7 + 0,25 = 0,95 \text{ мм}$$

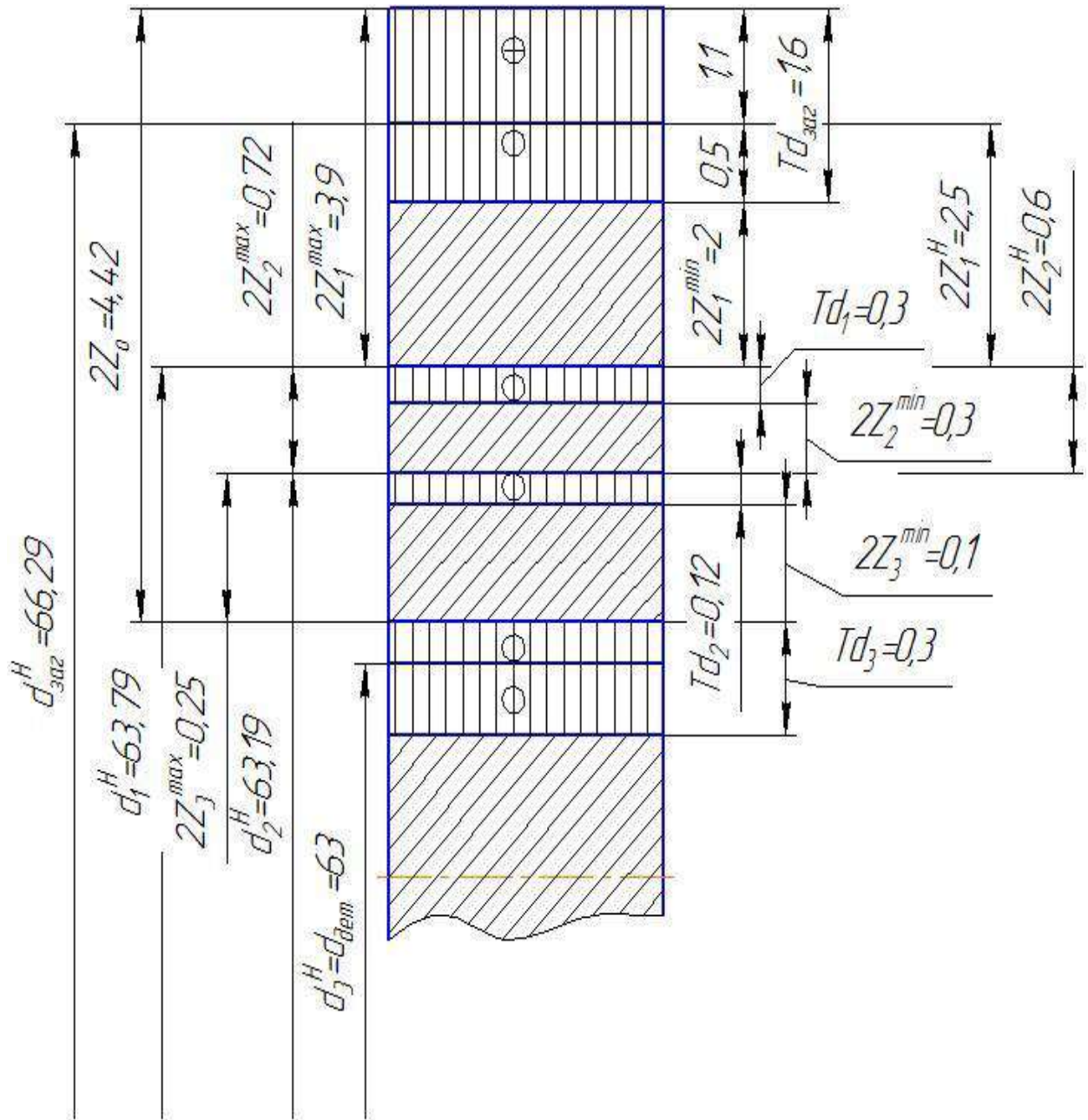


Рисунок 1.9 –Схема розташування припусків, допусків та технологічних розмірів

Номінальні значення межопераційних розмірів деталі за переходами розраховуються за формулою [2, с. 78]:

$$A_i = A_{i+1} + zA_{i+1}^{\text{HOM}} \quad (1.29)$$

$$A_2 = 28 + 0,95 = 28,95 \text{ мм}$$

$$A_{21} = 28,95 + 0,95 = 29,9 \text{ мм}$$

$$A_1 = 29,9 + 1,75 = 31,65 \text{ мм}$$

$$A_{11} = A_{\text{заг}} = 31,65 + 1,75 = 33,4 \text{ мм}$$

Мінімальний розмір деталі розраховується за формулою [2, с. 78]:

$$A_{\text{д}}^{\text{min}} = A_{\text{д}} - ei_{\text{д}} \quad (1.30)$$

$$A_{\text{д}}^{\text{min}} = 28 - 0,084 = 27,916 \text{ мм}$$

Правильність розрахунків перевіряється за формулою [2, с. 78]:

$$z_0 A^{\text{НОМ}} = A_{\text{заг}} - A_{\text{д}} = \sum z A_i^{\text{НОМ}} \quad (1.31)$$

$$A_{\text{заг}} - A_{\text{д}} = 33,4 - 28 = 5,4 \text{ мм}$$

$$\sum z A_i^{\text{НОМ}} = 2 \cdot (0,95 + 1,75) = 5,4 \text{ мм}$$

Результати розрахунку міжопераційних припусків та розмірів наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Припуски та міжопераційні розміри

Характеристика поверхні	МОП		Елементи припуску				Допуск Td, мм	Граничні розміри		Граничні припуски		Виконавчий розмір, мм
	i	Метод обробки	R_z мкм	h мкм	ρ мкм	ε_y мкм		$d_i^{\max}$, мм	$d_i^{\min}$, мм	$2z_i^{\max}$, мм	$2z_i^{\min}$, мм	
Зовнішня циліндрична $\varnothing 63f7(-0,03/-0,06)$	1	Заготовка	Табличний метод				1,6	67,39	65,79			$66,29^{+1,1}_{-0,5}$
	2	Точіння чорнове					0,3	63,79	63,49	3,9	2,0	$63,79_{-0,3}$
	3	Точіння чистове					0,12	63,19	63,07	0,72	0,3	$63,19_{-0,12}$
	4	Гартування										
	5	Шліфування					0,03	62,97	62,94	0,25	0,1	$63_{-0,06}^{-0,03}$
Внутрішня циліндрична $\varnothing 47H7(+0,025)$	1	Заготовка	80	150	64,01	0	1,6	45,635	44,035			$44,535^{+1,1}_{-0,5}$
	2	Розточування чорнове	40	50	3,84		0,25	46,473	46,223	2,438	0,588	$46,223^{+0,25}$
	3	Розточування чистове	20	20	0,154		0,1	46,761	46,661	0,538	0,188	$46,661^{+0,1}$
	4	Гартування										
	5	Шліфування попереднє	20	30	0,005		0,039	46,9	46,861	0,239	0,100	$46,861^{+0,039}$
	6	Шліфування чистове	5	15	0		0,025	47,025	47	0,164	0,100	$47^{+0,025}$
Зовнішня лінійна $28h10(-0,084)$	1	Заготовка	Табличний метод				1,4	34,3	32,9			$34,3^{+0,9}_{-0,5}$
	2	Підрізка чорнова					0,25	29,9	29,65	1,75	1,5	$29,9_{-0,25}$
	3	Підрізка чистова					0,084	28	27,916	0,95	0,7	$28_{-0,084}$
	4	Плоскошліфувальна										

1.6 Розрахунок режимів різання

1.6.1 Операція 020 – Токарна

Операційний ескіз токарної операції 020 наведений на рисунку 1.10.

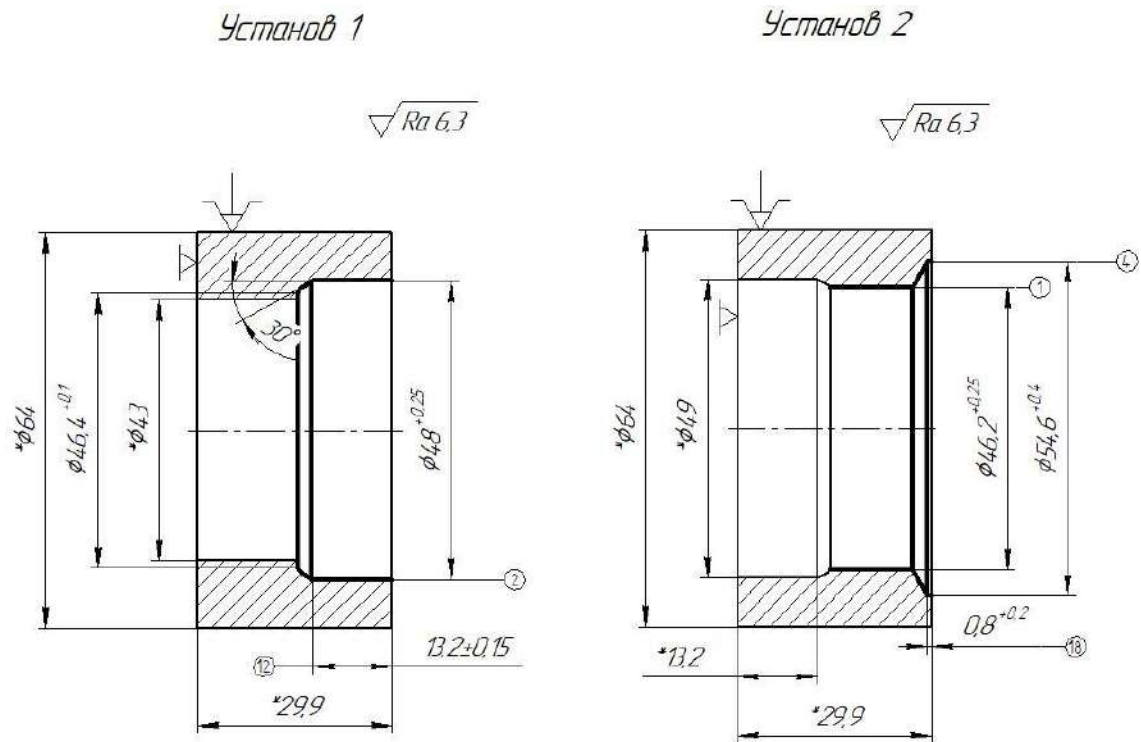


Рисунок 1.10 – Операційний ескіз токарної операції 020

Режими різання на токарну операцію призначаються табличним методом у наступній послідовності.

Ріжучий інструмент: різець розточний $\varphi=95^\circ$; $d=16$; $h=15$; $l=9,7$; $l_1=150$; $\varepsilon=80^\circ$; Т15К6 ТУ 2-035-1040-86 [8, с.171, табл.15].

Обробка виконується на токарному верстаті з ЧПК АТПр-2М12СН. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.7 [41].

Таблиця 1.7 – Технічна характеристика верстата АТПр-2М12СН

Найбільший розмір оброблюваної деталі, мм	
- над супортом	250
- над верхнім супортом	210
Найбільше поздовжнє переміщення супорта, мм	230
Потужність привода шпинделя, кВт	8,3/10,2
Частота обертання шпинделя, хв ⁻¹	70-1780
Швидкість руху подачі, мм/хв	10000
-поздовжня	1-1200
-поперечної	0,5-600
Швидкість прискореного переміщення, м/хв, супорту	30
-поздовжнього	4,8
-поперечного	2,4

Припуск на обробку h , мм внутрішніх поверхонь розраховується за формулою [6, с. 276]:

$$h = \frac{d-D}{2}, \quad (1.32)$$

де d – розмір заготовки, мм;

D – операційний розмір деталі, мм

$$h = \frac{(46,2-44)}{2} = 1,1 \text{ мм}$$

Глибина різання t , мм розраховується за формулою [7, с. 28]:

$$t = \frac{h}{i}, \quad (1.33)$$

де h – припуск на обробку, мм

i – кількість проходів

$$t=1,1 \text{ мм}$$

Подача S_0 , мм/об розраховується за формулою [7, с. 30]:

$$S_0 = S_{0T} \cdot K_S \quad (1.34)$$

де S_{0T} – табличне значення подачі $S_{0T} = 0,32$, мм/об [7, с.51, карта 10];

K_S – поправочний коефіцієнт на подачу [7, с. 30].

$$K_S = K_{Sp} \cdot K_{Sd} \cdot K_{Si} \cdot K_{Sn} \cdot K_{Sm} \cdot K_{Sl} \cdot K_{Se} \quad (1.35)$$

де K_{Sp} – коефіцієнт, що враховує спосіб кріплення ріжучої пластини, $K_{Sp} = 1,0$ [7, с.54, карта 11];

K_{Sd} – коефіцієнт, що враховує діаметр до обробки і після, $K_{Sd} = 0,62$ – до 80 мм [7, с.54, карта 11];

K_{Si} – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{Si} = 0,8$ – Т15К6 [7, с.55, карта 11];

K_{Sn} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні деталі $K_{Sn} = 1,0$ – без корки [7, с.52, карта 11];

K_{Sm} – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{Sm} = 0,8$ – HB=269 [7, с.52 карта 11];

K_{Sl} – коефіцієнт, що враховує відношення вильоту різця до його довжини, $K_{Sl} = 0,74 - \ell/d=9,3$ [7, с.53, карта 11];

K_{Se} – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{Se} = 1,0 - \epsilon=80^\circ$ [7, с.53, карта 11];

$$K_S = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,74 \cdot 1,0 \cdot 0,62 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,29$$

$$S_0 = 0,32 \cdot 0,29 = 0,09 \text{ мм/об}$$

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою [7, с. 31]:

$$V = V_m \cdot K_V \quad (1.36)$$

де V_T – табличне значення швидкості різання, $V_T = 241$ м/хв [7, с.73, карта 21];

K_V – поправочний коефіцієнт на швидкість різання [7, с. 31]:

$$K_V = K_{V_m} \cdot K_{V_{и}} \cdot K_{V_j} \cdot K_{V_o} \cdot K_{V_T} \cdot K_{V_{HB}} \cdot K_{V_{\epsilon}} \cdot K_{V_{ж}} \quad (1.37)$$

де K_{V_m} – коефіцієнт, що враховує оброблюваний матеріал, $K_{V_m} = 0,85$ [7, с.82, карта 23];

$K_{V_{и}}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал ріжучої пластини, $K_{V_{и}} = 1,0$ [7, с.73, карта 21];

K_{V_j} – коефіцієнт, що враховує жорсткість верстата, $K_{V_j} = 1,0$ [7, с.83, карта 23];

K_{V_o} – коефіцієнт, що враховує вид обробки, $K_{V_o} = 1,0$ [7, с.82, карта 23];

K_{V_T} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструмента, $K_{V_T} = 1,0$ [7, с.84, карта 23];

$K_{V_{HB}}$ – коефіцієнт, що враховує твердість оброблюваного матеріалу, $K_{V_{HB}} = 0,8$ [7, с.83, карта 23];

$K_{V_{\epsilon}}$ – коефіцієнт, що враховує геометрію різця, $K_{V_{\epsilon}} = 1,0$ [7, с.84, карта 23];

$K_{V_{ж}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з охолодженням, $K_{V_{ж}} = 1,0$ – робота з охолодженням [7, с.84, карта 23]

$$K_V = 1,05 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,714$$

$$V = 241 \cdot 0,714 = 172,07 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою [7, с. 32]:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot d} \quad (1.38)$$

$$n = \frac{1000 \cdot 172,07}{3,14 \cdot 46,2} = 1175,9 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_d = 800 \text{ об/хв}$ [41].

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою [7, с. 32]:

$$V_d = \frac{n \cdot \pi \cdot d}{1000} \quad (1.39)$$

$$V_d = \frac{800 \cdot 3,14 \cdot 46,2}{1000} = 117 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача $S_{хв}$, мм/хв розраховується за формулою [7, с. 33]:

$$S_{хв} = n \cdot S_o \quad (1.40)$$

$$S_{хв} = 800 \cdot 0,09 = 72 \text{ мм/хв}$$

Дійсна хвилинна подача відповідно до паспорту верстата $S_{хвд} = 72 \text{ мм/хв}$ [41].

Потужність приводу головного руху N , кВт розраховується за формулою [7, с. 33]:

$$N = N_T \cdot K_{NM} \quad (1.41)$$

де N_T – табличне значення потужності різання, $N_T = 5,1 \text{ кВт}$ [7, с.73, карта 21];

K_{NM} – коефіцієнт, що враховує механічні властивості оброблюваного матеріалу
 $K_{NM} = 1,05$ [7, с.84, карта 24]

$$N = 5,1 \cdot 1,05 = 5,355 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується за умови [7, с. 33]:

$$N \leq N_{\text{дв}} \cdot \eta \quad (1.42)$$

де $N_{\text{дв}}$ – потужність електродвигуна головного руху, кВт [41];

η – коефіцієнт корисної дії (ККД) верстату [41].

$$N \leq 10,2 \cdot 0,85 = 8,6$$

$$5,355 < 8,6$$

Потужність приводу головного руху верстата за паспортними даними складає $N=10,2$ кВт [41]. Умова виконується, тобто електродвигун обраного верстата дозволить працювати на розрахованих режимах різання.

Машинний час t_0 , хв розраховується за формулою [7, с. 9]:

$$t_0 = \frac{L_{\text{рх}}}{S_{\text{хв}}} \cdot i, \quad (1.43)$$

де $L_{\text{рх}}$ – довжина робочого ходу, мм;

i – кількість проходів

Довжина робочого ходу $L_{\text{рх}}$, мм розраховується за формулою [7, с. 9]:

$$L_{\text{рх}} = \ell_{\text{обр}} + \ell_{\text{вр}}, \quad (1.44)$$

де $\ell_{\text{обр}}$ – довжина обробки, мм;

$\ell_{\text{вр}}$ – величина врізання та перебігу, $\ell_{\text{вр}} = 5$ мм [7, с.328, приложение 22]

$$L_{\text{рх}} = 20,2 + 5 = 25,2 \text{ мм}$$

$$t_o = \frac{25,2}{72} \cdot 3 = 1,05 \text{ хв}$$

Режими різання на інші переходи розраховуються аналогічно. Результати розрахунків режимів різання за переходами наведено в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Режими різання за переходами на операцію токарну з ЧПК

Перехід	D мм	t, мм	S _o мм/об	V _д , м/хв	n _д , хв ⁻¹	S _{хв} , мм/хв	ℓ _{обр} , мм	L _{рх} , мм	i, шт	t _o , хв
2	48	1	0,09	117	800	72	13,2	18,2	3	0,752
4	46,2	1,2	0,09	117	800	72	15,2	25,2	3	1,05
5	54,6	1,05	0,09	138,16	800	72	8,8	18,8	3	0,42

Сумарний основний машинний час на операцію ΣT_o , хв [7, с.9]:

$$\Sigma T_o = 1,05 + 0,42 + 0,752 = 2,22 \text{ хв}$$

1.6.2 Операція 110 – фрезерна з ЧПК

Операційний ескіз на фрезерну операцію з ЧПК 110 наведено на рисунку 1.11.

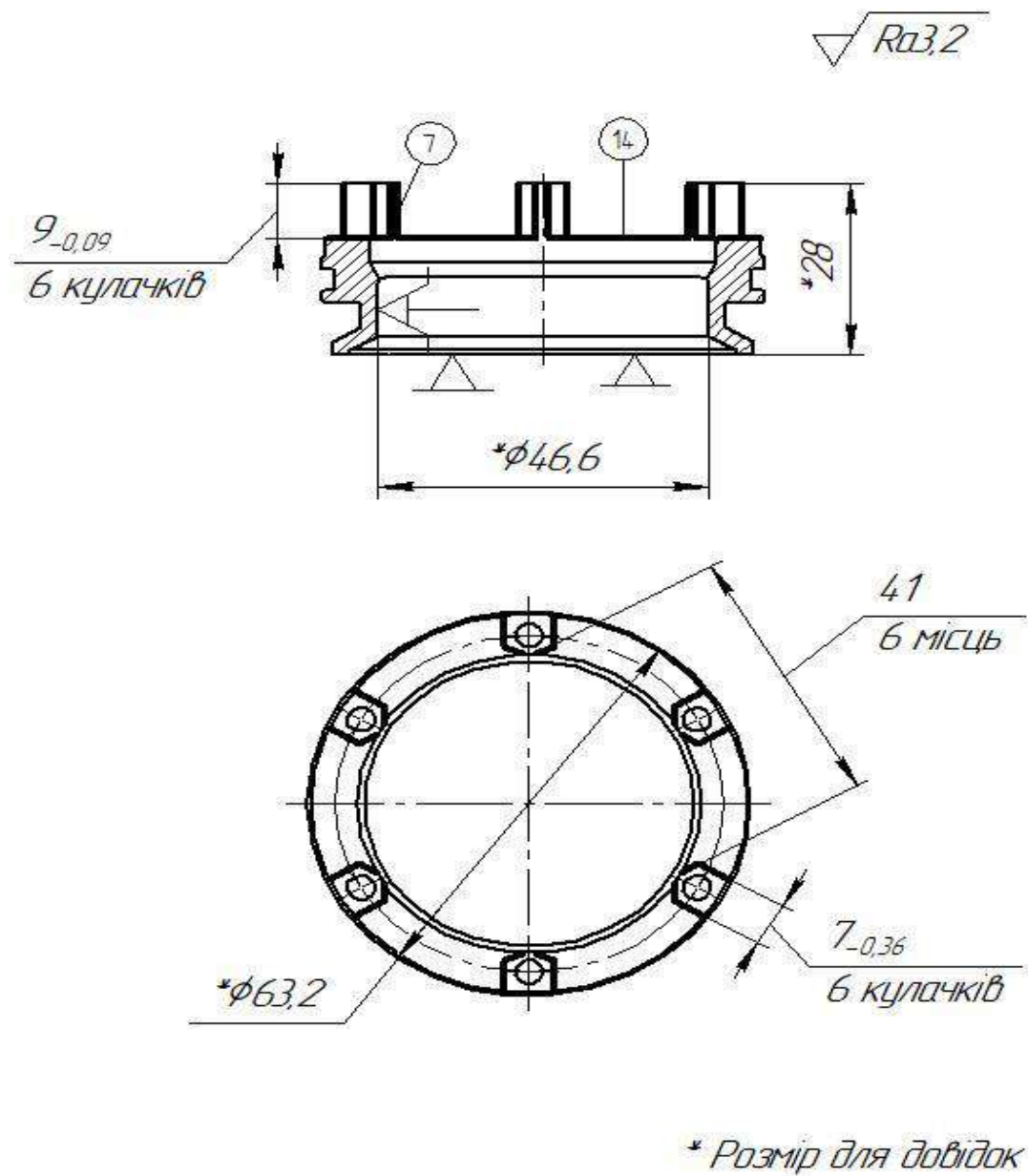


Рисунок 1.11 – Операційний ескіз фрезерної операції з ЧПК 110

Обробка виконується на оброблюючому центрі Haas VF-2. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.9 [41].

Таблиця 1.9 – Технічна характеристика верстата Haas VF-2

Параметр	Значення
Максимальне переміщення по осі X, мм	762
Максимальне переміщення по осі Y, мм	406
Максимальне переміщення по осі Z, мм	508
Максимальна відстань від столу до торця шпинделя, мм	610
Мінімальна відстань від столу до торця шпинделя, мм	102
Довжина столу, мм	914
Ширина столу, мм	356
Ширина Т-подібних пазів, мм	16
Відстань між Т-подібними пазами, мм	125
Розмір конуса шпинделя	40
Максимальна частота обертання шпинделя, об/хв	8100
Максимальна потужність шпинделю, кВт	22,4
Максимальний крутний момент, Нм	122
Максимальне осьове зусилля, кН	18,7
Максимальна швидкість холостих подач, м/хв	25,4
Максимальні робочі подачі по осям XYZ, м/хв	16,5

Ріжучий інструмент: фреза кінцева $D=10\text{мм}$; $d=10\text{мм}$; $l=25\text{мм}$; $L=70\text{мм}$; $z=3$; $\gamma=15^\circ$; $\omega=30^\circ$; $\alpha=12^\circ$; $\varphi=90^\circ$; $\varphi_1=3^\circ$ P6M5 IFSE 3010-070-V25 (каталог KORLOY).

Призначаємо глибину різання t , мм та ширину фрезерування B , мм [6, с.282, рис.3]

$$t = 7 \text{ мм}; B=9 \text{ мм}$$

Подача на зуб S_z , мм/зуб призначається в залежності від діаметру фрези, типу фрези [6, с.284, табл.35]

$$S_z = 0,05 \text{ мм/зуб}$$

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою [6, с. 282]:

$$V = \frac{C_v D^q}{T^m t^x S_z^y B^u z^p} K_v \quad (1.45)$$

де C_v , m , x , y , q , u , p – стандартні коефіцієнт та показники степені, $C_v=46,7$, $q=0,45$, $m=0,33$, $x=0,5$, $y=0,5$, $u=0,1$, $p=0,1$ [6, с.286, табл.39];

T – стійкість фрези, хв, $T=80$ [6, с.290, табл.40];

K_v – поправочний коефіцієнт [6, с. 282].

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання K_v , що враховує фактичні умови різання розраховується за формулою [6, с. 282]:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{nv} \cdot K_{uv} \quad (1.46)$$

де K_{mv} – коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей матеріалу деталі на швидкість різання [6, с. 282];

K_{nv} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{nv}=1,0$ [6, с.263, табл.5];

K_{uv} – коефіцієнт, що враховує вплив інструментального матеріалу, $K_{uv}=0,3$ [6, с.263, табл.6]

Поправочний коефіцієнт, що враховує вплив фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу K_{mv} розраховується за формулою [6, с. 261, табл. 1]:

$$K_{mv} = K_r \left(\frac{750}{\sigma_B} \right)^n \quad (1.47)$$

де K_r – коефіцієнт, що характеризує групу сталі за складністю обробки, $K_r = 1,0$ [6, с262, табл.2];

n – показник степеню, $n=0,9$ [6, с262, табл.2];

$$K_{mV} = 1,0 \left(\frac{750}{600} \right)^{0,9} = 1,24$$

$$K_V = 1,24 \cdot 1,0 \cdot 0,3 = 0,372$$

$$V = \frac{46,7 \cdot 10^{0,45}}{80^{0,33} \cdot 7^{0,5} \cdot 0,05^{0,5} \cdot 9^{0,1} \cdot 3^{0,1}} \cdot 0,372 = 13,989 \text{ м/хв}$$

Частота обертання шпинделя n , об/хв розраховується за формулою (1.38) [7, с. 32]:

$$n = \frac{1000 \cdot 13,989}{3,14 \cdot 10} = 445,509 \text{ об/хв}$$

Приймається фактична частота обертання шпинделя верстата відповідно до паспортних даних $n_d=400$ об/хв.

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.39) [7, с. 32]:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 10 \cdot 400}{1000} = 12,56 \text{ м/хв}$$

Окружна сила різання P_z , Н розраховується за формулою [6, с. 282]:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^{n \cdot z}}{D^q \cdot n^w} \cdot K_{mp} \quad (1.48)$$

де C_p , x , y , n , q , w – стандартні коефіцієнт та показники степені, $C_p=68,2$, $q=0,86$, $x=0,86$, $y=0,72$, $u=1,0$, $w=0$ [6, с 291, табл.41];

K_{mp} – коефіцієнт, який враховує оброблюваний матеріал [6, с. 290].

Поправочний коефіцієнт K_{mp} , що враховує вплив якості оброблюваного матеріалу на силові залежності розраховується за формулою [6, с. 264, табл. 9]:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{750} \right)^n \quad (1.49)$$

де n – показник степеню, $n=0,3$ [6, с 264, табл. 9];

$$K_{mp} = \left(\frac{600}{750} \right)^{0,3} = 0,935$$

$$P_z = \frac{10 \cdot 68,2 \cdot 7^{0,86} \cdot 0,05^{0,72} \cdot 9^{0,1} \cdot 3}{10^{0,86} \cdot 400^0} \cdot 0,935 = 203,481 \text{ Н}$$

Крутний момент на шпинделі $M_{кр}$, Нм розраховується за формулою [6, с. 290]:

$$M_{кр} = \frac{P_z \cdot D}{2 \cdot 100} \quad (1.50)$$

$$M_{кр} = \frac{203,481 \cdot 10}{2 \cdot 100} = 10,174 \text{ Нм}$$

Потужність різання $N_{різ}$, кВт розраховується за формулою [6, с. 290]:

$$N_{різ} = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} \quad (1.51)$$

$$N_{різ} = \frac{203,481 \cdot 12,56}{1020 \cdot 60} = 0,042 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується за умови (1.42) [7, с. 33]:

$$N_{різ} \leq 22,4 \cdot 0,85 = 19,04$$

$$0,042 < 19,04$$

Умова виконується, тобто електродвигун обраного верстата дозволить працювати на розрахованих режимах різання.

Довжина врізання y , мм розраховується за формулою [6, с. 290]:

$$y = \sqrt{t(D - t)} \quad (1.52)$$

$$y = \sqrt{7(10 - 7)} = 4,583 \text{ мм}$$

Хвилинна подача $S_{\text{хв}}$, мм/хв розраховується за формулою [6, с. 282];

$$S_{\text{хв}} = S_z \cdot z \cdot n_d \quad (1.53)$$

$$S_{\text{хв}} = 0,05 \cdot 3 \cdot 400 = 60 \text{ мм/хв}$$

Основний машинний час t_o , хв розраховується за формулою (1.43) [7, с. 9]:

$$t_o = \frac{226+4,6+5,4}{60} \cdot 10 = 39,33 \text{ хв}$$

1.6.3 Операція 105 – свердлильна з ЧПУ

Операційний ескіз свердлильної операції 105 наведено на рисунку 1.12.

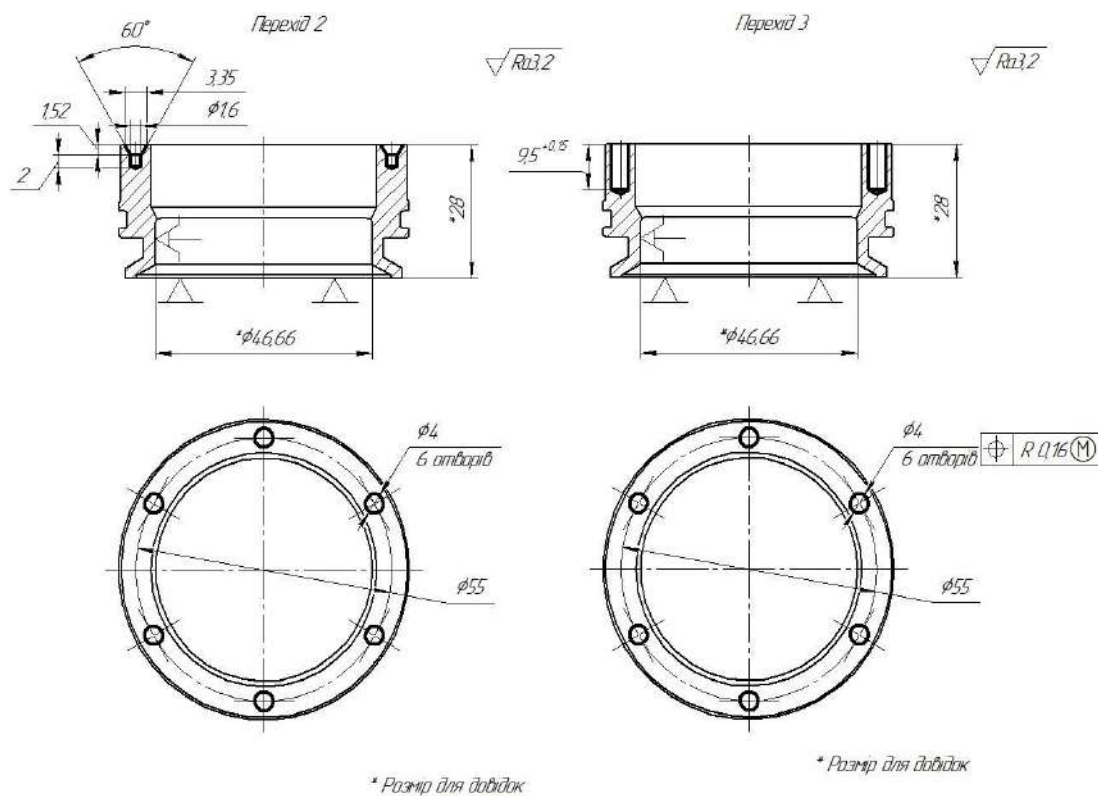


Рисунок 1.12 – Операційний ескіз свердлильної операції 105

Обробка ведеться на верстаті з ЧПК моделі 2P135Ф2. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.10 [41].

Таблиця 1.10 – Технічна характеристика верстата 2P135Ф2

Параметр	Значення
Найбільший діаметр свердлення в Сталі 45, мм	35
Найбільший діаметр різі в Сталі 45, мм	M24
Найменша і найбільша відстань від торця шпинделя до поверхні столу, мм	40...600
Відстань від осі вертикального шпинделя до направляючих стойці (виліт), мм	450
Повздовжнє переміщення столу по направляючим салазок (X), мм	630
Поперечне переміщення салазок по направляючим станини за програмою (Y), мм	360
Найбільше переміщення шпиндельної бабаки за програмою (Z), мм	560
Частота обертання шпинделя, об/хв	45...2000 31...1400
Кількість швидкостей шпинделю	12
Кількість подач супорту по осі Z, мм	18
Подачі супорту, мм	10...500
Потужність двигуна головного руху, кВт	3,7
Габарити верстата, мм: - довжина - ширина	1800 2170

Перехід 2: свердло центрувальне для свердлення центрових отворів без запобіжних фасок тип А $\varnothing 1,6$ мм D = 4,0 мм l = 2,8 мм L = 37,5 мм $2\phi = 60^\circ$ ДСТУ ISO 866:2018 (ГОСТ 14952-75).

Глибина різання t , мм розраховується за формулою [6, с. 276]:

$$t = \frac{D}{2}, \quad (1.54)$$

де D – діаметр інструмента, мм

$$t = \frac{1,6}{2} = 0,8 \text{ мм}$$

Подача S_o , мм/об розраховується за формулою (1.34) [6, с. 290]:

$$S_o = 0,09 \cdot 1,1 = 0,099 \text{ мм/об}$$

де $S_{\text{табл}}=0,09$ – свердло з Р6М5 діаметром до 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46];

$K_{SM}=1,1$ – матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с.143, карта 53]

Поправочний коефіцієнт на швидкість різання K_v розраховується за формулою [7, с.142, карта 52]:

$$K_v = K_{vM} \cdot K_{v3} \cdot K_{vж} \cdot K_{vT} \cdot K_{vи} \cdot K_{v\ell} \cdot K_{vw}, \quad (1.55)$$

де K_{vM} – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу деталі, $K_{vM} = 1,1$ [7, с.143, карта53];

K_{v3} – коефіцієнт, що враховує форму заточки інструменту, $K_{v3} = 1,2$ [7, с.146, карта 53];

$K_{vж}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з застосуванням охолодження, $K_{vж} = 1,0$ [7, с.145, карта 53];

K_{vT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструменту, $K_{vT} = 1,0$ [7, с.148, карта 53];

$K_{vи}$ – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{vи} = 1,0$ [7, с.146, карта 53];

$K_{V\ell}$ – коефіцієнт, що враховує довжину робочої частини свердла, $K_{V\ell} = 1,0$ [7, с.146, карта 53];

K_{VW} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{VW} = 1,0$ [7, с. 145, карта 53]

$$K_V = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,32$$

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою (1.36) [7, с. 31]:

$$V = 27,3 \cdot 1,32 = 36,04 \text{ м/хв}$$

де $V_{\text{табл}}=27,3$ – свердло з Р6М5 діаметром до 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46]

Частота обертання шпинделя n , об/хв визначається за формулою (1.38) [7, с. 32]:

$$n = \frac{1000 \cdot 36,04}{3,14 \cdot 1,6} = 7173,57 \text{ об/хв}$$

Дійсна частота обертання приймається з паспорту верстата $n_d=320$ об/хв [41].

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.39) [7, с. 32]:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 1,6 \cdot 320}{1000} = 1,608 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача S_{XB} , мм/хв розраховується за формулою (1.40) [7, с. 33]:

$$S_{XB} = 0,099 \cdot 320 = 31,68 \text{ мм/хв}$$

Дійсна хвилинна подача за паспортними даними верстату $S_{XB,d}=30$ мм/хв [41].

Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт розраховується за формулою [7, с. 128, карта 46]:

$$N = N_T / K_{NM}, \quad (1.56)$$

де $N_T = 0,19$ кВт – свердло з Р6М5 діаметром до 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46];

де K_{NM} – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу деталі, $K_{NM} = 1,1$ [7, с.143, карта53]

$$N = 0,19 / 1,1 = 0,17 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується за умови (1.42) [7, с. 33]:

$$N \leq 3,7 \cdot 0,85 = 3,145$$

$$0,17 < 3,145$$

Потужність приводу головного руху верстата за паспортними даними складає $N = 3,7$ кВт [41]. Умова виконується, тобто електродвигун обраного верстата дозволить працювати на розрахованих режимах різання.

Довжина обробки розраховується за формулою (1.44) [7, с. 9]:

$$L_{\text{рх}} = 3,52 + 3 = 6,52 \text{ мм},$$

де $\ell_{\text{обр}} = 3,52$ мм – глибина обробки;

$\ell_{\text{вр}} = 3,0$ мм – величина підводу [7, с.329, приложение 23]

Машинний час t_0 , хв розраховується за формулою (1.43) [7, с. 9]:

$$t_0 = \frac{5,8}{30} \cdot 6 = 1,16 \text{ хв}$$

Перехід 3: свердло спіральне з циліндричним хвостовиком $\varnothing 4$ мм $L=75$ мм, $\ell_0 = 42$ мм, $\omega^0 = 25$, $\alpha_1^0 = 12$, $\alpha_2^0 = 40$ $2\varphi = 118^\circ$ $\psi = 55^\circ$ ОСТ 2И20-1-80 [8, с.225, табл.72-73].

Глибина різання t , мм розраховується за формулою (1.54) [6, с. 276]:

$$t = \frac{4}{2} = 2 \text{ мм}$$

Подача S_o , мм/об розраховується за формулою (1.34) [7, с. 30]:

$$S_o = 0,09 \cdot 1,1 = 0,099 \text{ мм/об}$$

де $S_{\text{табл}}=0,09$ – свердло з Р6М5 діаметром 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46];

$K_{SM}=1,1$ – матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с.143, карта 53]

Поправочний коефіцієнт на швидкість різання K_v розраховується за формулою (1.55) [7, с.142, карта 52]:

$$K_v = 1,1 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,32$$

де $K_{V_M} = 1,1$ – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу деталі, [7, с.143, карта53];

$K_{V_3} = 1,2$ – коефіцієнт, що враховує форму заточки інструменту, [7, с.146, карта 53];

$K_{V_{ж}}$ – коефіцієнт, що враховує роботу з застосуванням охолодження, $K_{V_{ж}} = 1,0$ [7, с.145, карта 53];

K_{VT} – коефіцієнт, що враховує період стійкості інструменту, $K_{VT} = 1,0$ [7, с.148, карта 53];

K_{VH} – коефіцієнт, що враховує матеріал інструменту, $K_{VH} = 1,0$ [7, с.146, карта 53];

$K_{V\ell}$ – коефіцієнт, що враховує довжину робочої частини свердла, $K_{V\ell} = 1,0$ [7, с.146, карта 53];

K_{VW} – коефіцієнт, що враховує стан поверхні заготовки, $K_{VW} = 1,0$ [7, с.145, карта 53]

Швидкість різання V , м/хв розраховується за формулою (1.36) [7, с. 31]:

$$V = 27,3 \cdot 1,32 = 36,04 \text{ м/хв}$$

де $V_{\text{табл}}=27,3$ – свердло з Р6М5 діаметром 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46]

Частота обертання шпинделя n , об/хв визначається за формулою (1.38) [7, с. 32]:

$$n = \frac{1000 \cdot 36,04}{3,14 \cdot 4} = 2869,11 \text{ об/хв}$$

Дійсна частота обертання з паспорту верстата $n_d=355$ об/хв [41].

Дійсна швидкість різання V_d , м/хв розраховується за формулою (1.39) [7, с.32]:

$$V_d = \frac{3,14 \cdot 4 \cdot 355}{1000} = 4,46 \text{ м/хв}$$

Хвилинна подача S_{XB} , мм/хв розраховується за формулою (1.40) [7, с. 33]:

$$S_{XB} = 0,099 \cdot 355 = 35,15 \text{ мм/хв}$$

Дійсна хвилинна подача за паспортними даними верстату $S_{хв,д}=35$ мм/хв [41].

Потужність різання $N_{різ}$, кВт розраховується за формулою [7, с. 128, карта 46]:

$$N = N_T / K_{NM}, \quad (1.56)$$

де $N_T=0,19$ кВт – свердло з Р6М5 діаметром 4 мм, співвідношення ℓ/D до 3, матеріал деталі 14ХГСН2МА-Ш [7, с 128, карта 46];

K_{NM} – коефіцієнт, що враховує механічні властивості матеріалу деталі, $K_{NM} = 1,1$ [7, с.143, карта53]

$$N = 0,19/1,1 = 0,17 \text{ кВт}$$

Перевірка двигуна верстата на достатність потужності виконується за умови (1.42) [7, с. 33]:

$$N \leq 3,7 \cdot 0,85 = 3,145$$

$$0,17 < 3,145$$

Потужність приводу головного руху верстата за паспортними даними складає $N=3,7$ кВт. Умова виконується, тобто електродвигун обраного верстата дозволить працювати на розрахованих режимах різання.

Довжина обробки розраховується за формулою (1.44) [7, с. 9]:

$$L_{px} = 9,5 + 3 = 12,5 \text{ мм},$$

де $\ell_{обр} = 9,5$ мм – глибина обробки;

$\ell_{вр} = 3,0$ мм – величина підводу [7, с.329, приложение 23]

Машинний час t_0 , хв розраховується за формулою (1.43) [7, с. 9]:

$$t_0 = \frac{12,5}{35} \cdot 6 = 2,14 \text{ хв}$$

Сумарний основний машинний час на операцію ΣT_0 , хв [7, с. 9]:

$$\Sigma T_0 = 1,16 + 2,14 = 3,30 \text{ хв}$$

1.6.4 Операція 130 – внутрішньо-шліфувальна з ЧПК

Операційний ескіз на операцію внутрішньо-шліфувальну з ЧПК 130 наведено на рисунку 1.13.

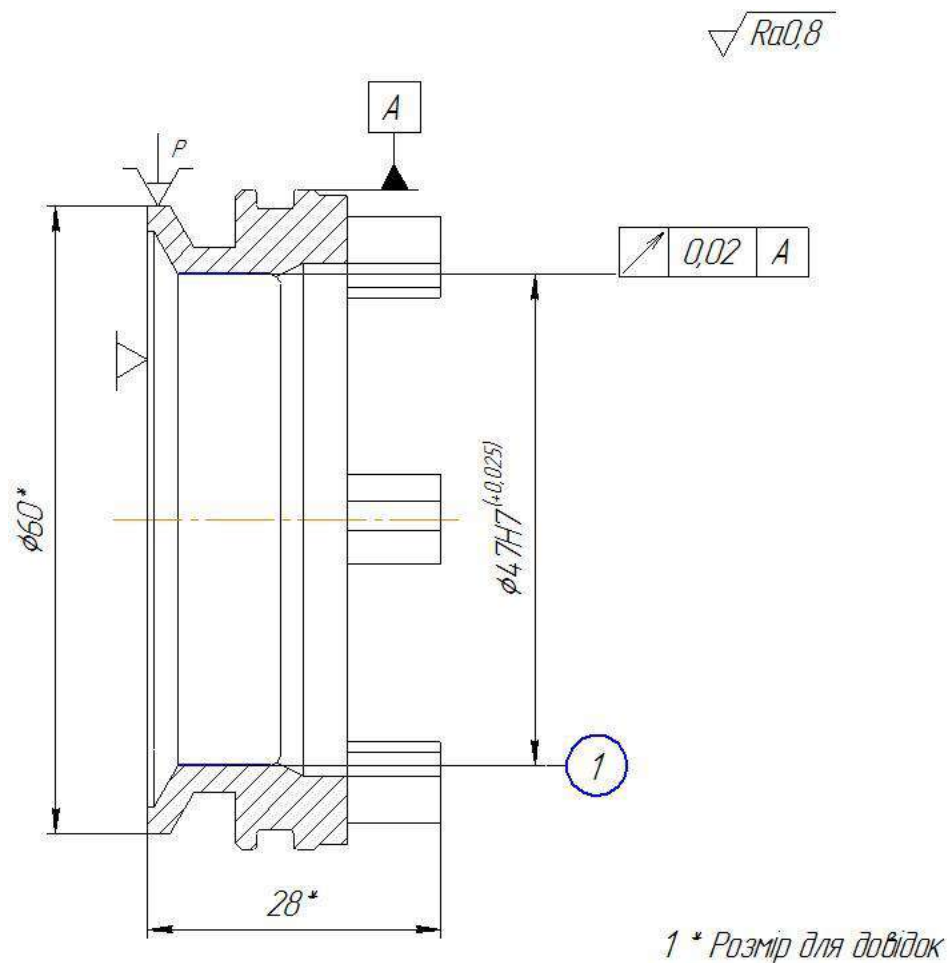


Рисунок 1.13 – Операційний ескіз внутрішньо-шліфувальної операції з ЧПК 130

Обробка виконується на внутрішньо-шліфувальному верстаті з ЧПК моделі 3М227ВФ2 [41]. Технічна характеристика верстата наведена в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11 – Стисла технічна характеристика верстата 3М227ВФ2

Параметр	Значення
Найбільший діаметр, мм:	
- встановлюваної заготовки	400
- встановлюваної заготовки в кожуху	250
Найбільша довжина встановлюваної заготовки, мм:	125
Найменший та найбільший діаметр шліфувального отвору, мм	20...200
Найбільша довжина переміщення столу, мм	560
Швидкість переміщення столу при шліфуванні, м/хв	1...7
Швидкість переміщення столу при швидкому повздовжньому підводі та відведенні, м/хв	10
Частота обертання шпинделя внутрішньо-шліфувальної головки, хв ⁻¹	5000...28000
Поперечне переміщення шліфувальної бабки за один оборот крокового двигуна, мм	0,1
Поперечне переміщення шліфувальної бабки за один імпульс крокового двигуна, мм	0,416
Частота обертання виробу (безступінчасте регулювання), об/хв	60...1200
Подача автоматична неперервна на діаметр, мм/хв	
швидкий хід	120
форсована	1-120
чорнова	0,01-10
чистова	0,01-10
доводочна	0,001-0,1

Продовження таблиці 1.11

Параметр	Значення
Подача періодична на діаметр, мм/подв.хід	
чорнова	0,001-1,0
чистова	0,001-1,0
доводочна	0,001-0,1
Потужність електродвигуна шпинделя шліфувальної бабки, кВт	4,4

Ріжучий інструмент: головка шліфувальна 1 – 40×25 24AF50L7V 35м/с А3 ГОСТ Р 56578-2015 [9, с.162].

Швидкість шліфувального круга $V_k = 30-35$ м/с [6, с.301, табл.55].

За паспортом верстату 3М227ВФ2 $n_k = (5000 \dots 28000)$ хв⁻¹ [41].

Частота обертання круга n_k розраховується за формулою [7, с. 32]:

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot V_k}{\pi \cdot D_{кр}} \quad (1.57)$$

$$n_k = \frac{1000 \cdot 60 \cdot 32}{3,14 \cdot 40} = 15286,62 \text{ хв}^{-1}$$

Кругова швидкість заготовки $V_z = 50-150$ м/хв [6, с. 301, табл.55] приймається $V_z = 60$ м/хв.

Частота обертання деталі n , об/хв розраховується за формулою (1.38) [7, с. 32]:

$$n = \frac{1000 \cdot 60}{3,14 \cdot 46,661} = 409,513 \text{ об/хв}$$

Верстат 3М227ВФ2 має безступінчасте регулювання швидкості обертання заготовки в межах 60-1200 об/хв.

Глибина шліфування (поперечна подача круга) $t=0,0025-0,005$ мм [6, с. 301, табл.55], приймається $t=0,0015$ мм.

На верстаті поперечні подачі регулюються безступінчасто в межах $(0,001-1,0)$ мм/хід.

Повздовжня подача задається в долях ширини круга $S = (0,4-0,75)B$ [6, с. 301, табл.55], приймається $S = 0,4$.

$$S = 0,4 \cdot 25 = 10 \text{ мм/об}$$

Швидкість повздовжнього ходу столу $V_{\text{ст}}$, м/хв визначається за формулою:

$$V_{\text{ст}} = \frac{S \cdot n_{\text{д}}}{1000} \quad (1.58)$$

$$V_{\text{ст}} = \frac{10 \cdot 409,513}{1000} = 4,095 \text{ м/хв}$$

На верстаті передбачено безступінчасте регулювання швидкості повздовжнього ходу столу в межах 1-7 м/хв, приймається $V_{\text{ст}} = 5$ м/хв.

Потужність різання $N_{\text{різ}}$, кВт розраховується за формулою [6, с. 300]:

$$N_{\text{різ}} = C_N V_{\text{д}}^r t^x S^y d^q, \quad (1.59)$$

де C_N , r , x , y , q – стандартні коефіцієнт та показники степеню [6, с. 300];

$C_N = 0,36$, $r = 0,35$, $x = 0,4$, $y = 0,4$, $q = 0,3$ [6, с. 303, табл.56]

$$N_{\text{різ}} = 0,36 \cdot 60^{0,35} \cdot 0,0015^{0,4} \cdot 10^{0,4} \cdot 46,661^{0,3} = 0,888 \text{ кВт}$$

Перевірка на достатню потужність верстата визначається умовою (1.42) [7, с. 33]:

$$N \leq 4,4 \cdot 0,8 = 3,52$$

$$3,52 < 4,4$$

Потужність електродвигуна шпинделя шліфувальної бабки за паспортними даними складає $N = 4,4$ кВт. Умова виконується, тобто електродвигун обраного верстата дозволить працювати на розрахованих режимах різання.

Машинний час t_0 , хв розраховується за формулою [6, с. 290]:

$$t_0 = \frac{L_{p.x.} \cdot h}{n_d \cdot S \cdot t} \cdot K, \quad (1.60)$$

де $L_{p.x.}$ – довжина робочого ходу столу при перебігу круга на кожен бік, що дорівнює $0,5B_k$. $L_{p.x.} = 8,75$ мм

h – припуск на бік, мм

$K = 1,4$ – коефіцієнт точності

$$t_0 = \frac{8,75 \cdot 0,239}{400 \cdot 10 \cdot 0,0015} \cdot 1,4 = 0,48 \text{ хв}$$

1.7 Технічне нормування операцій

1.7.1 Технічне нормування токарної операції з ЧПК 20

Допоміжний час $t_{\text{доп}}$, хв на операцію розраховується за формулою [12, с. 24]:

$$t_{\text{доп}} = t_{\text{вст}}^{\text{зн}} + t_{\text{мд}} + t_{\text{контр}} , \quad (1.61)$$

де $t_{\text{вст}}^{\text{зн}}$ – час на встановлення та зняття деталі, хв $t_{\text{вст}}^{\text{зн}} = 0,11$ хв для деталі вагою до 0,25 кг, в самоцентруючому патроні [12, с.32, карта 2];

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

$t_{\text{контр}}$ – час на контроль деталі, хв

Машино-допоміжний час $t_{\text{мд}}$, хв [4, с. 605, табл. 12]:

$$t_{\text{мд}} = 0,1 \cdot 9 + 0,04 \cdot 9 + 0,03 = 1,29 \text{ хв}$$

де 0,1– установочне переміщення робочих органів верстату, хв [4, с.605, табл. 12];

0,04 – холосте переміщення робочих органів верстата, хв [4, с.605, табл. 12];

0,03 – прискорене переміщення, хв [4, с.605, табл. 12]

Час на контрольні вимірювання $t_{\text{контр}}$, хв розраховується за формулою [12, с. 200]:

$$t_{\text{контр}} = t_{\text{вим}} \cdot K_{\text{п}} , \quad (1.62)$$

де $t_{\text{вим}}$ – час на вимірювання, хв

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,4$ для циліндричної поверхні, 4-5-й клас точність, вимірювальний розмір до 50 мм, розміри досягаються інструментом встановленим на розмір [12, с.200, карта 87]

Час на вимірювання деталі $t_{\text{вим}}$, хв [12]:

$$t_{\text{вим}} = 0,08 + 0,18 \cdot 3 = 0,62 \text{ хв}$$

де 0,18 – вимірювання нутроміром вимірювальний розмір до 50 мм, довжина вимірювальної поверхні до 50 мм [12, с.190, карта 86];

0,08 – вимірювання діаметру калібром-пробкою, точність вимірювань 4-5-й класи, вимірювальний розмір до 50 мм, довжина вимірювальної поверхні до 25 мм [12, с.188, карта 86]

$$t_{\text{контр}} = 0,62 \cdot 0,4 = 0,248 \text{ хв}$$

$$t_{\text{доп}} = 0,11 + 0,11 \cdot 0,8 + 1,29 + 0,62 = 2,11 \text{ хв}$$

Оперативний час $t_{\text{оп}}$, хв розраховується за формулою [12, с. 5]:

$$t_{\text{оп}} = t_o + t_{\text{доп}} \quad (1.63)$$

$$t_{\text{оп}} = 2,22 + 2,11 = 4,33 \text{ хв}$$

Додатковий час $t_{\text{дод}}$, хв розраховується за формулою [4, с. 605]:

$$t_{\text{дод}} = t_{\text{оп}} \cdot \alpha \quad (1.64)$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 10\%$ [4, с.605, табл.12]

$$t_{\text{дод}} = 4,33 \cdot 0,1 = 0,433 \text{ хв}$$

Штучний час на обробку деталі $t_{\text{шт}}$, хв розраховується за формулою [12, с. 24]:

$$t_{\text{шт}} = t_{\text{оп}} + t_{\text{дод}} \quad (1.65)$$

$$t_{\text{шт}} = 4,33 + 0,433 = 4,763 \text{ хв}$$

Підготовчо-заклучний час $t_{\text{пз}}$, хв для обробки партії деталей розраховується за формулою [12, с. 12]:

$$t_{\text{пз}} = t_{\text{пз1}} + t_{\text{пз2}} + t_{\text{пз3}} \quad (1.66)$$

де $t_{\text{пз1}}$ – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початку роботи та здача в кінці зміни, хв;

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

$t_{\text{пз3}}$ – час на пробну обробку деталі, $t_{\text{пз3}}=5,4$ хв для деталей низької точності, кількість вимірювальних по діаметру поверхонь 3 [4, с.611, табл.13].

Нормативами встановлена єдина норма $t_{\text{пз1}}=12$ хв [4, с.606, табл.12]

Час на додаткові прийоми розраховується за формулою [4, с. 610]:

$$t_{\text{пз2}} = 4 + 2 + 7 + 2,5 = 15,5 \text{ хв}$$

де 4,0 – отримати наряд, технологічну документацію [4, с.610, табл.13];

2,0 – інструктаж майстра, хв [4, с.610, табл.13];

7,0 – отримати інструмент, необхідний для налагоджування, на партію деталей, хв [4, с.610, табл.13];

2,5 – налагодити діапазон частот обертання шпинделя, хв [4, с.610, табл. 13];

$$t_{\text{пз}} = 12 + 15,5 + 5,4 = 32,9 \text{ хв}$$

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$, хв розраховується за формулою [12, с. 4]:

$$t_{шт-к} = t_{шт} + \frac{t_{пз}}{n} \quad (1.67)$$

де n – розмір партії деталей, запускаємих у виробництво, шт $n=160$ деталей

$$t_{шт-к} = 4,763 + \frac{32,9}{160} = 4,97 \text{ хв}$$

1.7.2 Технічне нормування фрезерної операції з ЧПК 110.

Час на встановлення, закріплення та зняття деталі $t_{вст, зн}$, хв [12, с. 58]:

$$t_{вст, зн} = 0,04 + 0,07 + 0,14 = 0,25 \text{ хв}$$

де 0,04 хв – для закріплення деталі рукояткою пневматичного затиску вагою до 0,25 кг [12, с.58, карта 16];

0,07 хв – очищення пристосування стислим повітрям [12, с.57, карта 16];

0,14 хв – встановлення в патроні на столі верстату (вертикальна ось патрону), вага деталі до 0,25 кг [12, с.32, карта 2]

Машино-допоміжний час $t_{мд}$, хв [4, с. 607]:

$$t_{мд} = 0,1 \cdot 6 + 0,04 \cdot 6 + 0,04 = 0,88 \text{ хв}$$

де 0,04 – швидке переміщення робочих органів верстату [4, с.607, табл. 12];

0,1 – позиційне переміщення робочих органів верстата [4, с.607, табл. 12];

0,04 – підведення інструменту в зону різання [4, с.607, табл. 12]

Час на контрольні вимірювання $t_{\text{контр}}$, хв розраховується за формулою (1.62) [12, с. 200]:

$$t_{\text{контр}} = 0,1 \cdot 12 \cdot 0,3 = 0,36 \text{ мм}$$

де 0,1 – час на вимірювання штангенциркулем, вимірювальний розмір до 50 мм, довжина вимірювальної поверхні до 50 мм [12, с.191, карта 86];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,3$ для фрезерування площини, точність 0,1 мм, вимірювальний розмір до 50 мм, розміри досягаються інструментом встановленим на розмір [12, с.200, карта 87]

Допоміжний час $t_{\text{доп}}$, хв на операцію розраховується за формулою (1.61) [12, с. 24]:

$$t_{\text{доп}} = 0,25 + 0,88 + 0,36 = 1,49 \text{ хв}$$

Оперативний час $t_{\text{оп}}$, хв розраховується за формулою (1.63) [12, с. 5]:

$$t_{\text{оп}} = 39,33 + 1,49 = 40,82 \text{ хв}$$

Додатковий час $t_{\text{дод}}$, хв розраховується за формулою (1.64) [4, с. 607]:

$$t_{\text{дод}} = 40,82 \cdot 0,12 = 4,898 \text{ хв}$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 12\%$ [4, с.607, табл.12]

Штучний час на обробку деталі $t_{шт}$, хв розраховується за формулою (1.65) [12, с. 24]:

$$t_{шт} = 40,82 + 4,898 = 45,72 \text{ хв}$$

Час на додаткові прийоми розраховується за формулою [4, с. 607]:

$$t_{пз2} = 7 + 0,5 + 2 + 1,5 = 11 \text{ хв}$$

де 7,0 – встановлення пристосування [4, с.607, табл.12];

0,5 – встановлення інструменту [4, с.608, табл.12];

2,0 – отримати та здати наряд, технологічну документацію [4, с.617, табл.15];

1,5 – інструктаж майстра, [4, с.617, табл.15];

Підготовчо-заключний час $t_{пз}$, хв для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.66) [4, с. 618]:

$$t_{пз} = 12 + 11 + 4,6 = 27,6 \text{ хв}$$

де $t_{пз1}=12$ хв – час, що враховує отримання наряду, креслення, технологічної документації на початку роботи та здача в кінці зміни [4, с. 618, табл. 15],

$t_{пз3}=4,6$ – час на фрезерування пазу концевими фрезами сталевих деталей, глибина пазу до 15 мм, довжина пазу до 20 мм [4, с.618, табл.15]

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$, хв розраховується за формулою (1.67) [12, с. 12]:

$$t_{шт-к} = 45,72 + \frac{27,6}{160} = 45,89 \text{ хв}$$

1.7.3 Технічне нормування свердлильної операції з ЧПК 105

Час на встановлення, закріплення та зняття деталі $t_{\text{вст, зн}}$, хв [12, с. 58]

$$t_{\text{вст, зн}} = 0,04 + 0,07 + 0,14 = 0,25 \text{ хв}$$

де 0,04 хв – для закріплення деталі рукояткою пневматичного затиску [12, с.58, карта 16];

0,07 хв – очищення пристосування стислим повітрям [12, с.57, карта 16];

0,14 хв – встановлення в патроні на столі верстату (вертикальна ось патрону) [12, с.32, карта 2]

Машино-допоміжний час $t_{\text{мд}}$, хв [4, с. 607]:

$$t_{\text{мд}} = 0,1 \cdot 8 + 0,03 \cdot 8 + 0,03 \cdot 8 = 1,28 \text{ хв}$$

де 0,1– прискорене переміщення робочих органів верстату, хв [4, с.607, табл. 12];

0,03 – позиційне переміщення робочих органів верстата, хв [4, с.607, табл. 12];

0,03 – підведення інструменту в зону різання, хв [4, с.607, табл. 12]

Час на контрольні вимірювання $t_{\text{контр}}$, хв розраховується за формулою (1.62) [12, с. 200]:

$$t_{\text{контр}} = 0,06 \cdot 4 \cdot 0,3 = 0,072 \text{ мм}$$

де 0,06 – час на вимірювання калібр-пробкою, 4-5-й клас, вимірювальний розмір до 25 мм, довжина вимірювальної поверхні до 25 мм [12, с.188, карта 86];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,3$ для циліндричних поверхонь, розмір досягається інструментом, вимірювальний розмір до 50 мм [12, с.200, карта 87]

Допоміжний час $t_{\text{доп}}$, хв на операцію розраховується за формулою (1.61) [12, с. 24]:

$$t_{\text{доп}} = 0,25 + 1,28 + 0,072 = 1,602 \text{ хв}$$

Оперативний час $t_{\text{оп}}$, хв розраховується за формулою (1.63) [12, с. 5]:

$$t_{\text{оп}} = 2,3 + 1,602 = 3,902 \text{ хв}$$

Додатковий час $t_{\text{дод}}$, хв розраховується за формулою (1.64) [4, с. 607]:

$$t_{\text{дод}} = 3,902 \cdot 0,08 = 0,312 \text{ хв}$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 8\%$ [4, с.607, табл.12]

Штучний час на обробку деталі $t_{\text{шт}}$, хв розраховується за формулою (1.65) [12, с. 4]:

$$t_{\text{шт}} = 3,902 + 0,312 = 4,214 \text{ хв}$$

Час на додаткові прийоми розраховується за формулою [4, с. 607]:

$$t_{\text{пз2}} = 7 + 0,25 \cdot 2 + 2 + 2 = 11,5 \text{ хв}$$

де 7,0 – встановлення пристосування [4, с.607, табл.12];

0,25 – встановлення інструменту [4, с.608, табл.12];

2,0 – отримати та здати наряд, технологічну документацію [4, с.614, табл.14];

2 – підключити пристосування до пневмосистеми [4, с.614, табл.14];

Підготовчо-заключний час $t_{пз}$, хв для обробки партії деталей розраховується за формулою (1.66) [12, с. 12]:

$$t_{пз} = 12 + 11,5 + 1,4 \cdot 2 = 26,3 \text{ хв}$$

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

$t_{пз3} = 1,4 \cdot 2 - 2$ – кількість інструментів, 1,4 хв - час пробної обробки [4, с.615, табл.14]

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$, хв розраховується за формулою (1.67) [12, с. 4]:

$$t_{шт-к} = 4,214 + \frac{26,3}{160} = 4,378 \text{ хв}$$

1.7.4 Технічне нормування шліфувальної операції з ЧПК 130

Час на встановлення, закріплення та зняття деталі $t_{вст\ зн} = 0,25$ хв [11, с.51, карта 13]

Час на контрольні вимірювання $t_{контр}$, хв розраховується за формулою (1.62) [12, с. 200]:

$$t_{контр} = 0,18 \cdot 0,5 = 0,09 \text{ хв}$$

де 0,18 – час на вимірювання нутроміром, вимірювальний розмір до 50 мм, довжина вимірювальної поверхні до 50 мм [12, с.190, карта 86];

K_n – періодичність вимірювань, $K_n = 0,5$ для циліндричних поверхонь, 2-3-й клас точності, розмір досягається інструментом встановленим на розмір, вимірювальний розмір до 50 мм [12, с.200, карта 87]

Час пов'язаний з виконанням переходу $t_{\text{пер}}$, хв [12, с. 24]:

$$t_{\text{пер}} = (0,02 + 0,55) \cdot 1,2 = 0,684 \text{ хв}$$

де 0,02 – робота верстату в напівавтоматичному режимі [12, с.132, карта 47];

0,55 – точність вимірювання 2-й клас, діаметр оброблюваної поверхні до 50 мм, довжина вимірювальної поверхні до 50 мм [12, с.132, карта 47]

1,2 – коефіцієнт для отворів довжиною до 50 мм [12, с.200, карта 87]

Допоміжний час $t_{\text{доп}}$, хв на операцію розраховується за формулою (1.61) [12, с. 24]:

$$t_{\text{доп}} = 0,25 + 0,684 + 0,09 = 1,024 \text{ хв}$$

Оперативний час $t_{\text{оп}}$, хв розраховується за формулою (1.63) [12, с. 5]:

$$t_{\text{оп}} = 0,48 + 1,024 = 1,504 \text{ хв}$$

Додатковий час $t_{\text{дод}}$, хв розраховується за формулою (1.64) [12, с. 27]:

$$t_{\text{дод}} = 1,504 \cdot 0,05 = 0,0752 \text{ хв}$$

де α – відсоток від оперативного часу на обслуговування робочого місця, відпочинок та особисті потреби $\alpha = 5\%$ [12, с.131, карта 46]

Штучний час на обробку деталі $t_{шт}$, хв розраховується за формулою (1.65) [12, с. 24]:

$$t_{шт} = 1,504 + 0,0752 = 1,5792 \text{ хв}$$

Час на додаткові прийоми розраховується за формулою [12, с. 131]:

$$t_{пз} = 13 + 6 + 7 = 26 \text{ хв}$$

де 13,0 – встановлення пристосування [12, с.131, карта 46];

6,0 – вимірювання по індикатору [12, с.131, карта 46];

7,0 – отримати та здати інструмент [12, с.131, карта 46]

Штучно-калькуляційний час $t_{шт-к}$, хв розраховується за формулою (1.67) [12, с. 4]:

$$t_{шт-к} = 1,5792 + \frac{26}{160} = 1,74 \text{ хв}$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12 – Зведена таблиця норм часу

Операція	Назва операції	t_o , хв.	$t_{вст}$, хв.	$t_{м.в.}$, хв.	$t_{контр.}$, хв	$t_{доп}$, хв.	$t_{оп}$, хв.	$t_{дод}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$t_{пз}$, хв.	$t_{шт-к}$, хв
20	Токарна з ЧПК	2,22	0,198	1,29	0,25	2,11	4,33	0,433	4,76	32,9	4,97
105	Свердлильна з ЧПК	2,3	0,25	1,28	0,072	1,602	3,90	0,312	4,214	26,3	4,39

Продовження таблиці 1.12

Операція	Назва операції	t_o , хв.	$t_{вст}$, хв.	$t_{м.в.}$, хв.	$t_{контр.}$, хв.	$t_{доп}$, хв.	$t_{оп}$, хв.	$t_{дод}$, хв.	$t_{шт}$, хв.	$t_{пз}$, хв.	$t_{шт-к}$, хв.
110	Фрезерна з ЧПК	39,3 3	0,25	0,88	0,36	1,49	40,82	4,898	45,72	27,6	45,9
130	Внутрішньо- шліфувальна з ЧПК	0,48	0,25	0,68	0,09	1,024	1,504	0,075	1,579	26	1,74

1.8 Розробка технологічних операцій на високопродуктивних верстатах з ЧПК

1.8.1 Розробка токарної операції

Результат розробки токарної операції в модулі NX CAM наведено на форматі A1.

Ескіз траєкторії токарної операції в модулі NX CAM на 1 установ наведено на рисунку 1.14.

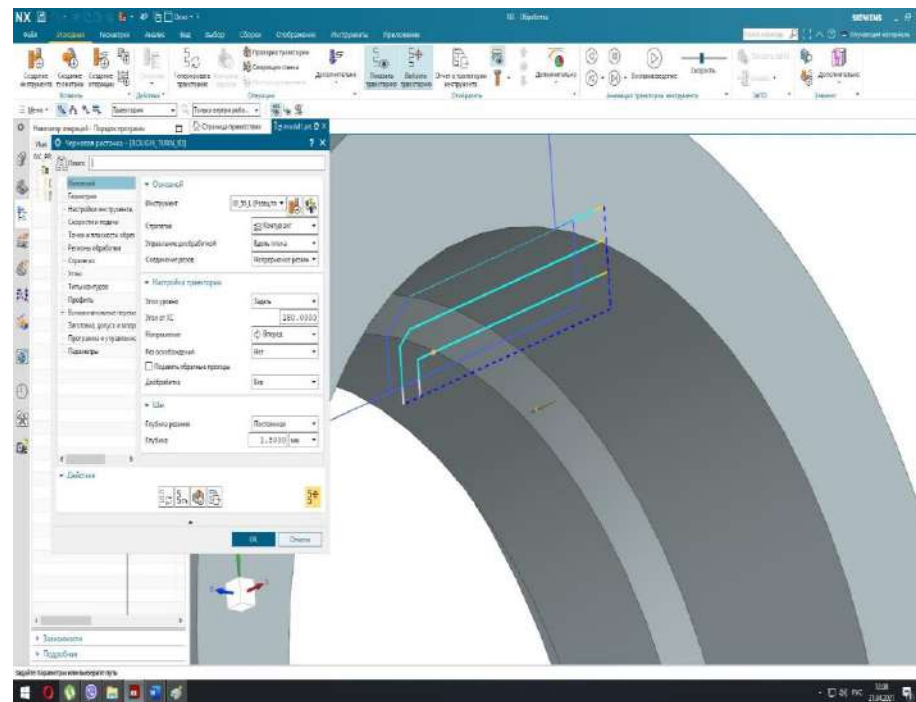


Рисунок 1.14 – Траєкторія токарної обробки на 1 установ

Ескіз траєкторії токарної операції в модулі NX CAM на 1 установ наведено на рисунку 1.15.

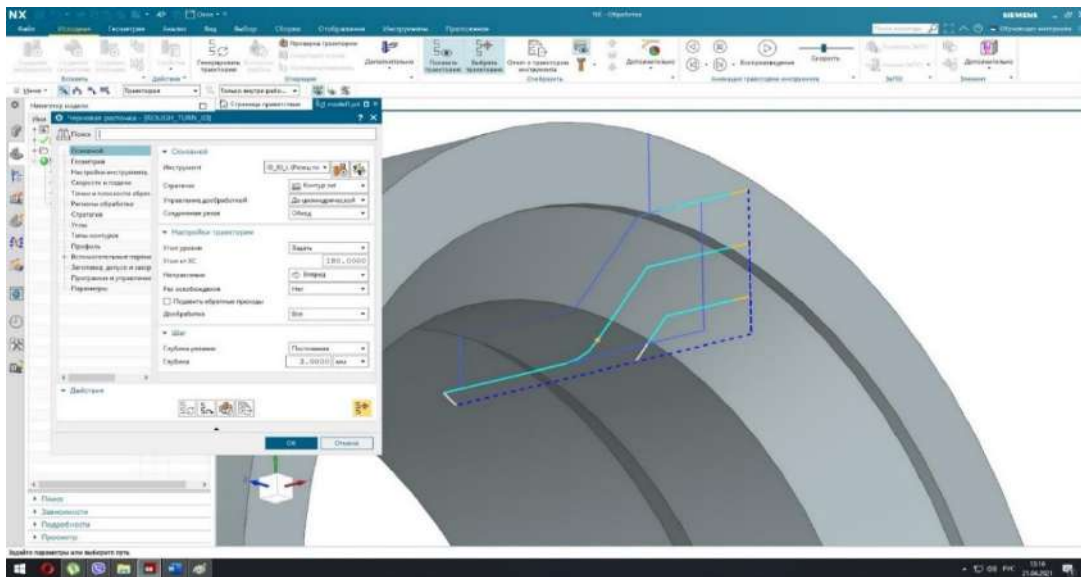


Рисунок 1.15 – Траектория токарной обработки на 2 установ

Ескіз позиціювання інструменту та заготовки на установі 1 наведено на рисунку 1.16.

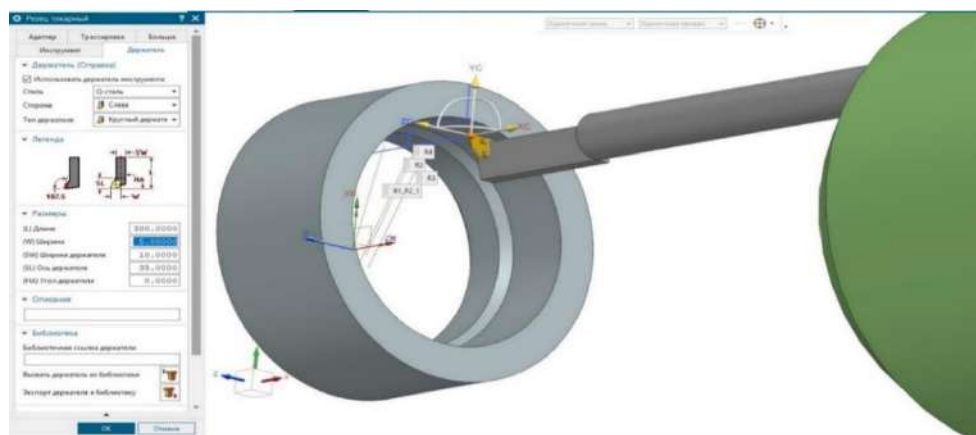


Рисунок 1.16 – Позиціювання інструменту та заготовки на установі 1

Ескіз позиціювання інструменту та заготовки на установі 2 наведено на рисунку 1.17.

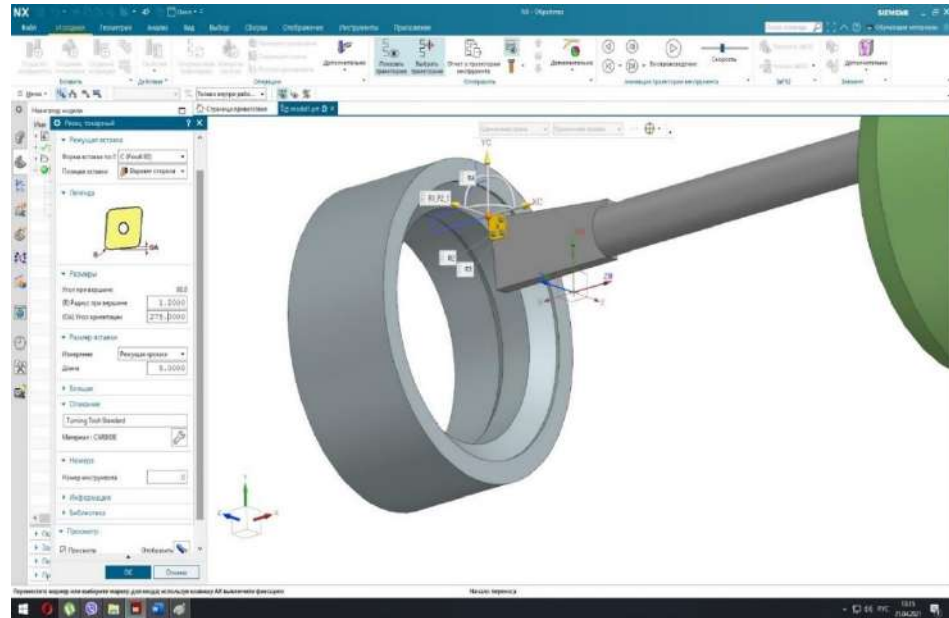


Рисунок 1.17 – Позиціювання інструменту та заготовки на установі 2

Траєкторія обробки та програма обробки на 1 установі наведено на рисунку 1.17.

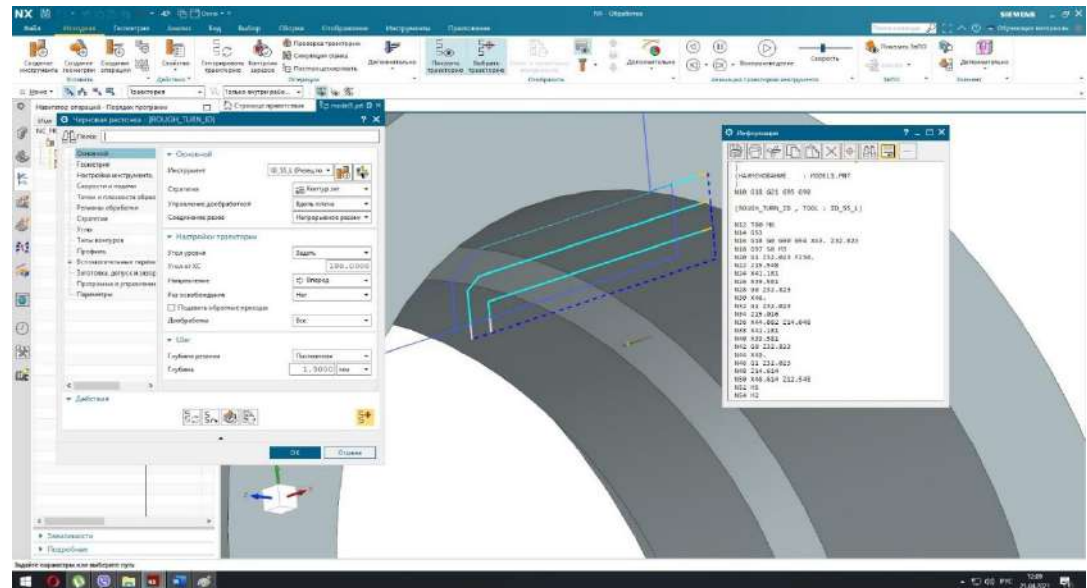


Рисунок 1.17 – Траєкторія обробки та програма обробки на 1 установі

Траєкторія обробки та програма обробки на 2 установі наведено на рисунку 1.18.

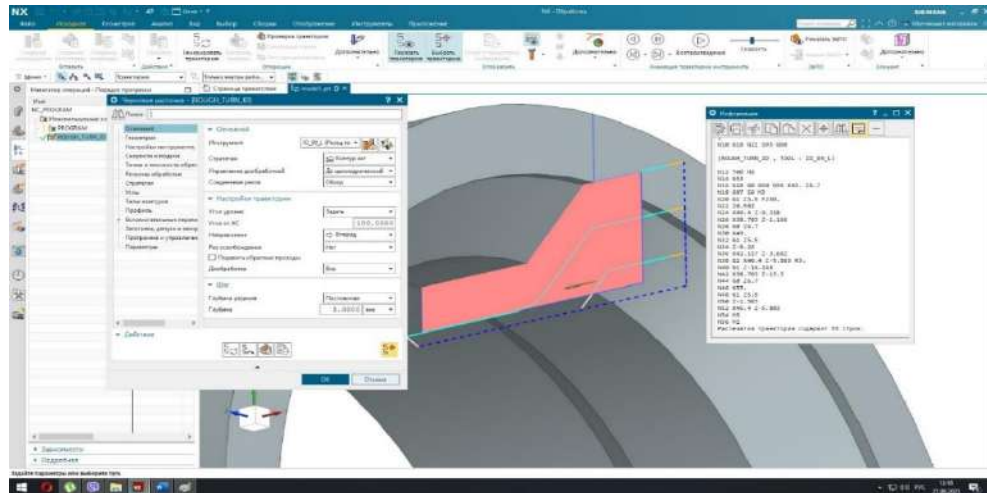


Рисунок 1.18 – Траєкторія обробки та програма обробки на 2 установі

1.8.2 Розробка свердлильної операції

Результат розробки свердлильної операції в модулі NX CAM наведено на форматі A1.

Позиціювання інструменту та деталі при виконанні свердлильної операції наведено на рисунку 1.19.

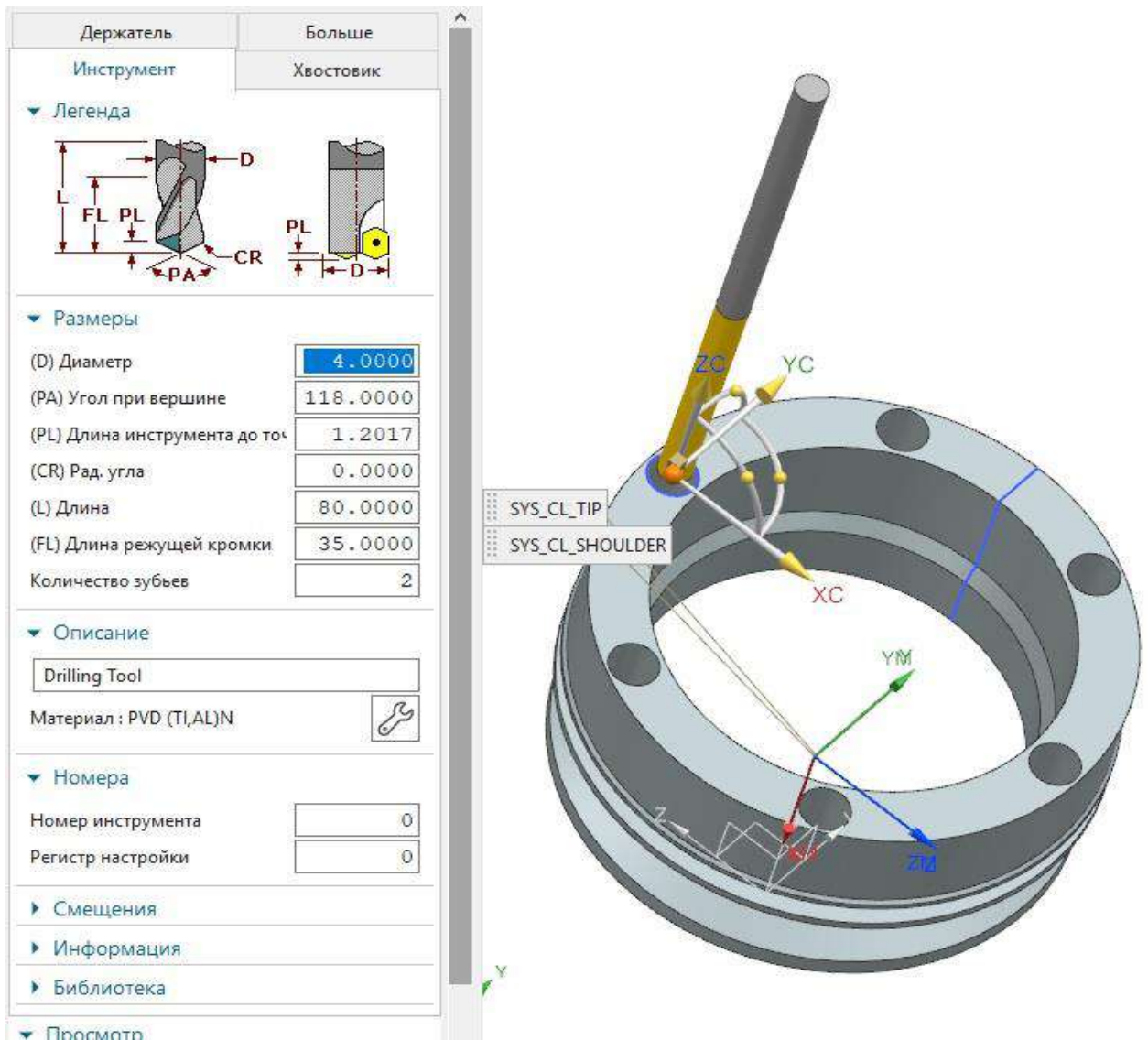


Рисунок 1.19 – Позиціювання інструменту та деталі

Ескіз траєкторії руху інструменту на свердлильній операції наведено на рисунку 1.20.

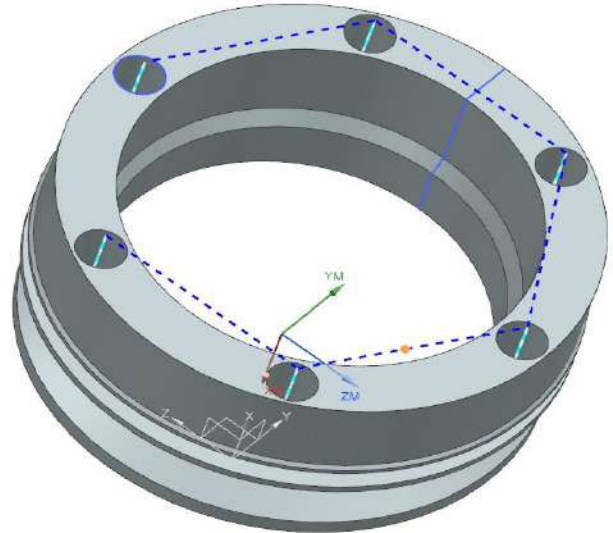
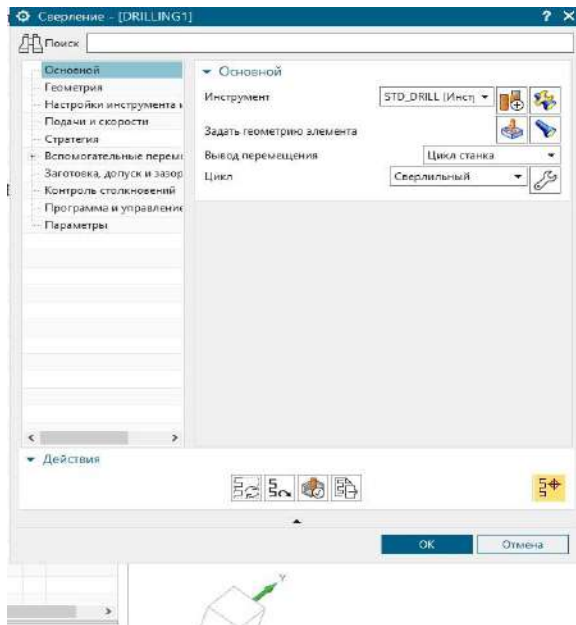


Рисунок 1.20 – Траектория ruchu інструменту на свердильній операції

Траектория ruchu інструменту та програма обробки на свердильній операції наведена на рисунку 1.21.

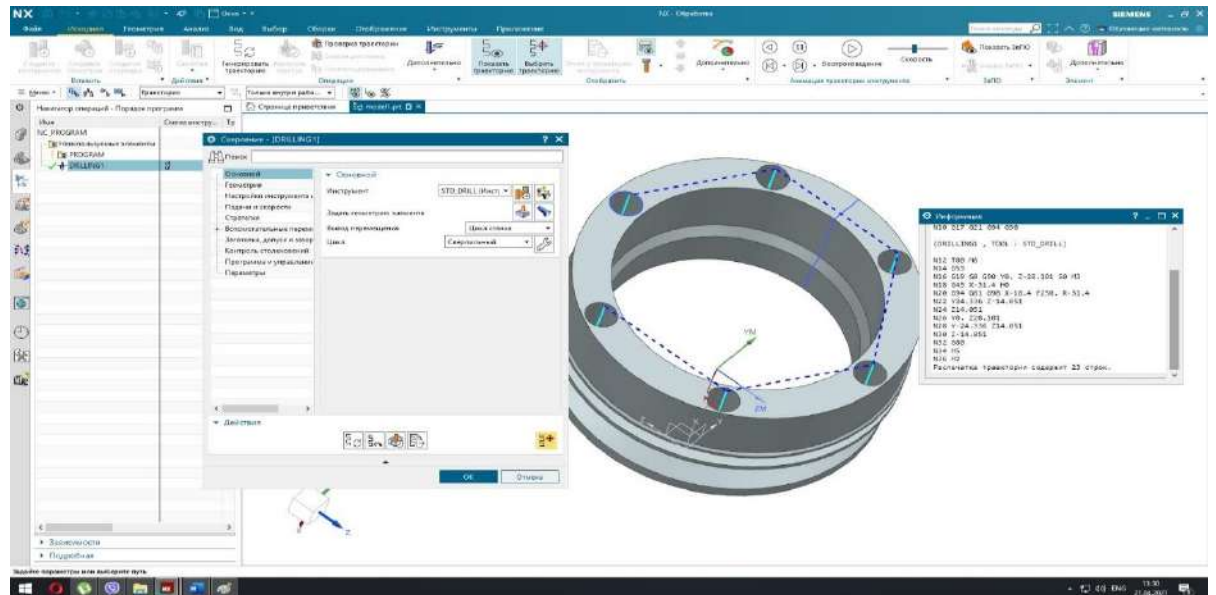


Рисунок 1.21 - Траектория ruchu інструменту та програма обробки

1.8.3 Розробка фрезерної операції

Результат розробки фрезерної операції в модулі NX CAM наведено на форматі A1.

Позиціювання інструменту та деталі на фрезерній операції наведено на рисунку 1.22.

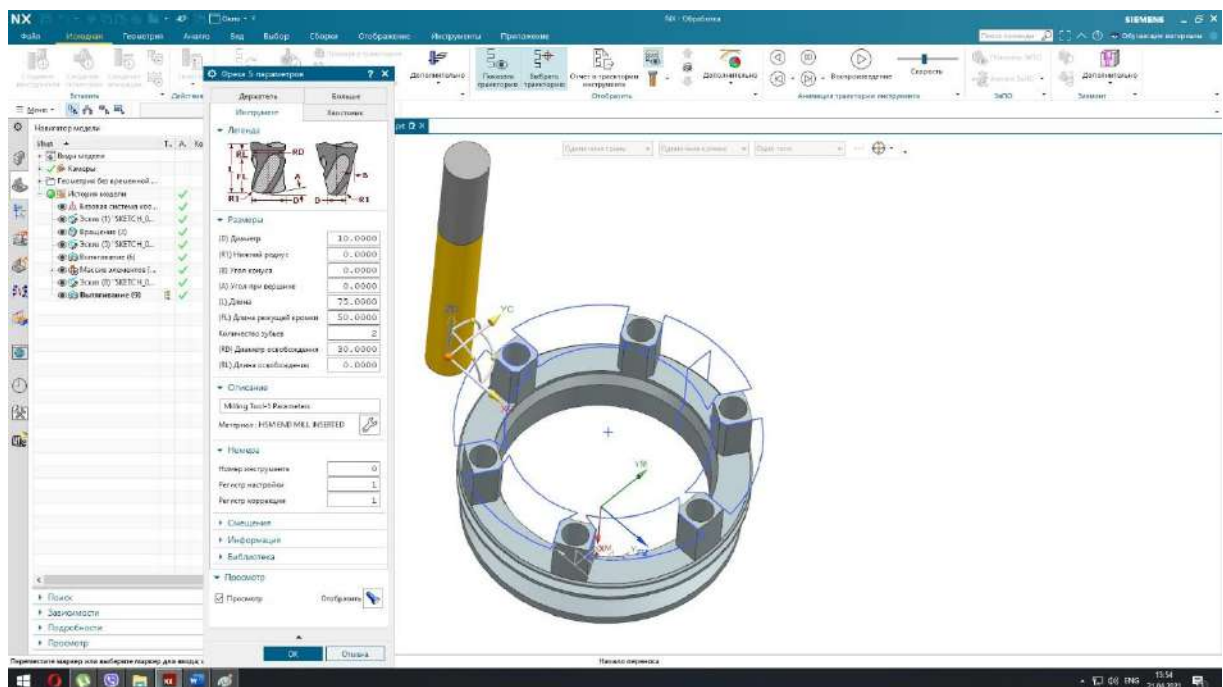


Рисунок 1.22 – Позиціювання інструменту та деталі

Ескіз траєкторії руху інструменту на фрезерній операції наведено на рисунку 1.23.

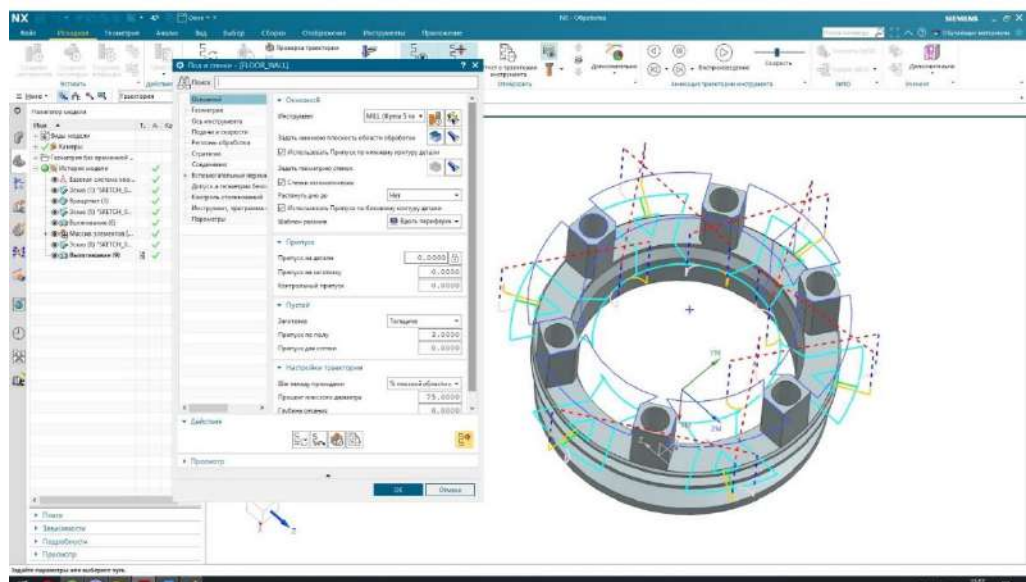


Рисунок 1.23 – Траєкторія руху інструменту на фрезерній операції

Траєкторія руху інструменту та програма обробки фрезерної операції наведена на рисунку 1.24.

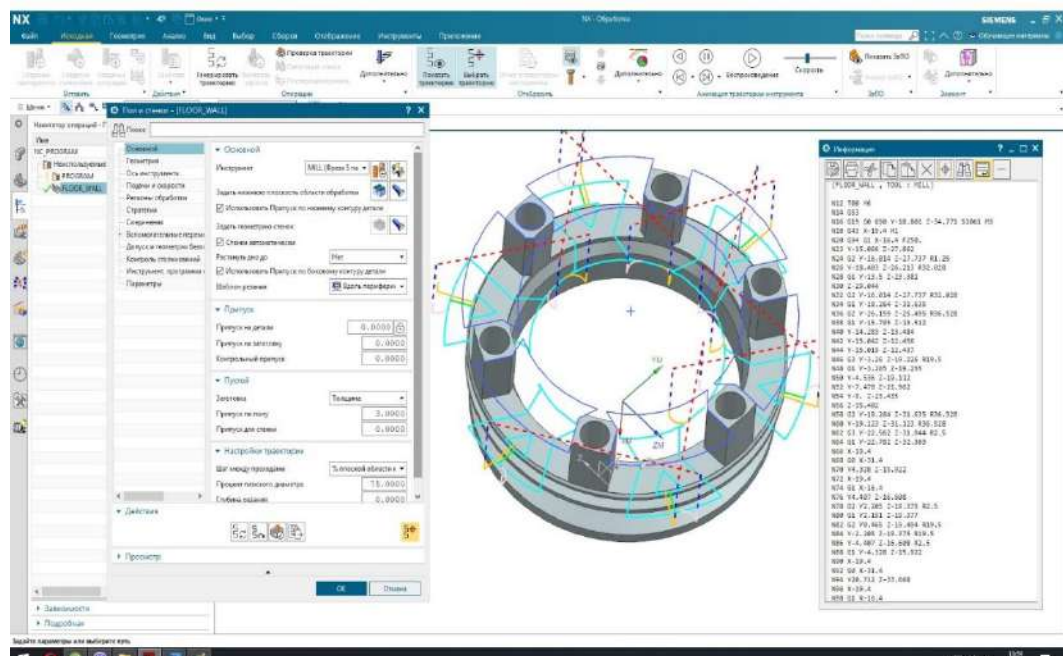


Рисунок 1.24 – Траєкторія руху інструменту та програма обробки

2 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Проектування робочого пристосування

2.1.1 Конструкція та принцип роботи робочого пристосування

Пристосування (НУЗП 292214.002) призначено для закріплення деталі при виконанні фрезерної операції з ЧПК 110.

Основа 1 пристосування та плита 2 з'єднані шістьма гвинтами 3. Між ними затиснута гумова діафрагма 4. Для більш міцного закріплення діафрагми 4 на торцях основи 1 та плити 2 нарізані кільцеві витки ріфлення. Крок витків обирається в межах 1-2 мм. Вершини ріфлень притуплені для запобігання надрізу гумової діафрагми 4.

Порожнина, утворена між плитою 2 та діафрагмою 4, створює робочу камеру пневматичного пристосування.

На діафрагмі 4 болтом 5 з шайбою 6 закріплено штовхач 7, що має клин 8.

До основи 1 пригвинчена втулка 9 та кільце 10, в яких встановлено затискний механізм.

Оброблювану деталь закріплюють наступним чином. В робочу камеру через штуцер подають стисле повітря; діафрагма 4, деформуючись, переміщує штовхач 7 з клином 8.

Клин 8, переміщуючись вгору по площині трьох кулачків 11, розводить їх в боки, центрує та затискує деталь.

Після виконання операції стисле повітря випускають з робочої камери. Пружина 13 повертає штовхач 7 з клином 8 в початкове положення. Кулачки 11 під дією пружинючого кільця 14 зближуються до центру пристосування.

Для запобігання потрапляння стружки до затискного механізму до торця втулки 9 пригвинчена кришка 15. Для обробки різного типу деталей (з відміною довжиною посадочних поверхонь) використовують підкладне кільце 12 різної довжини.

Для запобігання вібрації в момент врізання фрези, використовується віброгасюча стрічка.

2.1.2 Визначення похибки базування та закріплення. Розрахунок пристосування на точність

Перевірка пристосування на можливість забезпечення заданої точності обробки полягає в виконанні умови [42, с.55]:

$$T_{\text{обр}} > \sum_{i=1}^n \varepsilon_i, \quad (2.1)$$

де $T_{\text{обр}}$ – допуск на оброблюваний розмір, мм;

$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$, – сумарна похибка, що виникає при обробці

Сумарна похибка $\sum_{i=1}^n \varepsilon_i$, мм розраховується за формулою [42, с.55]:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i = \varepsilon_{\text{вст}} + \varepsilon_{\text{пр}} + \varepsilon_{\text{наст}} + \varepsilon_{\text{обр}} \quad (2.2)$$

де $\varepsilon_{\text{вст}}$ – частина похибки обробки, що залежить від вібраційної схеми встановлення заготовки в пристосування;

$\varepsilon_{\text{пр}}$ – частина похибки обробки, що залежить від точності виготовлення установочних елементів, їх зносу та встановлення пристосування на версті;

$\varepsilon_{\text{наст}}$ – частина похибки обробки, що залежить від точності виготовлення налагоджувальних елементів пристосування та процесу налагоджування;

$\varepsilon_{обр}$ – частина похибки обробки, що залежить від зносу ріжучого інструменту, геометричної неточності виготовлення верстата, пружних та теплових деформацій системи верстат-пристосування-інструмент-деталь.

Схема встановлення деталі наведена на рисунку 2.1.

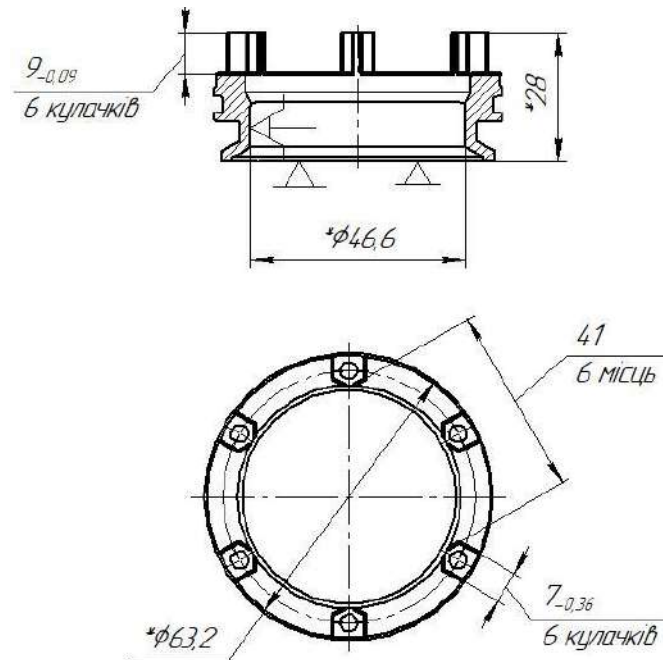


Рисунок 2.1 – Схема встановлення деталі

Похибка встановлення $\varepsilon_{вст}$, мм розраховується за формулою [42, с.55]:

$$\varepsilon_{вст} = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2}, \quad (2.3)$$

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

$\varepsilon_{закр}$ – похибка закріплення

$\varepsilon_{б9} = \frac{T_{28h10}}{2} = \frac{0,084}{2} = 0,042$ мкм – через неспівпадіння виміральної та установчої бази [11, с.522];

$\varepsilon_{67} = 0$, $\varepsilon_{641} = 0$ – рівномірне змінання деталі трьома кулачками одночасно (самоцентруюче пристосування);

$\varepsilon_{закр7} = 0$, $\varepsilon_{закр41} = 0$ – рівномірне змінання матеріалу одночасно трьома кулачками, тому вісь деталі залишається незмінною відносно осі пристосування

$$\varepsilon_{вст9} = \sqrt{0,042^2 + 0} = 0,042 \text{ мкм}$$

При розрахунку пристосування величини похибок пристосування, його налагоджування, похибка обробки є невеликими, тому в подальших розрахунках на точність пристосування цими величинами можна знехтувати.

Похибка пристосування розраховується за формулою [42, с.61]:

$$S_{max \leq T_{обр}} - (k_1 \cdot \varepsilon_6 + \varepsilon_{закр} + k_2 \cdot \omega) , \quad (2.4)$$

де S_{max} – максимальний зазор;

$T_{обр}$ – допуск на оброблюваний розмір, $T_{обр} = 0,09$ мм;

k_1 – коефіцієнт, що дорівнює $k_1 = 0,8$ [42, с.61];

ε_6 – дійсне значення похибки базування в пристосуванні, $\varepsilon = 0,042$ мкм;

ε_3 – похибка закріплення, $\varepsilon_3 = 0$ мкм;

k_2 – коефіцієнт, що враховує долю точності обробки в сумарній похибці, $k_2 = 0,6$ [42, с.61];

ω – економічна точність обробки на заданій операції, $\omega = 0,1$ мкм [42, с.63, табл. 5.2].

Максимальний зазор S_{max} , мкм розраховується за формулою [42, с.65]:

$$S_{max} = ES - ei \quad (2.5)$$

де ES – верхнє відхилення пазу столу, $0,018$ мкм;

e_i – нижнє відхилення шпонки $-0,018$ мкм.

$$S_{\max} = 0,027 - (-0,027) = 0,054 \text{ мкм}$$

$$0,036 \leq 0,09 - (0,8 \cdot 0,042 + 0 + 0,6 \cdot 0,1) = 0,036$$

$$0,036 = 0,036$$

Дана точність пристосування задовольняє умовам якісного виконання операції.

2.1.3 Розрахунок необхідного зусилля затиску заготовки. Вибір приводу

Розрахункова схема дії сил при фрезеруванні наведена на рисунку 2.2.

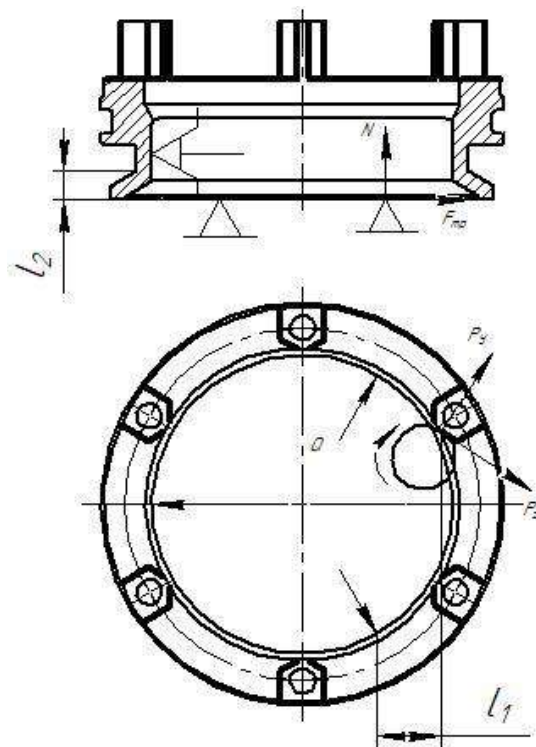


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема визначення сили затиску

Сила затиску W , Н розраховується за формулою [42, с.107]:

$$W = \frac{k \cdot M}{\frac{f}{3} \cdot \left(\frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \right)} \quad (2.6)$$

де k – коефіцієнт запасу закріплення;

M – крутний момент, Н ;

f – коефіцієнт тертя при контакті опорних поверхонь, $f=0,16$ [39. с. 384, табл. 3];

D – діаметр опорної поверхні діафрагми, $D=125\text{мм}$;

d – діаметр посадочного отвору, $d=46,861$.

Коефіцієнт запасу закріплення k розраховується за формулою [39. с. 382]:

$$k = k_0 \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6 \quad (2.7)$$

де k_0 – гарантований коефіцієнт запасу, $k_0=1,5$ [39. с. 382] ;

k_1 – коефіцієнт, що враховує зміни сил різання в процесі обробки через нерівномірність зняття припуску на заготовці та враховується лише на чорнових переходах, $k_1 = 1,0$ [39. с. 382];

k_2 – коефіцієнт, що враховується у всіх випадках обробки та залежить від виду обробки, оброблюваного матеріалу і нерівномірності зносу ріжучого інструменту, $k_2=1,7$ [39. с. 383, табл. 2];

k_3 – коефіцієнт, що враховує умови безперервної обробки, $k_3=1,2$ [39. с. 383];

k_4 – коефіцієнт, що характеризує затискне пристосування на постійність сил затиску, $k_4= 1,2$ [39. с. 383];

k_5 – коефіцієнт, що характеризує ручні затиски з боку зручності закріплення деталі, $k_5= 1$ [39. с. 383];

k_6 – коефіцієнт, що враховується, у тому випадку, коли розрахунок сили затиску відбувається з врахуванням моментів різання та залежить від виду опорної

поверхні пристосування, $k_6=1,5$ [39. с. 384].

$$k = 1,5 \cdot 1,0 \cdot 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot 1,5 = 5,508$$

$$W = \frac{5,508 \cdot 10,174}{\frac{0,16}{3} \cdot \left(\frac{125^3 - 46,861^3}{125^2 - 46,861^2} \right)} = 7,62 \text{ Н}$$

Сила на штоці Q , Н необхідна для прогину мембрани при затиску та центруванні деталі розраховується за формулою:

$$Q = (W + W_1) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1) \quad (2.8)$$

де W_1 – зусилля необхідне для деформації мембрани, Н;

α – кут розтиску кулачків мембрани, $\alpha=8^\circ 30'$;

φ – додатковий кут розтиску кулачків, $\varphi=8^\circ 30'$.

Зусилля деформації мембрани W_1 , Н розраховується за формулою [42, с.287]:

$$W_1 = 6 \cdot 10^3 \cdot S \cdot h \cdot \frac{D^3}{\ell^3} \quad (2.9)$$

де S – величина радіального зазору, $S=0,15$;

h – товщина кулачків, $h=23$ мм;

ℓ – товщина діафрагми, $\ell=8$ мм

$$W_1 = 6 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 23 \cdot \frac{125^3}{8^3} = 7896,42 \text{ Н}$$

$$Q = (W + W_1) \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_1)$$

$$Q = (7,62 + 7896,46) \cdot \operatorname{tg}(8^\circ 30' + 8^\circ 30') = 2355,42 \text{ Н}$$

Момент, що викликаний силою P_z Н·м, розраховується за формулою [42, с.118]:

$$M_{кр} = P_z \cdot \ell_1 \quad (2.10)$$

де ℓ – плечо дії сили;

$$M_{кр} = 203,481 \cdot 27,75 \cdot 10^{-3} = 5,647 \text{ Н·м}$$

Протидіючий момент $M_{пр}$, Н·м, що викликаний силою затиску розраховується за формулою [42, с.287]:

$$M_{пр} = Q \cdot \ell \cdot n \quad (2.11)$$

де ℓ – плечо дії сили, що дорівнює висоті кулачка;

n – кількість кулачків

$$M_{пр} = 2355,42 \cdot 8 \cdot 10^{-3} \cdot 3 = 56,53 \text{ Н·м}$$

Для забезпечення надійності роботи пристосування необхідно, щоб сума активних моментів була менше протидіючому моменту сили затиску.

$$\sum M_{акт} \leq M_{пр}$$

$$5,647 < 56,53$$

Отже сили затиску достатньо для протидії активних моментів, що намагаються зсунути деталь під час обробки.

Однією з найбільш ненадійних деталей пристосування є мембрана, для якої виконується перевірочний розрахунок вибору діаметра діафрагми.

Діаметр діафрагми D , мм розраховується за формулою [39, с.452, табл. 12]:

$$D = \sqrt{\frac{Q+T}{0,147 \cdot p}} - d \quad (2.12)$$

де T – опір пружини при кінцевому робочому положенні, $T=245$ Н;

p – тиск стислого повітря, $p=1,3$ МПа;

d – діаметр опорного диску діафрагми, $d=60$ мм.

$$D = \sqrt{\frac{2355,42+245}{0,147 \cdot 1,3}} - 60 = 116,39 \text{ мм}$$

Стандартний діаметр обраної діафрагми складає 125 мм, що забезпечує надійність роботи пневматичного пристосування.

2.2 Проектування контрольного пристосування

Контрольне пристосування (НУЗП 401386.002) призначено для контролю радіального биття отвору $\varnothing 47H7(^{+0,025})$ відносно фланця $\varnothing 63f7(^{-0,03}_{-0,06})$ – база А.

Пристосування складається зі столу 1, на якому встановлюється два ролики 4 з заданою міжосьовою відстанню, вимірювальна стійка 5 зі штативом 6. На штатив 6, з допомогою гвинтів 2, закріплено індикатор часового типу 3.

Стіл 1 пристосування має невеликий кут нахилу 10° , за рахунок якого відбувається притискання деталі до роликів 4 під власною вагою, що виключає похибку переміщення деталі по отвору – похибку встановлення.

Пристосування працює наступним чином: на ролики встановлюється деталь, шкалу індикатора виставляють в нульове положення. Вимірювання виконується

безпосередньо дотиком наконечника індикатора до контрольованої поверхні. При необхідності виміру в іншій точці, деталь повертають. Після закінчення вимірювань деталь знімають з роликів.

Схема встановлення деталі при вимірюванні радіального биття наведена на рисунку 2.3.

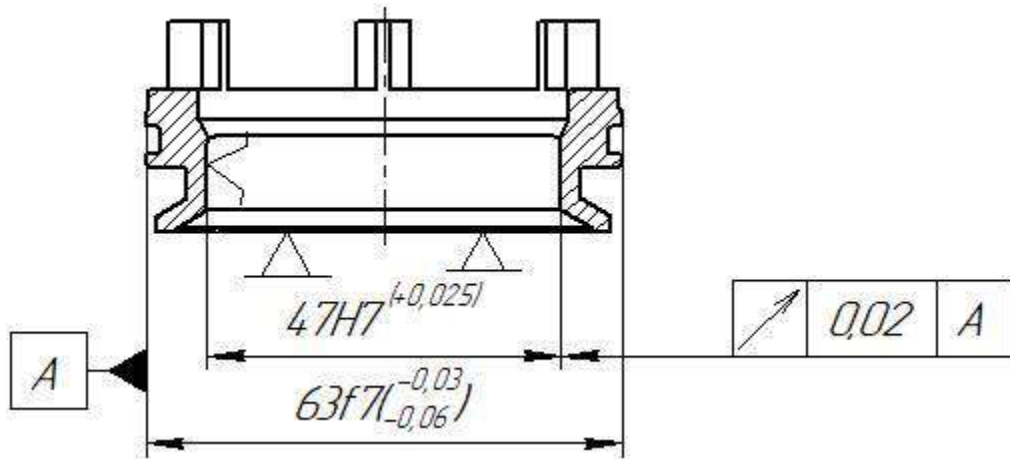


Рисунок 2.3 – Схема встановлення при вимірюванні

Похибка встановлення деталі в пристосування розраховується за формулою (2.3).

При встановлення деталі в пристосування не відбувається затиску $\varepsilon_{\text{закр}} = 0$.

При встановленні на ролики з вертикальною віссю, при вказаному на кресленні деталі взаємному розташуванні базової поверхні та місцем вимірювання, вимірювальна та конструкторська бази співпадають, отже $\varepsilon_{\text{баз}} = 0$.

Відповідно, якщо $\varepsilon_{\text{закр}} = 0$ та $\varepsilon_{\text{баз}} = 0$, то й $\varepsilon_{\text{уст}} = 0$ отже, дана схема базування не впливає на точність виміру.

Допустима сумарна похибка вимірювання розраховується за формулою [43, с.152]:

$$\varepsilon_{\text{вим}} = \varepsilon_{\text{иу}} + \varepsilon_{\text{ип}} + \varepsilon_{\text{им}} + \sqrt{\varepsilon_{\text{нб}}^2 + \varepsilon_{\text{з}}^2 + \varepsilon_{\text{ис}}^2 + \varepsilon_{\text{зп}}^2 + \varepsilon_{\text{си}}^2 + \varepsilon_{\text{др}}^2}, \quad (2.13)$$

де $\varepsilon_{\text{иу}}$ – систематична похибка, що викликана неточністю виготовлення установочних елементів та неточністю їх розташування на корпусі КВП при складанні;

$\varepsilon_{\text{ип}}$ – систематична похибка, що викликана неточністю виготовлення передаточних елементів, важелів, штифтів, стержнів;

$\varepsilon_{\text{им}}$ – систематична похибка, що викликана неточністю виготовлення установочних мір та еталонів деталей, що використовуються для налагоджування засобів вимірювання;

$\varepsilon_{\text{нб}}$ – похибка, викликана невідповідністю вимірювальної бази та технологічної (пристосування для міжопераційного контролю) або конструкторською (пристосування для остаточного контролю);

$\varepsilon_{\text{з}}$ – похибка, що виникає в результаті закріплення контрольованої деталі внаслідок її деформації;

$\varepsilon_{\text{ис}}$ – похибка, що залежить від вимірювальної сили, яка виникає в результаті зміщення вимірювальної бази деталі від заданого положення в процесі вимірювання;

$\varepsilon_{\text{зп}}$ – похибка, що виникає через зазори між осями важелів передаточних ланцюгів при їх наявності;

$\varepsilon_{\text{си}}$ – похибка використаного засобу вимірювання;

$\varepsilon_{\text{др}}$ – інші похибки, що викликані випадковими факторами

Де-які складові з формули (2.13) мають нульове значення у зв'язку з особливостями конструкції пристосування та обраною схемою вимірювання.

Похибка установочних елементів (роликів) не впливає на процес вимірювання, тому складова $\varepsilon_{\text{иу}}$ дорівнює нулю.

В конструкції пристосування реалізовано принцип суміщення вимірювальної та конструкторської баз, тому похибка $\varepsilon_{нб}$ дорівнює нулю.

Через те, що деталь в пристосуванні не затискається, а обмеження переміщення деталі на роликах не впливає на точність вимірювань, то похибка закріплення ε_3 дорівнює нулю.

Схема вимірювання не дозволяє вимірювальним силам зміщувати вимірювальну базу, яка в процесі вимірювання піджимається до установочних елементів, тому похибка $\varepsilon_{ис}$ дорівнює нулю.

Систематична похибка $\varepsilon_{им}$ дорівнює нулю, через те, що установочні міри та еталони не використовуються у даному пристосуванні.

Остаточна розрахункова формула сумарної похибки вимірювання має вигляд [43, с.167]:

$$\varepsilon_{вим} = \varepsilon_{иу} + \varepsilon_{ип} + \sqrt{\varepsilon_{зп}^2 + \varepsilon_{си}^2 + \varepsilon_{др}^2} \quad (2.14)$$

де $\varepsilon_{иу} = 0,0015$ мм, допуск на неспіввісність центрів;

Систематична похибка, що викликана неточністю виготовлення передаточних елементів, важелів, штифтів, стержнів $\varepsilon_{ип}$ розраховується за формулою [43, с.154]:

$$\varepsilon_{ип} = \Delta_{рд} + \Delta_{ру} + \Delta_{рн} + \Delta_{рк} + \Delta_{рп} \quad (2.15)$$

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

$\Delta_{ру} = 0$ – похибка від неточності виготовлення кутів плеч важелів;

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

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

$\Delta_{рп}$ – похибка прямої передачі

Похибка прямої передачі $\Delta_{\text{рк}}$, розраховується за формулою [43, с.158]:

$$\Delta_{\text{рп}} = e \frac{s}{h}, \quad (2.16)$$

де $e = 0,2$ мм – величина зміщення осі стержня індикатору [43, с.158];

$s = 0,02$ мм – зазор між втулкою та стержнем передачі [43, с.158];

$h = 18$ мм – довжина направляючої частини втулки під рухомий стержень.

$$\Delta_{\text{рп}} = 0,2 \cdot \frac{0,02}{18} = 0,00022 \text{ мм}$$

Отже, $\varepsilon_{\text{ип}} = 0,00022$ мм.

$\varepsilon_{\text{зп}} = 0$ – так як конструкція пристосування не передбачає важелі;

$\varepsilon_{\text{си}}$ визначається нормативною документацією на засіб вимірювання, $\varepsilon_{\text{си}} = 0,004$ мм [43, с.160];

$\varepsilon_{\text{др}}$ визначається узагальнено, як $(0,03...0,05)$ допуску на контрольований параметр, $\varepsilon_{\text{др}} = 0,0006$ мм [43, с.152].

Сумарна похибка вимірювання дорівнює:

$$\varepsilon_{\text{вим}} = 0,0015 + 0,00022 + \sqrt{0,004^2 + 0,0006^2} = 0,00576 \text{ мм}$$

Перевірка КВП на достатню точність за умовою [43, с.152]:

$$\varepsilon_{\text{вим}} \leq [\varepsilon_{\text{вим}}]$$

$[\varepsilon_{\text{вим}}] = 9$ мкм – допустима похибка КВП

$$\varepsilon_{\text{вим}} = 0,00576 \text{ мм} < [\varepsilon_{\text{вим}}] = 0,009 \text{ мм}$$

Умова виконується, отже спроектоване КВП може використовуватися.

3 РОЗМІРНИЙ РОЗРАХУНОК

Припуски на обробку:

$$Z_{\text{точчорн}2,5,7,11}^{\min} = 1,5 \text{ мм, [5, с. 46, т. 4.9];}$$

$$Z_{\text{точчист}3,6,8,10}^{\min} = 0,7 \text{ мм [5, с.47, т. 4.10];}$$

$$Z_{\text{шліф}4,9}^{\min} = 0,3 \text{ мм [5, с.47, т. 4.10].}$$

Перед визначенням технологічних розмірних ланцюгів, необхідно виконати перевірку розмірної схеми ТП на відповідність певним умовам [44].

Сума технологічних розмірних відрізків на розмірній схемі ТП повинна дорівнювати сумі розмірних відрізків конструкторських розмірів і припусків [44, с.12]:

$$k+m=l+p, \quad (5.1)$$

де k – кількість технологічних розмірів S_{ω} ;

m – кількість технологічних розмірів Z_q ;

l – кількість конструкторських розмірів A_r ;

p – кількість припусків Z_{ξ}

$$10+3=3+10$$

Кількість вертикальних ліній на розмірній схемі ТП повинна дорівнювати [44, с.12]:

$$N=k+m+1=l+p+1 \quad (5.2)$$

$$N=10+3+1=14$$

Визначимо технологічний розмір S_{10} .

З вихідного рівняння $[A_3] = S_{10}$ знайдемо $S_{10} = A_3 = 8,5_{-0,09}$ мм.

Визначимо технологічний розмір S_9 .

З вихідного рівняння $[Z_5^{min}] = S_{10}^{min} - S_9^{max}$

$$S_9^{max} = S_{10}^{min} + Z_5^{min} = 8,41 - 0,7 = 7,71 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h12, тобто $TS_9 = 0,15$ мм, $eiS_9 = -0,150$ мм, $esS_9 = 0$.

Номінальне значення розміру S_9 :

$$S_9^{ном} = S_9^{max} - esS_9 = 7,71 - 0 = 7,71 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_9 = 7,71_{-0,15}$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_5 = S_{10} - S_9 = 8,5_{-0,09} - 7,71_{-0,15} = 0,79_{-0,09}^{(-0,15)} = 0,79_{-0,09}^{0,15} \text{ мм}$$

$$Z_5^{min} = 0,79 - 0,09 = 0,7 \text{ мм}$$

$$Z_5^{max} = 0,79 + 0,15 = 0,94 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_8 .

З вихідного рівняння $[A_1] = S_8$ знайдемо $S_8 = A_1 = 28_{-0,084}$ мм.

Визначимо технологічний розмір S_7 .

З вихідного рівняння $[Z_9^{min}] = S_7^{min} - S_8^{max}$

$$S_7^{min} = S_8^{max} + Z_9^{min} = 28 + 0,3 = 28,3 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h11, тобто $TS_7 = 0,13$ мм, $eiS_7 = -0,130$ мм, $esS_7 = 0$.

Номінальне значення розміру S_7 :

$$S_7^{\text{ном}} = S_7^{\text{max}} = S_7^{\text{min}} - eiS_7 = 28,3 - (-0,13) = 28,43 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_7 = 28,43_{-0,13}.$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_9 = S_7 - S_8 = 28,43_{-0,13} - 28_{-0,08} = 0,43_{-0,13}^{(-0,084)} = 0,43_{-0,13}^{0,084} \text{ мм}$$

$$Z_9^{\text{min}} = 0,43 - 0,13 = 0,3 \text{ мм}$$

$$Z_9^{\text{max}} = 0,43 + 0,084 = 0,514 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_6 .

З вихідного рівняння $[A_2] = S_6 - S_7 + S_8$

$$S_6 = A_2 + S_7 - S_8 = 13 + 28,43 - 28 = 13,43 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «js». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по js12, тобто $TS_6 = 0,18$ мм, $eiS_6 = -0,09$ мм, $esS_6 = 0,09$ мм.

Виконавчий розмір $S_6 = 13,43 \pm 0,09.$ мм.

Перевірка дотримання конструкторського розміру A_2 .

$$A_2 = S_6 - S_7 + S_8 = 13,43 \pm 0,09 + 28,43_{-0,13} - 28_{-0,084} =$$

$$13,86_{-0,055-0,084}^{+0,055-(-0,13)} = 13,86_{-0,139}^{+0,185} \text{ мм}$$

$$T[A_2] = 0,324 \text{ мм} > TA_2 = 0,3 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_5 .

З вихідного рівняння $[Z_{10}^{min}] = S_5^{min} - S_7^{max}$

$$S_5^{min} = S_7^{max} + Z_{10}^{min} = 28,43 + 0,7 = 29,13 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h12, тобто $TS_5 = 0,21 \text{ мм}$, $eiS_5 = -0,21 \text{ мм}$, $esS_5 = 0 \text{ мм}$.

Номинальне значення розміру S_5 :

$$S_5^{ном} = S_5^{max} = S_5^{min} - eiS_5 = 29,13 - (-0,21) = 29,34 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_5 = 29,34_{-0,21} \text{ мм}$.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_{10} = S_5 - S_7 = 29,34_{-0,21} - 28,43_{-0,13} = 0,91_{-0,21}^{(-0,13)} = 0,91_{-0,21}^{0,13} \text{ мм}$$

$$Z_{10}^{max} = S_5^{max} - S_7^{min} = 29,34 - 28,3 = 1,04 \text{ мм}$$

$$Z_{10}^{min} = 0,91 - 0,21 = 0,7 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_4 .

З вихідного рівняння $[Z_7^{min}] = S_6^{min} - S_7^{max} + S_5^{min} - S_4^{max}$

$$S_4^{max} = S_6^{min} - S_7^{max} + S_5^{min} - Z_7^{min} = 13,355 - 28,43 + 29,13 - 0,7 = 13,355$$

мм

Виконавчий розмір в системі «js». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по js12, тобто $TS_6 = 0,18 \text{ мм}$, $eiS_6 = -0,09 \text{ мм}$, $esS_6 = 0,09 \text{ мм}$.

Номінальне значення розміру S_4 :

$$S_4^{\text{НОМ}} = S_4^{\text{max}} - esS_4 = 13,355 - 0,09 = 13,265 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_4 = 13,265 \pm 0,09$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_6 = S_6 - S_7 + S_5 - S_4 = 13,445 \pm 0,09 - 28,43_{-0,13} + 29,34_{-0,21} - 13,265 \pm$$

$$0,09 = 1,09_{-0,09-0,13-(0+0,09)}^{0,09+0-(-0,21-0,09)} = 1,09_{-0,31}^{0,39} \text{ мм}$$

$$Z_9^{\text{min}} = 1,09 - 0,31 = \text{мм}$$

$$Z_9^{\text{max}} = 1,09 + 0,39 = 1,48 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_3 .

З вихідного рівняння $[Z_{11}^{\text{min}}] = S_3^{\text{min}} - S_5^{\text{max}}$

$$S_3^{\text{min}} = S_5^{\text{max}} + Z_{11}^{\text{min}} = 29,34 + 1,5 = 30,84 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h12, тобто $TS_3 = 0,21$ мм, $eiS_3 = -0,21$ мм, $esS_3 = 0$ мм.

Номінальне значення розміру S_3 :

$$S_3^{\text{НОМ}} = S_3^{\text{max}} = S_3^{\text{min}} - eiS_3 = 30,84 - (-0,21) = 31,05 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_3 = 31,05_{-0,21}$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_{11} = S_3 - S_5 = 31,05_{-0,21} - 29,34_{-0,21} = 1,71_{-0,21}^{-(0,21)} = 1,71_{-0,21}^{0,21} \text{ мм}$$

$$Z_{11}^{min} = 1,71 - 0,21 = 1,5 \text{ мм}$$

$$Z_{11}^{max} = 1,71 + 0,21 = 1,92 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_2 .

З вихідного рівняння $[Z_4^{min}] = S_2^{min} - S_3^{max}$

$$S_2^{min} = S_3^{max} + Z_4^{min} = 31,05 + 0,3 = 31,35 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h11, тобто $TS_2 = 0,13 \text{ мм}$, $eiS_2 = -0,13 \text{ мм}$, $esS_2 = 0 \text{ мм}$.

Номінальне значення розміру S_2 :

$$S_2^{ном} = S_2^{max} = S_2^{min} - eiS_2 = 31,35 - (-0,13) = 31,48 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_2 = 31,48_{-0,13} \text{ мм}$.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_4 = S_2 - S_3 = 31,48_{-0,13} - 31,05_{-0,21} = 0,43_{-0,13}^{-(0,21)} = 0,43_{-0,13}^{0,21} \text{ мм}$$

$$Z_4^{min} = 0,43 - 0,13 = 0,3 \text{ мм}$$

$$Z_4^{max} = 0,43 + 0,21 = 0,64 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір S_1 .

З вихідного рівняння $[Z_3^{min}] = S_1^{min} - S_2^{max}$

$$S_1^{min} = S_2^{max} + Z_3^{min} = 31,48 + 0,7 = 32,18 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір в системі «h». Допуск, і, відповідно, граничні відхилення, по h12, тобто $TS_1 = 0,21$ мм, $eiS_1 = -0,21$ мм, $esS_1 = 0$ мм.

Номінальне значення розміру S_1 :

$$S_1^{\text{ном}} = S_1^{\text{max}} = S_1^{\text{min}} - eiS_1 = 32,18 - (-0,21) = 32,39 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $S_1 = 32,39_{-0,21}$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_3 = S_1 - S_2 = 32,39_{-0,21} - 31,48_{-0,13} = 0,91_{-0,21}^{(-0,13)} = 0,91_{-0,21}^{0,13} \text{ мм}$$

$$Z_3^{\text{min}} = 0,91 - 0,21 = 0,7 \text{ мм}$$

$$Z_3^{\text{max}} = 0,91 + 0,13 = 1,04 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір 3_1 .

З вихідного рівняння $[Z_2^{\text{min}}] = 3_1^{\text{min}} - S_1^{\text{max}}$

$$3_1^{\text{min}} = S_1^{\text{max}} + Z_2^{\text{min}} = 32,39 + 1,5 = 33,89 \text{ мм}$$

Граничні відхилення та допуск призначаємо як для штамповки $T3_1 = 1,4$ мм, $ei3_1 = -0,5$ мм, $es3_1 = +0,9$ мм.

Номінальне значення розміру 3_1 :

$$3_1^{\text{ном}} = 3_1^{\text{max}} = 3_1^{\text{min}} - ei3_1 = 33,89 - (-0,5) = 34,39 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $3_1 = 34,39_{-0,5}^{+0,9}$ мм.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_2 = Z_1 - S_1 = 34,39_{-0,5}^{+0,9} - 32,39_{-0,21} = 2_{-0,5}^{+0,9-(-0,21)} = 2_{-0,5}^{+1,11} \text{ мм}$$

$$Z_2^{min} = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ мм}$$

$$Z_2^{max} = 2 + 1,11 = 3,11 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір Z_2 .

З вихідного рівняння $[Z_7^{min}] = S_4^{min} - S_5^{max} + S_3^{min} - Z_2^{max}$:

$$Z_2^{max} = S_4^{min} - S_5^{max} + S_3^{min} - Z_7^{min} = 13,175 - 29,34 + 30,84 - 1,5 = 13,175 \text{ мм}$$

Граничні відхилення та допуск призначаємо як для штамповки $TZ_1 = 1,4 \text{ мм}$, $eiZ_1 = -0,5 \text{ мм}$, $esZ_1 = +0,9 \text{ мм}$.

Номінальне значення розміру

$$Z_2^{ном} = Z_2^{max} - esZ_2 = 13,175 - 0,9 = 12,275 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $Z_2 = 12,275_{-0,5}^{+0,9} \text{ мм}$.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_7 = S_4 - S_5 + S_3 - Z_2 = 13,265 \pm 0,09 - 29,34_{-0,21} + 31,05_{-0,21} -$$

$$12,275_{-0,5}^{+0,9} = 2,7_{-0,09-(-0,21-0,5)}^{0,09-(-0,21-0,5)} = 2,7_{-1,2}^{0,8} \text{ мм}$$

$$Z_9^{min} = 2,7 - 1,2 = 1,5 \text{ мм}$$

$$Z_9^{max} = 2,7 + 0,8 = 3,5 \text{ мм}$$

Визначимо технологічний розмір $З_3$.

З вихідного рівняння $[Z_6^{min}] = S_9^{min} - З_3^{max}$

$$З_3^{max} = S_9^{min} - Z_6^{min} = 7,56 - 1,5 = 6,06 \text{ мм}$$

Граничні відхилення та допуск призначаємо як для штамповки $TЗ_1 = 1,4 \text{ мм}$,
 $eiЗ_1 = -0,5 \text{ мм}$, $esЗ_1 = +0,9 \text{ мм}$.

Номінальне значення розміру:

$$З_3^{\text{ном}} = З_3^{max} - esЗ_3 = 6,06 - 0,9 = 5,16 \text{ мм}$$

Виконавчий розмір $З_3 = 5,16_{-0,5}^{+0,9} \text{ мм}$.

Знайдемо припуск з вихідного рівняння виконавчих розмірів складових ланок:

$$Z_6 = S_9 - З_3 = 7,71_{-0,15} - 5,16_{-0,5}^{+0,9} = 2,55_{-0,5}^{+0,9-(-0,15)} = 2_{-0,5}^{+1,05} \text{ мм}$$

$$Z_2^{min} = 2 - 0,5 = 1,5 \text{ мм}$$

$$Z_2^{max} = 2 + 1,05 = 3,05 \text{ мм}$$

4 РОЗРАХУНОК ДЕТАЛІ НА МІЦНІСТЬ

Розраховуємо деталь на міцність за допомогою програми NX SIMULATION ADVANTAGE.

Трьохвимірна модель показана на рисунку 4.1.

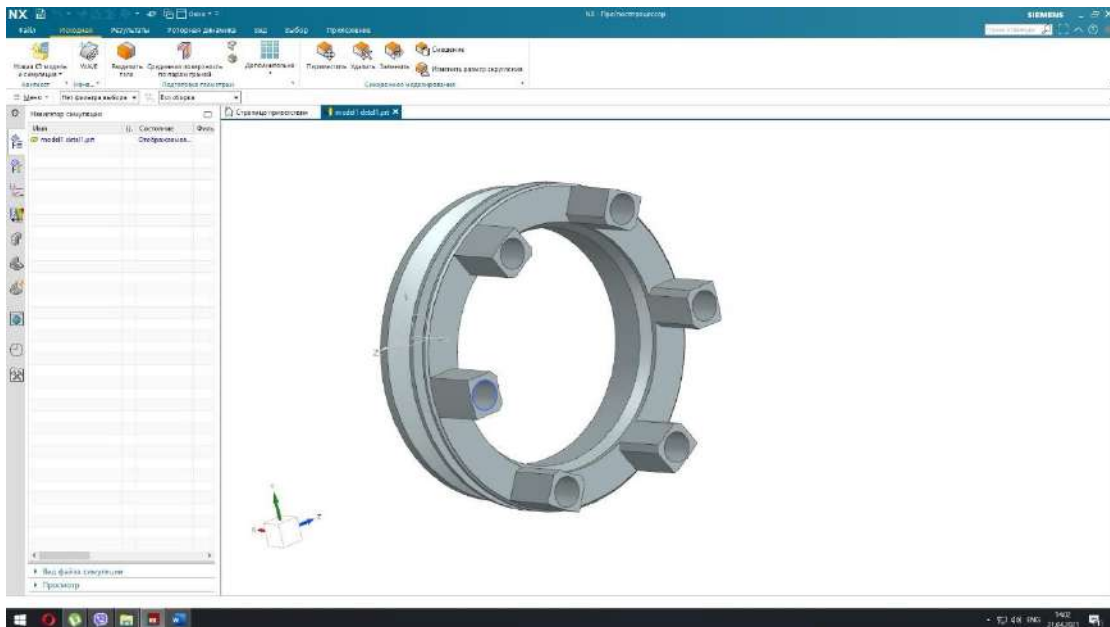


Рисунок 4.1 – Трьохвимірна модель деталі «Кільце упорне»

На першому етапі розрахунку виконуємо розбивку моделі деталі на сітку кінцевих елементів, результат наведено на рисунку 4.2.

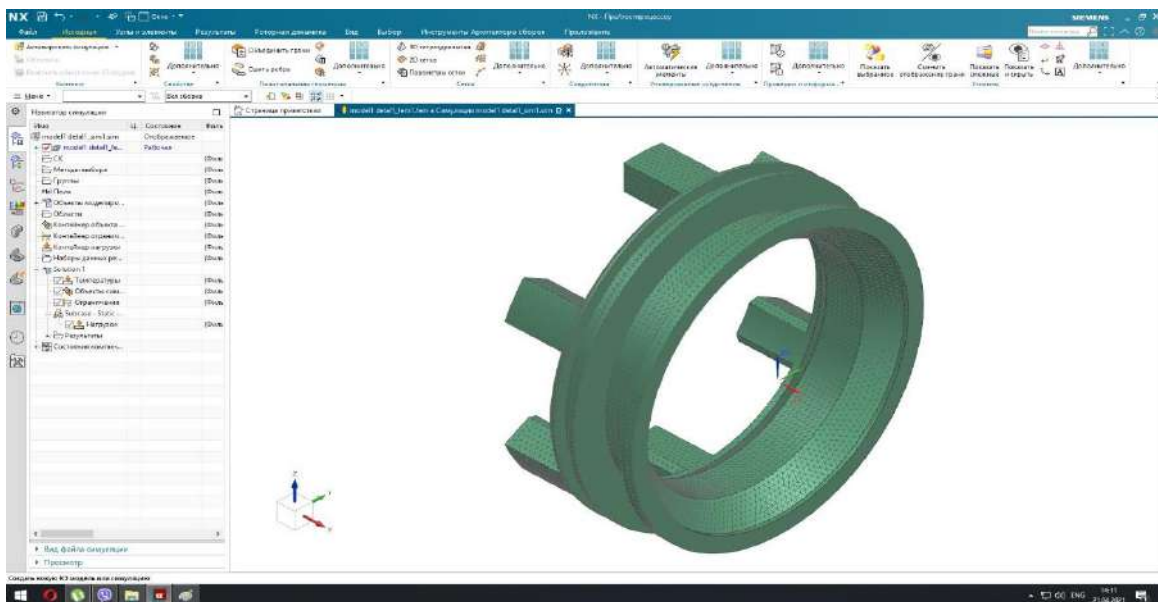


Рисунок 4.2 – Сітка кінцевих елементів моделі деталі

Під час розрахунку деталей закріплюється по внутрішній поверхні деталі. Навантаження величиною $\sigma_0 = 120$ Мпа прикладається на отвір та на одну зі сторін кулачка шириною 7 мм і глибиною 9 мм. Схема прикладання сил наведена на рисунку 4.3

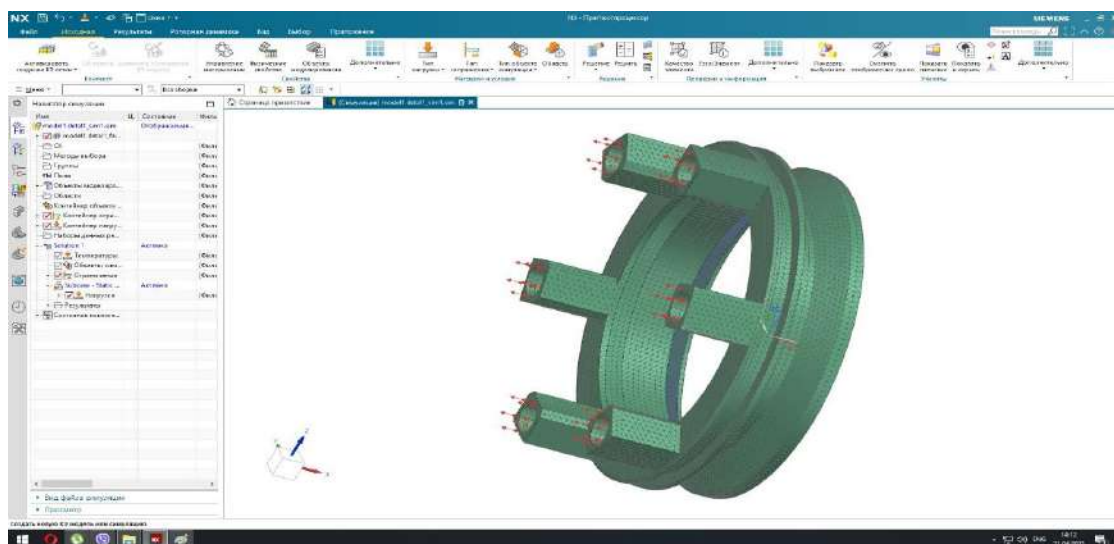


Рисунок 4.3 – Схема прикладання сил

Наступним етапом є виконання розрахунку напружено-деформованого стану, результат якого наведено на рисунку 4.4.

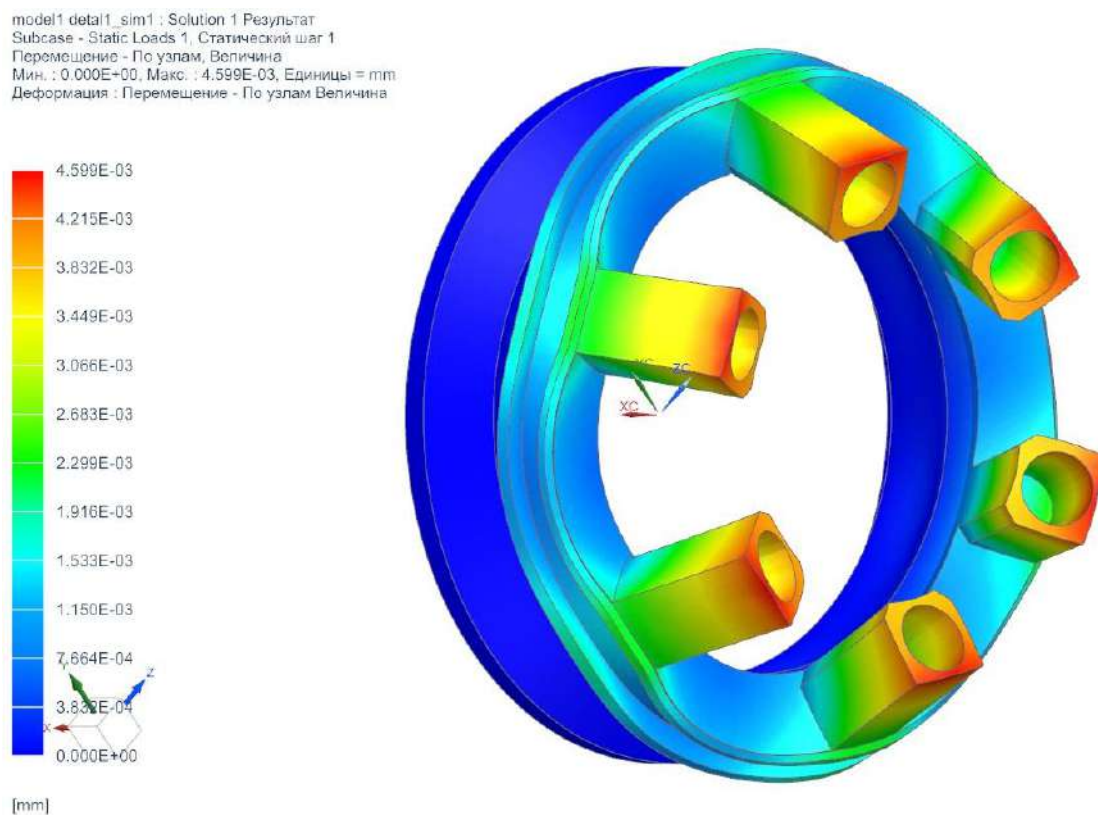


Рисунок 4.4 – Результат розрахунку навантаження по Мизесу при
 $\sigma_o = 120$ МПа

На рисунку 4.4 видно, що небезпечний переріз з максимальним навантаженням
 $\sigma_{\max} = 4599$ МПа.

5 СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ З ЛЕГОВАНИХ СПЛАВІВ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ МЕТОДАМИ

Формування поверхневого шару з заданими властивостями в процесі виготовлення деталей є однією з важливих задач технології машинобудування, більш складною, ніж забезпечення точності [13, с. 5-6].

Працездатність і надійність деталі забезпечуються за рахунок виконання наступних основних вимог: високої міцності, жорсткості і стійкості до різних дій (зносу, вібрації, температури та ін.) [13, с. 5-6].

Деталі, що зазнають максимальної напруги на поверхні (вигин, контактна напруга), для підвищення опору втомі піддають поверхневому зміцненню. Існують наступні методи зміцнення: механічний, термічний, хіміко-термічний, лазерне гартування, іонна імплантація та ін. [13, с. 5-6].

Всі відомі методи зміцнення підрозділяються на 6 основних класів [13, с. 5-6]:

1. Зміцнення зі створенням плівки на поверхні:

а) осадження хімічною реакцією (оксидування, сульфидування, фосфатування, нанесення зміцнюючого мастильного матеріалу, осадження з газової фази);

б) осадження з пари (термічне випаровування тугоплавких сполук, катодно-іонне бомбардування, пряме електронно-променеве випаровування, реактивне електронно-променеве випаровування, електронно-хімічне випаровування);

в) електролітичне осадження (хромування, нікелювання, електрофорез, нікельфосфатування, борування, борохромування, хромофосфатування);

г) напилення зносостійких з'єднань (плазмове напилення порошкових матеріалів, детонаційне напилення, електродугове напилення, лазерне напилення, вихрове напилення, індукційне припікання порошкових матеріалів).

2. Зміцнення зі зміною хімічного складу поверхневого шару металу [13, с. 5-6]:

а) дифузійне насичення (борування, ціанування, азотування, нітроцементация та ін.);
 б) хімічний і фізико-хімічний вплив (хімічна обробка, іонна імплантація, електроіскрова обробка та ін.).

3. Зміцнення зі зміною структури поверхневого шару [13, с. 5-6]:

а) фізико-термічна обробка (лазерне гартування, плазмове гартування);
 б) електрофізична обробка (електроконтактна, електроерозійна, магнітна обробка);
 в) механічна обробка (зміцнення вібрацією, фрикційно-зміцнююча обробка, дробоструменева, обробка вибухом, термомеханічна, електромеханічна);
 г) наплавлення легуючим елементом (газовим полум'ям, електричною дугою, плазмою, лазерним променем, пучком іонів та ін.).

4. Зміцнення зі зміною енергетичного запасу поверхневого шару [13, с. 5-6]:

а) обробка в магнітному полі (термомагнітна обробка, імпульсним магнітним полем);
 б) обробка в електричному полі.

5. Зміцнення зі зміною мікрогеометрії поверхні і наклепом [13, с. 5-6]:

а) обробка різанням (точіння, шліфування, надшвидкісне різання);
 б) пластичне деформування (накочення, обкатування, розкочування, вигладжування, вібронакатування, вібровигладжування, калібрування, відцентрово-ударне зміцнення, віброударне та ін.);
 в) комбіновані методи (анодно-механічна, поверхневе легування з вигладжуванням, різання з впливом ультразвукових коливань, магнітно-абразивна обробка та ін.).

6. Зміцнення зі зміною структури всього об'єму металу [13, с. 5-6]:

а) термічна обробка при позитивних температурах (гартування, відпуск, поліпшення, гартування струмом високої частоти (СВЧ), нормалізація, термомагнітна обробка);
 б) криогенна обробка (гартування з обробкою холодом, термоциклювання).

При виробництві деталей машин широко застосовують різні методи поверхневого зміцнення [13, с. 5-6].

Поверхневий шар деталі – це шар, структура, фазовий і хімічний склад якого відрізняються від основного матеріалу, з якого зроблена деталь. Схема поверхневого шару наведена на рисунку 5.1 [13, с. 7-8].

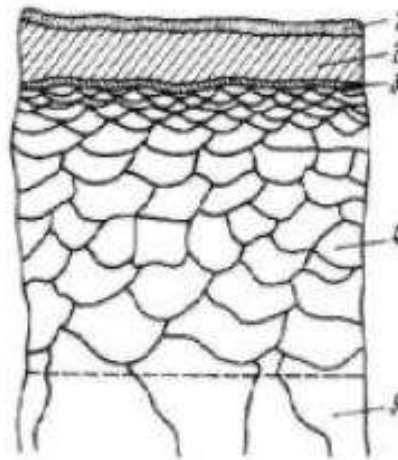


Рисунок 5.1 – Схема поверхневого шару деталі

У поверхневому шарі можна виділити наступні основні зони [13, с. 7-8]:

1. адсорбованих з середовища молекул і атомів органічних і неорганічних речовин; товщина шару $1 \div 0,001$ мкм;
2. продуктів хімічної взаємодії металу з середовища (зазвичай оксидів); товщина шару 1-10 мкм;
3. гранична – завтовшки декілька міжатомних відстаней, що має іншу, ніж в об'ємі, кристалічну і електронну структуру;
4. зі зміненими параметрами в порівнянні з основним металом;
5. зі структурою, фазовим і хімічним складом, який виникає при виготовленні деталі і змінюється в процесі експлуатації.

Товщина і стан вказаних шарів поверхневого шару можуть змінюватися залежно від складу матеріалу, методу обробки, умов експлуатації. Оцінка цього стану здійснюється методами хімічного, фізичного і механічного аналізу. Різноманіття параметрів стану поверхневого шару і методів їх оцінки не дозволяє виділити єдиний параметр, що визначає якість поверхневого шару. На практиці стан поверхневого шару оцінюється набором одиничних або комплексних властивостей, які оцінюють якість поверхневого шару. [13, с. 7-8]

До основних видів поверхневої пластичної деформації відносять наступні [13, с. 18].

Алмазне вигладжування відрізняється порівняно малою площею контакту інструмент-деталь, тому застосовується при обробці нежорстких деталей, міцних і загартованих матеріалів. Алмазне вигладжування зовнішніх, внутрішніх і фасонних поверхонь є аналогічним обробці роликми і кулями. При алмазному вигладжуванні обробка поверхневою пластичною деформацією проводиться в умовах тертя ковзання (з малим коефіцієнтом тертя), а при обкатці роликми і кулями – тертя кочення. Робочим інструментом слугують прості за конструкцією державки з наконечниками з природних і штучних алмазів у вигляді півсфери, циліндру або конусу. Вигладжують деталі жорстким або нежорстким (підпружиненим) інструментом [13, с. 18].

Вигладжування є одним з методів зміцнюючої обробки поверхні пластичною деформацією і полягає в пластичній деформації оброблюваної поверхні інструментом, що ковзає по ній – вигладжувачем, закріпленим в оправці алмазним кристалом, який має наступні властивості [13, с. 18]:

- ☐ високу твердість;
- ☐ низький коефіцієнт тертя;
- ☐ високу міру чистоти;
- ☐ високу теплопровідність.

Вигладжування проводять для зменшення шорсткості поверхні, зміцнення поверхневого шару, підвищення точності розмірів і форм деталей [13, с. 18].

В результаті пластичної деформації оброблюваної поверхні відбувається

згладжування початкових нерівностей і утворення нового мікрорельєфу поверхні зі значно меншою висотою нерівностей. Розмір деталі зменшується на величину залишкової деформації [13, с. 19-20].

Формування поверхневого шару при алмазному вигладжуванні відбувається внаслідок пластичної деформації оброблюваної поверхні. Під дією радіальної сили, що діє на поверхню контакту алмазу з деталлю, виникають контактні тиски. Якщо їх величина перевищує межу плинності, виникає пластична деформація тонких поверхневих шарів. При пластичній деформації поверхневий шар має специфічну волокнисту будову, початкова кристалічна решітка викривляється [13, с. 19-20].

Ефективність алмазного вигладжування різних матеріалів значною мірою визначається їх початковою структурою [13, с. 19-20].

Висока ефективність зміцнення пояснюється більш високою щільністю дефектів, що утворюються в поверхневому шарі, за рахунок концентрації дислокацій. При цьому створюється тонкий структурний стан металу, який забезпечує максимальну затримку дислокацій і мінімальний їх вихід на поверхню. При алмазному вигладжуванні щільність дислокацій в поверхневому шарі є близькою до граничного значення. Зі збільшенням відстані від поверхні щільність дислокацій зменшується [13, с. 19-20].

Особливість процесу алмазного вигладжування: якщо при інших видах зміцнення повністю або частково видаляється шар металу, деформований на попередній операції, то при алмазному вигладжуванні той шар не видаляється, а зазнає додаткової пружної деформації [13, с. 19-20].

В якості інструменту для вигладжування використовують природні і синтетичні алмази. Стійкість природних і штучних алмазів є приблизно однаковою [13, с. 22].

Алмазним вигладжувачем можна обробляти майже усі метали, що застосовуються в промисловості, і сплави, за винятком титану, цирконію і ніобію, оскільки вони налипають на робочу частину вигладжувача; усі види поверхонь (зовнішні, внутрішні, плоскі, профільні) валів, штоків, циліндрів, поршневих пальців і так далі. Не можна використати для деталей, що мають нерівномірну твердість [13, с. 22].

При вібраційному вигладжуванні інструменту у вигляді сфери додатково надається зворотно-поступове переміщення по поверхні деталі. Схема вібровигладжування наведена на рисунку 5.2 [13, с. 22-23].

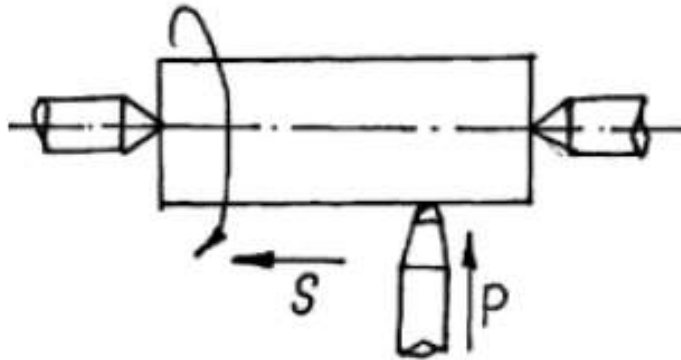


Рисунок 5.2 – Схема вібровигладжування

При обробці інструмент ковзає або по початковій, або по частково вигладженій поверхні, а при кожному подвійному ході змінюється напрям руху інструменту і дуга контакту інструменту з оброблюваною поверхнею [13, с. 22-23].

Варіювання форм, розмірів і розташування мікронерівностей по поверхні досягається зміною режимів обробки [13, с. 22-23]:

- ☐ швидкості обертання деталі;
- ☐ подання інструменту;
- ☐ амплітуди і частоти його коливань;
- ☐ сили підтискання інструменту до деталі;
- ☐ радіусу сферичної частини інструменту.

В якості інструменту застосовують кульки діаметром 4-10 мм, і сферичні наконечники з алмазів. У першому випадку обробку ведуть тертям кочення, в другому – тертям ковзання. У першому випадку називається віброобкатування, в другому – вібровигладжування [13, с. 22-23].

Переваги вібровигладжування перед вигладжуванням:

- збільшення залишкової напруги в 1,3-1,7 разів;
- підвищення зносостійкості деталі в 1,5 рази;
- можливість виготовлення будь-якого мікрорельєфу для контактуючих тіл;
- можливість утримання масляної плівки в каналах при терті;
- зміцнення з оплавленням поверхні деталі [13, с. 22-23].

Дорнування – ефективний метод калібрування і обробки внутрішніх поверхонь деталей машин. Інструмент переміщається в отворі з натягом, він є основним технологічним параметром процесу. Процес виконується за один або декілька проходів інструменту. Дорнування підвищує точність отворів і забезпечує високу якість поверхні; процес продуктивний. Формотворна обробка застосовується для отримання на поверхні деталі дрібних шліців і інших рифлень. Товщина зміцненого шару при дорнуванні регулюється натягом, тобто різницею діаметрів дорну "D" і отворів "d" заготовки. Схема дорнування наведена на рисунку 5.3 [13, с. 24-25].

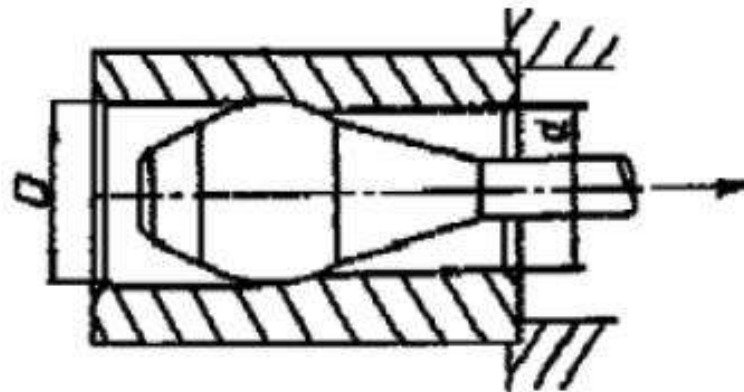


Рисунок 5.3 – Схема дорнування

Методи вигладжування і деформуючого простягання (дорнування) відносяться до методів статичної поверхневої деформації [13, с. 24-25].

Разом з цими методами в машинобудуванні існує велике число методів поверхневої

пластичної деформації, що ґрунтуються на динамічній (ударній) дії інструменту на поверхню деталі. Схема обробки динамічною пластичною деформацією наведена на рисунку 5.4 [13, с. 25-27].

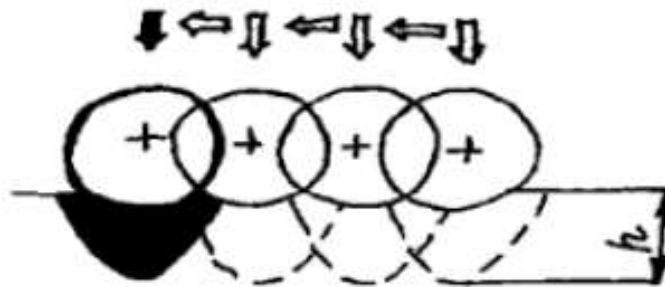


Рисунок 5.4 – Схема обробки поверхневою пластичною деформацією при ударній дії інструменту

У цих процесах інструмент впроваджується в поверхневий шар деталі перпендикулярно профілю поверхні або під деяким кутом до неї. Численні удари, що наносяться інструментом по деталі за заданою програмою або хаотично, залишають на ній велике число локальних пластичних відбитків, які в результаті покривають (з перекриттям або без нього) усю поверхню. Розміри осередку деформації залежать від матеріалу деталі, розмірів і форми інструменту і від енергії удару по поверхні [13, с. 25-27].

До методів ударної поверхневої пластичної деформації відносяться карбування, обробка дробом, віброударна, ультразвукова, відцентрово-ударна обробка та ін.

При карбуванні завдають ударів ударниками з бойками по оброблюваній поверхні за допомогою механічних, пневматичних або електромеханічних спеціальних пристосувань. Карбування ефективне для обробки деталей машин, таких як зубчасті колеса, шліцьові вали з різних матеріалів. Добре зміцнюються карбуванням зварні шви [13, с. 25-27].

Дробоструменева обробка (наkleп) здійснюється за рахунок кінетичної енергії потоку чавунним, сталевим або іншим дробом, який спрямовується, наприклад, роторним дробометом, схема обробки яким наведена на рисунку 5.5 [13, с. 25-27].

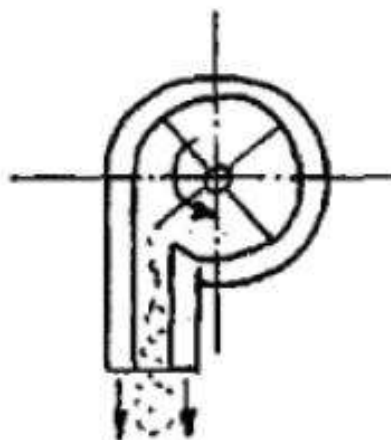


Рисунок 5.5 - Дробоструменева обробка деталі

Схема відцентрово-кульової обробки наведена на рисунку 5.6 [13, с. 25-27].

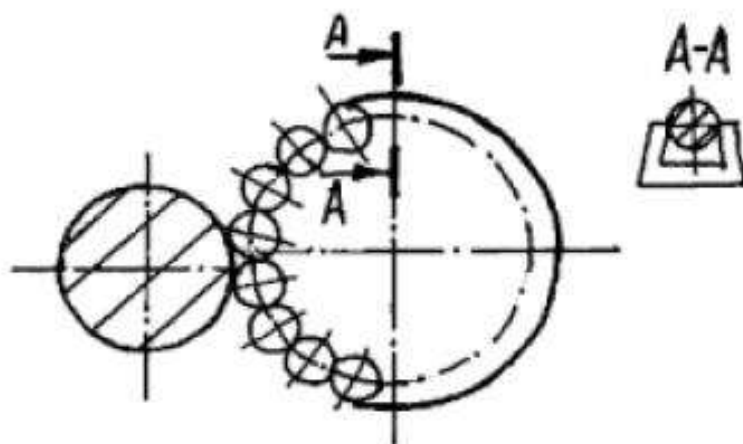


Рисунок 5.6 – Схема відцентрово-кульової обробки

При обертанні диску під дією відцентрової сили кульки відкидаються до периферії ободу, взаємодіють з оброблюваною поверхнею і відкидаються всередину гнізда [13, с. 25-27].

Поверхнева пластична деформація:

- ☐ підвищує щільність дислокацій в зміцненому шарі;
- ☐ подрібнює початкову структуру;
- ☐ підвищує величину твердості поверхні;
- ☐ зменшує величину шорсткості;
- ☐ підвищує зносостійкість деталей;
- ☐ збільшує опір скоплюванню поверхонь;
- ☐ збільшує межу витривалості [13, с. 25-27].

Існує чотири групи методів зміцнення поверхонь деталей машин концентрованими потоками енергії [13, с. 30]:

- ☐ електронно-променева обробка;
- ☐ плазмове і детонаційне напилення;
- ☐ вакуумна іонно-плазмова обробка;
- ☐ лазерна обробка.

До першої групи відносяться методи, основою яких є перенесення енергії від променевого джерела до оброблюваної поверхні, яка в результаті потужної локальної енергетичної дії набуває нових властивостей [13, с. 30].

До другої групи відносяться методи, основу яких складає перенесення речовини від деякого джерела до заздалегідь очищеної оброблюваної поверхні, на якій ця речовина осідає, формуючи захисне покриття [13, с. 30].

У третій групі використовується джерело речовини, великі частки якої розігріваються і розганяються до високої енергії і впроваджуються або прилипають до оброблюваної поверхні, формуючи на ній шар нанесеної речовини [13, с. 30].

Основою процесу лазерного зміцнення є швидкий нагрів до високої температури (температури плавлення) поверхневого шару металу з подальшим швидким

охладженням шляхом відведення тепла в основний об'єм металу, який залишається практично холодним [13, с. 30-31].

Лазерне наплавлення порошкових матеріалів забезпечує отримання наплавленого шару високої міри однорідності і якості без значного термічного впливу на шари металу, що пролягають нижче. Застосовують порошки хрому, бору, нікелю, кремнію [13, с. 31].

Суть процесу наплавлення полягає в нанесенні на поверхню деталі шару порошку і подальшого його розплавлення променем лазера. Порошок дифундує в основний метал, а швидке охолодження дозволяє отримати однорідну структуру поверхневого шару [13, с. 31].

Обробка поверхні електронно-променевим методом здійснюється потужним електронним пучком у вакуумному середовищі. При цьому потрібний захист оператора від рентгенівського випромінювання, що перешкоджає широкому масовому поширенню такого зміцнення [13, с. 31-32].

Переваги в порівнянні з лазерною обробкою:

- ☐ більш високий ККД;
- ☐ більш висока потужність;
- ☐ менша вартість [13, с. 31-32].

Методи детонаційного і плазмового нанесення покриття відносяться до газотермічних методів, дія яких ґрунтується на повному або частковому нагріві матеріалу покриття до стану плавлення і розпилення його газовим струменем. Матеріал, що напилюється, може бути у вигляді дроту або порошку. Матеріал, що напилюється, нагрівається від газового полум'я, плазми електричної дуги або від детонації вибухової газової суміші [13, с. 32-33].

У детонаційному методі використовується енергія киснево-ацетиленових вибухів, яка забезпечує необхідне розігрівання і прискорення напилюваного матеріалу, а при плазмовому – енергія плазмового струменя. Розпилені частки матеріалу ударяються в підкладку і розплющуються, утворюючи тонкі шари частинок, що закріплюються на

поверхневому шорсткому шарі шляхом механічної і фізико-механічної взаємодії з матеріалом основи. В результаті взаємодії окремих частинок утворюється своєрідна структура напилюваного покриття. Чим більшою є швидкість зіткнення часток, тим вищою є міцність покриття, що наноситься. При детонаційному напиленні швидкість руху напилюваного порошку складає 600-1000 м/с, що в 4-7 разів більше, ніж при плазмовому і газополум'яному методах напилення [13, с. 32-33].

Особливість цих методів зміцнення – можливість наносити тугоплавкі матеріали на металеву підкладку без значного її нагріву (не більше 150°C), тобто наносити покриття на остаточно термооброблені і зміцнені сталі, алюмінієві, титанові і інші сплави після фінішної механічної обробки, не побоюючись зміни властивостей структури поверхневого шару [13, с. 32-33].

Утворення покриття відбувається внаслідок зіткнення часток з поверхнею оброблюваної деталі, їх сильної деформації, розплющення і розбризкування. В результаті отримують покриття, так само як і у разі детонаційного напилення, яке складається з шарів напилюваного матеріалу, сполучених між собою по контактній поверхні ділянками зварювання, тому міцність і щільність покриття нижче міцності і щільності початкового матеріалу [13, с. 32-33].

При детонаційному напиленні кінетика і механізм формування покриттів визначаються пластичною деформацією часток порошку і підкладки у зоні зіткнення, де відбувається локальне підвищення активності твердої підкладки під дією тиску від удару твердих часток, що викликає пружні сполучення кристалічної решітки і пластичну деформацію. Це призводить до збільшення міцності зчеплення покриття з основним металом [13, с. 32-33].

Для підвищення фізико-механічних властивостей напиленого шару і поліпшення адгезії до підкладки застосовують додаткову операцію оплавлення. Суть цієї операції: напилений шар нагрівають до температури, близької до його плавлення. В результаті нагріву між напиленим шаром і основним металом протікає дифузійний процес, і при охолодженні утворюється щільне покриття. Пори, що залишаються після напилення,

заповнюються розплавленою частиною напиленого матеріалу. Після охолодження створюється рівномірний тонкий однорідний шар. При цьому охолодження ведуть разом з піччю [13, с. 32-33].

Способи оплавлення [13, с. 32-33]:

- ☐ плазовим або газовим пальником;
- ☐ в електричній печі;
- ☐ в соляній ванні;
- ☐ СВЧ

Методом детонації напилюють пластичні метали і сплави (Cu, Ni, Fe та ін.), тверді непластичні метали і тугоплавкі з'єднання (W, Al₂O₃ та ін.) [13, с. 32-33].

При плазовому напиленні в якості плазмоутворюючих газів використовують аргон, неон, азот, водень, гелій, аміак, природний газ і їх суміші. Порошок вводиться в плазовий струмінь [13, с. 32-33].

Плазове поверхнєве зміцнення полягає в термічних фазових і структурних перетвореннях, що відбуваються при швидкому концентрованому нагріві робочої поверхні деталі плазовим струменем (дугою) і тепловідводі в матеріал деталі [13, с. 34].

Серед методів нанесення захисних покриттів, заснованих на впливі на поверхню деталі потоків частинок і квантів з високою енергією, велика увага приділяється вакуумним іонно-плазовим методам. Характерною їх рисою є пряме перетворення електричної енергії в енергію технологічного впливу, засноване на структурно-фазових перетвореннях в осажденному на поверхні конденсаті або в самому поверхневому шарі деталі, що вміщена в вакуумну камеру [13, с. 35-37].

Основною перевагою даних методів є можливість створення вельми високого рівня фізико-механічних властивостей матеріалів в тонких поверхневих шарах, нанесення щільних покриттів з тугоплавких хімічних сполук, а також алмазоподібних, які неможливо отримати традиційними методами. Крім того, ці методи дозволяють [13, с. 35-37]:

- забезпечувати високу адгезію покриття до підложки;

- отримувати рівномірні покриття по товщині на великій площі;
- варіювати склад покриття в широкому діапазоні, в межах одного технологічного циклу;

- отримати високу чистоту поверхні покриття;
- забезпечувати екологічну чистоту виробничого циклу.

Методи вакуумної іонно-плазмової технології [13, с. 35-37]:

1) Зміна поверхневих шарів:

- іонно-дифузійне насичення; (іонне азотування, коксування, борування і ін.);
- іонне (плазмове) травлення (очищення);
- іонна імплантація (впровадження);
- відпал у гліючому розряді;

2) Нанесення покриттів:

- полімеризація в гліючому розряді;
- іонне осадження (в тріодній розпилювальній системі, діодній розпилювальній системі, з використанням розряду в катоді);
- електродугове випаровування;
- іонно-кластерний метод;
- катодного розпилення (на постійному струмі, високочастотне);
- хімічне осадження в плазмі гліючого розряду.

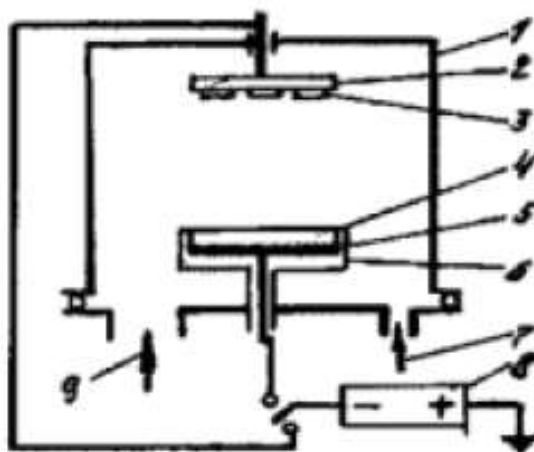
Електронно-променевий спосіб нагріву полягає в тому, що на зразок металу направляють потік електронів від катода, прискорених електричним полем до енергії 5-25 кеВ. Потік електронів (електронний промінь) отримують за допомогою електронно-променевих гармат. [13, с. 35-37]

Іонні розпилювачі поділяють на дві групи [13, с. 37-38]:

- плазмоіонні розпилювачі, в яких мішень знаходиться в газорозрядній плазмі, що створюється за допомогою гліючого, дугового і високочастотного розряду. Розпилення відбувається в результаті бомбардування мішені іонами, що вилучаються з плазми;

- автономні джерела без фокусування і з фокусуванням іонних пучків, бомбардують мішень.

У найбільш простому випадку система розпилення складається з двох електродів, поміщених в вакуумну камеру, яка наведена на рисунку 5.7 [13, с. 37-38].



1 – камера; 2 – підложкотримач; 3 – деталі (підложки); 4 – мішень; 5 – катод; 6 – екран;
7 – підведення робочого газу; 8- джерело живлення; 9- відкачка

Рисунок 5.7 – Принципова система розпилення

Розпилюючи мішень з матеріалу, що наноситься, розташовують на катоді. На іншому електроді, на відстані в кілька сантиметрів від катода, встановлюють деталі (підложки) [13, с. 37-38].

Камеру вакуумують, а потім наповнюють робочим газом (найчастіше аргоном) до тиску 1,33Па. На електрод з підложки подають негативний потенціал, запалюють газорозрядну плазму і бомбардуванням іонами проводять очищення їх від поверхневих забруднень. Далі негативний потенціал прикладають до мішені і розпилюють її. Розпилені частки рухаються через плазму розряду, осідають на деталях і утворюють покриття.

Велика частина енергії іонів, що бомбардують мішень (до 25%), переходить в тепло, яке відводиться водою, що охолоджує катод [13, с. 37-38].

Перевагою є можливість отримання покриттів з тугоплавких металів, сплавів і хімічних сполук [13, с. 37-38].

До покриттів іонного осадження відносять методи, в яких осаджена плівка піддається інтенсивному впливу іонного компонента корпускулярного потоку, що забезпечує зміни в структурі і властивостях як перехідної зони, так і самого покриття [13, с. 39-40].

За типом джерела генерації металевго компонента потоку розрізняють іонно-термічні системи розпилення і холодні системи. В перших системах переведення матеріалу, що переноситься, з твердого в пароподібний стан здійснюється в результаті термічного нагріву, в других – розпиленням з поверхні інтегрально - холодної мішені (катода) [13, с. 39-40].

Ці методи дозволяють одержувати покриття з високими службовими характеристиками, кристалізацією плівок і їх властивостями. У машинобудуванні вони знайшли застосування для отримання зносостійких і корозійностійких покриттів як з чистих металів, так і зі з'єднань [13, с. 39-40].

Недолік: низький відсоток іонізованих частинок в загальному потоці випаровується, що впливає на адгезійні властивості, характеристики покриття і умови протікання реакції з реактивним газом [13, с. 39-40].

Система іонного насичення представляє собою вакуумну камеру, яка в електричному плані реалізована як двохелектродна схема: катод-електрод з деталями, другий електрод (анод) – заземлений корпус вакуумної камери. Для проведення процесу іонами насичення в вакуумну камеру подається легуючий матеріал (елемент або хімічна сполука) в газоподібному (пароподібному) стані, а до деталей прикладається негативний потенціал 300–1000 В. Поверхня деталі бомбардується позитивними іонами легуючого елемента з газорозрядної плазми, що дозволяє значно скоротити тривалість процесу насичення поверхні [13, с. 40-41].

Цей метод найбільш широко застосовується при азотуванні сталей і металів [13, с.

40-41].

Переваги над печами звичайного газового азотування [13, с. 40-41]:

- скорочення тривалості циклу в 3-5 разів;
- зменшення деформації деталей в 3-5 разів;
- можливість проведення регульованих процесів азотування з отриманням шарів із заданим складом і структурою;
- можливість зменшення температури процесу азотування до $350-400^{\circ}\text{C}$, що дозволяє уникнути пониження міцності матеріалу серцевини виробів;
- зменшення крихкості шару і підвищення його службових характеристик;
- простота захисту окремих ділянок деталей від азотування;
- усунення небезпеки вибуху печі;
- зниження питомих витрат електричної енергії в 1,5-2 рази і робочого газу в 30-50 разів;
- поліпшення умов праці термістів.

Недоліки [13, с. 40-41]:

- неможливість прискорення процесу шляхом збільшення щільності іонного потоку, тому що в результаті перегріву деталей знижується поверхнева твердість;
- інтенсифікація процесу іонного азотування;
- накладення магнітного поля з метою збільшення щільності струму і зниження тиску газу;
- за рахунок створення поверхні деталі заданої конфігурації відбувається попереднє пластичне деформування, термічна обробка [13, с. 40-41].

Хіміко-термічною обробкою (ХТО) називають обробку, яка полягає в поєднанні термічного та хімічного впливу з метою зміни складу, структури і властивостей поверхневого шару деталі в необхідному напрямку. При цьому відбувається поверхнєве насичення металевих матеріалів відповідним елементом (C, N, B, Al, Cr, Si, Ti і ін.) шляхом його дифузії в атомарному стані із зовнішнього середовища (твердого, газового, парового, рідкого) при високій температурі [13, с. 80-49].

Широке застосування ХТО в різних областях техніки пояснюється тим, що більшість деталей машин і механізмів працюють в умовах зносу, кавітації, циклічних навантажень, корозії при криогенних або високих температур, при яких максимальні напруження виникають в поверхневих шарах металу [13, с. 80-49].

Мета хіміко-термічної обробки металів та їх сплавів є їх поверхнєве зміцнення, захист від корозії, підвищення надійності і довговічності деталей машин [13, с. 80-49].

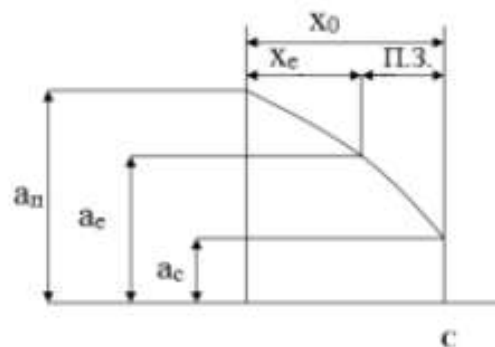
ХТО включає наступні основні взаємопов'язані стадії [13, с. 80-49]:

1) утворення активних атомів в насиченому середовищі і дифузію їх до поверхні оброблюваного металу;

2) адсорбцію активних атомів, що утворилися, поверхнею насичення;

3) дифузію – переміщення адсорбційних атомів всередині металу.

Розвиток процесу дифузії призводить до утворення дифузійного шару, під яким розуміють шар матеріалу деталі у поверхні насичення, відрізняється від вихідного матеріалу за хімічним складом, структурою і властивостями. Схема дифузійного шару наведена на рисунку 5.8 [13, с. 80-49].



П.З. – перехідна зона; С – серцевина; x_0 – загальна товщина дифузійного шару; x_e – ефективна товщина дифузійного шару; a_n – значення базового параметра у поверхні; a_e – граничне значення базового параметра, встановлене для ефективної товщини; a_c – значення базового параметра для серцевини

Рисунок 5.8 – Схема дифузійного шару

При виборі методу підвищення несучої здатності деталі «Кільце упорне» необхідною складовою є умови експлуатації, робочі найбільш навантажені поверхні (конструкція), матеріал. Деталь працює в маслі при температурі до 200°C, що значно скорочує можливість застосування існуючих методів зміцнення.

Так застосування гальванічних покриттів, покриттів отриманих розпиленням (плазмовим, іонним і т.п.) недоцільно, через те, що більшість металевих покриттів не працюють в мастилі при високих температурах, до того ж матеріал деталі не дозволяє застосовувати хімічні покриття (для легованих сталей не застосовуються). Методи поверхневої пластичної деформації також не доцільно через те, що деталь в процесі експлуатації не потребує зміни мікрорельєфу та наявності наклепу. Так оптимальним є методи ХТО, що дозволяють локально створити в поверхневому шарі структуру та зміцнити поверхню.

ХТО полягає в поверхневому насичуванні виробу спеціальними елементами в межах підвищених або високих температур. Однак цей процес доповнюється зміцнювальною термічною обробкою (ТО).

Іноді при ХТО насичування поверхні здійснюється двома та більше елементами. В якості прикладу можна навести ціанування або нітроцементацию (насичення поверхні сталі вуглецем та азотом), сульфювання (насичування поверхні сталі вуглецем, азотом та сіркою).

Елементи, в середовищі яких відбувається насичування виробів, називаються дифузантами або карбюризаторами. Розрізняють карбюризатори тверді, рідкі та газоподібні [14, с. 84].

Товщина дифузійного шару, яка визначає глибину зміцненого шару, є найбільш важливою характеристикою ХТО. Товщина шару визначається:

- 1) температурою насичення;
- 2) тривалістю процесу;
- 3) величиною концентрації дифундуючого елемента на поверхні і перепадом концентрації по глибині шару;

4) складом сталі. [15, с.299].

Цементациєю називається ХТО, яка полягає в дифузійному насичуванні поверхневого шару сталі вуглецем при нагріванні в відповідному середовищі – карбюризаторі. Цементацию, як правило, проводять при температурі (930-950)°С, коли стійкий аустеніт, що розчиняє вуглець в великій кількості [15, с.300].

Розрізняють два види цементації: тверду та газову.

При твердій цементації деталі запаковують в ящик, що наповнений карбюризатором, яким є деревне вугілля з різними добавками. В ящику, в проміжках між вугіллям, є повітря, кисень якого при температурі процесу поєднується з вуглецем, утворюючи окис вуглецю CO [16, с.323].

Недоліком цементації в твердому карбюризаторі є неможливість регулювання степеню насичування; непродуктивна витрата енергії на прогрів карбюризатора та ящиків; необхідність великих виробничих площ; неможливість безпосереднього гартування після цементації [15, с.306].

Однак універсальність та простота цементації твердим карбюризатором обумовлюють її застосування, особливо в дрібносерійному та одиничному виробництві. Цементацию деталей в твердому карбюризаторі можна виконувати в будь-яких печах періодичної або неперервної дії, що забезпечують нагрів до заданої температури. Процес, частіше, відбувається в камерних, рідше (для довгих деталей) в шахтних печах [15, с.306].

Пристосування для завантаження деталей в вертикальні печі при цементуванні наведено на рисунку 5.9 [17, с.76].

Певне поширення отримав процес газової цементації в шахтних печах періодичної дії, в камеру яких подаються рідини – бензол, піробензол, синтин, бутиловий спирт.

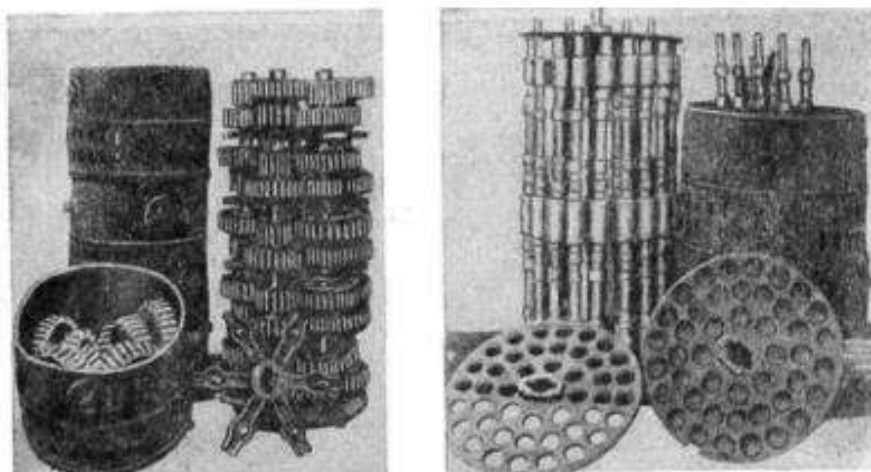


Рисунок 5.9 – Пристосування для завантаження деталей в цементацийні вертикальні печі

Камерна електрична середньотемпературна піч для цементації наведена на рисунку 5.10 [17, с.53].

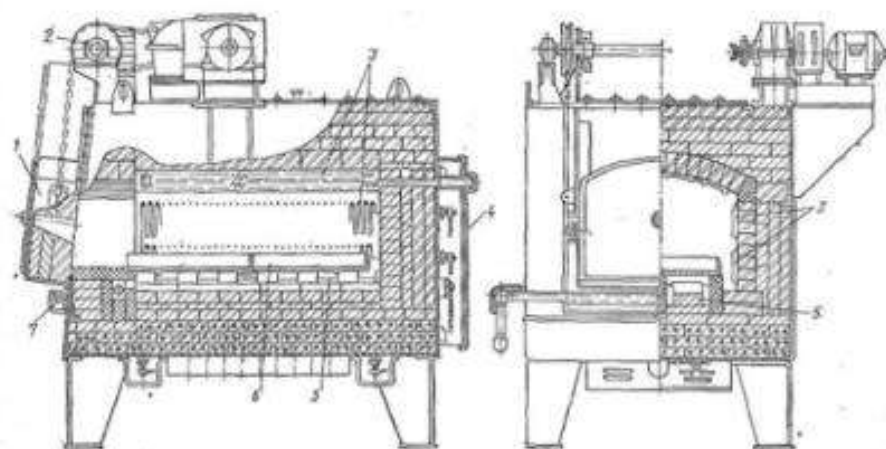


Рисунок 5.10 – Типова камерна середньотемпературна піч

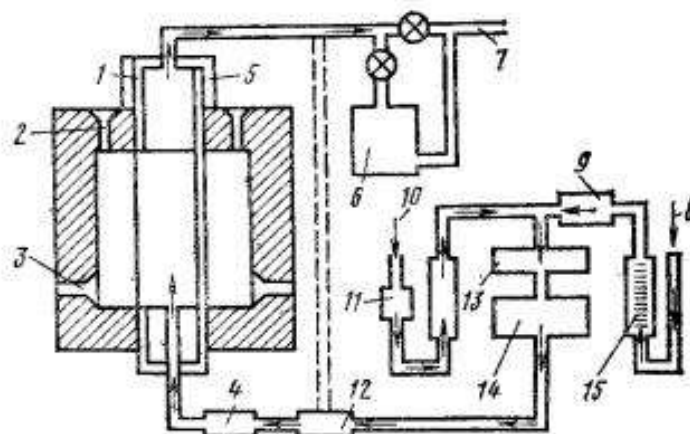
Треба враховувати, що точне регулювання насичення вуглецем в шахтних печах можна забезпечити лише при невеликих коливаннях (не більше 3%) вмісту окису вуглецю в відхідних газах при підвищеній герметизації камерних печей, що в виробничих умовах важко реалізувати. Крім того, після закінчення насичування в шахтних печах підстижування деталі перед гартуванням відбувається на повітрі або в контрольованому середовищі без регулювання вуглецевого потенціалу. В наслідок чого, знижується концентрація вуглецю в аустеніті на глибині (0,05-0,1) мм від поверхні, що призводить до зменшення загартованості шару та до зниження міцності на втому на 30-35%. Тому для найбільш відповідальних деталей застосування шахтних печей для ХТО не рекомендовано [15, с.306-307].

Найбільш суттєвою ознакою раціонального процесу цементації варто вважати можливість автоматичного регулювання вуглецевого потенціалу газової атмосфери, що дозволяє забезпечити заданий розподіл концентрації вуглецю по шару як при насичуванні, так і при послідовних операціях ТО. Крім того, в застосованій газовій атмосфері повинно зведено до мінімуму виділення сажистого вуглецю на поверхні деталі, що ускладнює рівномірний розподіл вуглецю на поверхні сталі [15, с.306-307].

Цим вимогам найбільше задовольняє так звана ендотермічна атмосфера, отримана шляхом часткового спалювання вуглеводневих газів при невисокому коефіцієнті надлишку повітря [15, с.306-307].

Схема генератора для отримання ендотермічної атмосфери наведена на рисунку 5.11 [15, с.306-307].

На теперішній час газова цементація з використанням ендотермічної атмосфери відбувається переважно в безмуфельних агрегатах неперервної дії при забезпеченні механізації та автоматизації циклу обробки. Такі високопродуктивні агрегати широко застосовуються в масовому виробництві [15, с.309].

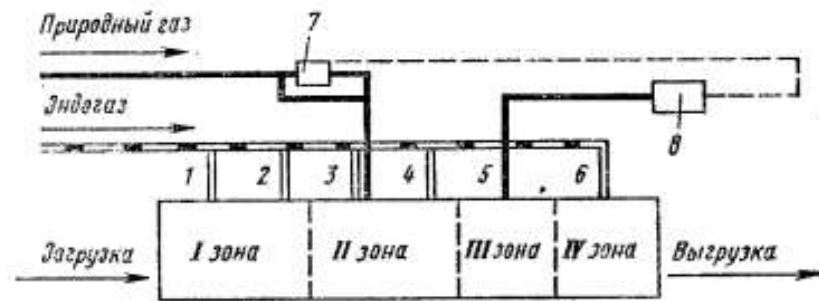


- 1 – реторта з каталізатором; 2 – вихід продуктів згорання;
 3 – горілка для нагрівання реторти; 4 – автоматичний клапан;
 5 – камера охолодження; 6 – охолоджувач газу; 7 – подача газу в піч;
 8 – вхід вуглеводного газу; 9 – регулятор тиску; 10 – вхід повітря;
 11 – фільтр; 12 – автоматичний регулятор тиску; 13 – змішувач;
 14 – насос; 15 – флоуметри

Рисунок 5.11 – Схема генератору для приготування ендотермічної атмосфери

Для здійснення ХТО при автоматичному регулюванні вуглецевого потенціалу в серійному виробництві рекомендується застосовується герметизовані камерні печі періодичної дії, в яких (так як і в безмуфельних агрегатах) виключається контакт поверхні нагрітої сталі з повітрям при переносі деталі з печі в охолоджуючу систему [15, с.309].

Схема розводки газів в безмуфельному агрегаті наведена на рисунку 5.12 [15, с.309].



1-4 – вводи газу; 5 – відбір проби газу на CO_2 ;
7 – автоматичний клапан; 8 – газоаналізатор CO_2

Рисунок 5.12 – Схема розводки газів в безмуфельному агрегаті при регулюванні по CO_2

Цементация в рідкому середовищі відбувається в соляній ванні, але через доволі екологічно шкідливе, небезпечне, непродуктивне виробництво не застосовується [16, с.327-328].

Задача цементації – отримати високу поверхневу твердість і зносостійкість при в'язкій серцевині – не вирішується однією цементацією. Цементацією досягається лише вигідний розподіл вуглецю по перерізу. Остаточню формулює властивості цементованої сталі послідує гартування, ари якій на поверхні утворюється високовуглецевий мартенсит, а в серцевині зберігається низька твердість і висока в'язкість [16, с.327-328].

В усіх випадках цементовані деталі після гартування для знаття внутрішніх напружень підлягають відпуску при низькій температурі (150-200)°C. В результаті такої ТО (гартування + низький відпуск) поверхня повинна мати твердість HRC 58-62, а серцевина – значно меншу, близько HRC 25-35 для легованих сталей й ще нижчу для вуглецевих [16, с.327-328].

Рекомендований вміст вуглецю в цементованих легованих сталях 0,24%, але в де-яких випадках допускається 0,30% [16, с.331].

В промисловості для відповідальних цементованих шестернів застосовують хромомарганцеві сталі з титаном (18ХГТ, 30ХГТ) і з молибденом (25ХГМ), хромонікельмолибденові (20ХНМ, 22ХНМ, 20ХН2М), хромомарганцевонікелеві (19ХГН), хромонікелеві з титаном (15ХГНТА), а також леговані сталі з додаванням бору (20ХГР, 20ХНР, 20ХГНТР), хромонікелева економно-легована сталь 25ХГНМАЮ і ін. [16, с.331].

Високолеговані хромонікелеві сталі з 3-4% Ni (12ХН3А, 12Х2Н4А) застосовується в менших масштабах [16, с.331].

Азотуванням називається процес насичування сталі з азотом. У порівнянні з цементацією цей процес застосовують порівняно нещодавно [16, с.331].

Так як азотований шар сам по собі (без будь-якої наступної ТО) має високу твердість, а розміри виробів після азотування змінюється мало, то на відміну від процесів цементації азотування проводять на готових деталях, що пройшли остаточну ТО (гартування з високим відпуском) і доведених шліфуванням до точного розміру [16, с.331].

В наслідок азотування сталь здобуває: 1) високу твердість на поверхні, що не змінюється при нагріванні до (400-450)°С; 2) низьку схильність до задирів; 3) високу межу міцності; 4) високу кавітаційну стійкість; 5) добрий опір корозії в атмосфері, прісній воді та парі [15, с.322].

На початку цей процес застосовувався лише для хромоалюмінієвої сталі, а пізніше також і для сталі інших сплавів.

Азотування легованої сталі проводять з метою підвищення поверхневої твердості, зносостійкості, опору втоми і стійкості проти корозії. Поверхнева твердість хромоалюмінієвомолибденової сталі досягає після азотування 1100-1200 по Вікерсу (HRC 68-72), що значно перевищує поверхневу твердість загартованої цементованої або ціанованої сталі. Твердість азотованого шару не змінюється після нагрівання до

(600-650)°C. Межа втоми сталі, що працює в умовах повторно-змінних навантажень, підвищується в результаті азотування на (15-35)%. Зносостійкість легованої азотованої сталі значно вище, ніж сталі після цементації та ціанування.

Найбільше розповсюдження азотування деталей з легованої сталі знайшло в дизельбудівельній промисловості. В деяких сучасних двигунах азотування підлягають колінчаті вали, гільзи циліндру, редукторні шестерні, штоки клапану випуску і валики водяного насосу. В дизельбудівній промисловості азотуванню підлягають деталі дозуючого паливного насосу, плунжерна пара (плунжер і втулка), сидло розпилювача, голка розпилювача і інші деталі.

При виробництві нафтових насосів для глибокого буріння азотування підлягають втулки, плунжери, сидла, а іноді і шарики клапану. Рідше азотування застосовується в турбобудівництві (втулки та штоки регулюючих клапанів), в автобудівництві (валики водяного насосу, еталонні шестерні), в верстатостроювальній промисловості (шпинделі шліфувальних і прецизійних верстатів, шестерні, черв'яки, копіри, ролики, втулки і т.п.), в промисловості, що виробляє пластмаси (пресформи), в приладобудівній промисловості і в інших сферах техніки.

Антикорозійне азотування, тобто азотування головним чином вуглецевої сталі з метою підвищення лише корозійної стійкості сталі відбувається під впливом аміаку при (600-850)°C впродовж від декількох хвилин до 2 годин. Антикорозійному азотуванню можуть підлягати низьковуглецеві, високовуглецеві та леговані сталі, а також чавуни. Якщо з високою антикорозійною стійкістю необхідно висока твердість, процес азотування може бути поєднаний з гартуванням. Глибина антикорозійного азотування зазвичай в межах від 0,02 мм до 0,04 мм.

Антикорозійне азотування може бути використано як альтернатива нікелюванню, цинкуванню, оксидуванню і гальванічним і хімічним покриттям інших видів. Сталь після антикорозійного азотування може використовуватися натомість кольорових металів. Антикорозійному азотуванню підлягають деталі деяких приладів

(гайки, штуцери, гвинти, валики, шестерні та ін.), зварювальні горілки, різакі, деталі кисневого вентиля, фурнітура валіз будівельно-скобяна, деталі гальмів Матросова, частини дитячих велосипедів і інші різноманітні деталі [18].

Коли необхідно високі твердість і зносостійкість, часто застосовують азотовану сталь 38Х2МЮА. Однак сталь володіє порівняно невисокою прогартованістю, схильна до збіднення вуглецю при нагріванні і після шліфування та хонінгування на азотованій поверхні нерідко відбувається викришування шару на глибину до 0,05 мм.

Останнім часом для азотування застосовують конструкційні сталі, що не містять алюміній – 40Х, 40ХФ, 18ХГТ, 30ХГТ, 40ХНМА, 20Х3ВА, 20Х3МВФ, 25Х2Н2МФ, 30Х3МФ, 25Х3Н3МФ, 18Х2Н4ВА, 38ХН3МА, 20ХГН2МФ, 38ХНМФА, 30Х3М і ін. Сталі без алюмінію більш технологічні, багато з них має більш високі механічні властивості, ніж сталь 28Х2МЮА, але знижену твердість азотованого шару (HV 650-95). Азотований шар на цих сталях не крихкий і має високу зносостійкість. Нерідко для підвищення зносостійкості і межі витривалості азотують мартенситно-старіючі сталі (Н18К9М5Т, 000Н10Х11М2Т і ін.). Для підвищення твердості, зносостійкості і ерозійної стійкості азотуванню підлягають сталі мартенситного (20Х13, 30Х13 і ін.), феритного (12Х13 і ін.) і аустенітного (45Х14Н14В2М, 12Х18Н9, 12Х18Н10Т і ін.) класів. В деяких галузях промисловості знайшли застосування немагнітні високомарганцевомісні сталі дисперсійно-зміцнені аустенітні сталі типу 40Г14Н9Ф2, 40Г14Н9Х3Ф2, 40Г14Н9Х3ЮФ2 і ін. Деталі з цих сталей, що працюють в умовах тертя, зміцнюються азотуванням. Азотування підвищує в 4-5 разів стійкість проти руйнування прес-форм зі сталей 3Х2В8Ф і 4Х5В2ФС в розплавлених алюмінієвих сплавах. Широко застосовується азотування і для поверхневого зміцнення деталей з високоміцного магнієвого чавуну.

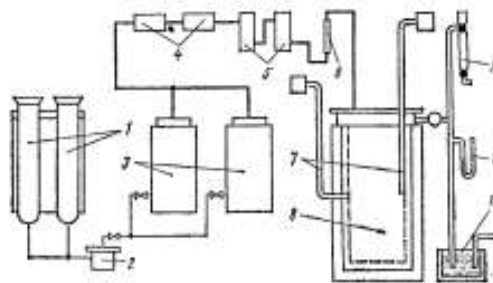
Азотування ріжучого і накатного інструменту зі швидкоріжучої сталі підвищує їх стійкість в 1,5-2,рази. Добре азотуються штампові сталі Х12М, Х12Ф1, 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС і ін.

В загальному вигляді процес виготовлення азотованих деталей з конструкційної сталі може бути представлений у вигляді наступних послідовних етапів: 1) попередня ТО, мета якої – надати сталі необхідних механічних властивостей; 2) механічна обробка деталі, враховуючи шліфування; 3) ізоляція поверхні, що не підлягає азотуванню; 4) азотування; 5) остаточне шліфування або доводка деталі у відповідності до вимог конструкторської документації.

Попередню ТО – гартування і високий відпуск - проводять в заготовках. Температура відпуску повинна перевищувати температуру азотування. Для відповідальних деталей складної конфігурації перед шліфуванням рекомендується стабілізуючий відпуск при $(550-600)^{\circ}$ впродовж 3-10 годин для зняття внутрішніх напружень, які виникають в деталі при різанні і можуть бути джерелом підвищених деформацій при азотуванні.

Для азотування використовуються шахтні (муфельні і безмуфельні) і камерні печі періодичної дії, а також штовхаючі і карусельні печі, що працюють по неперервному циклі.

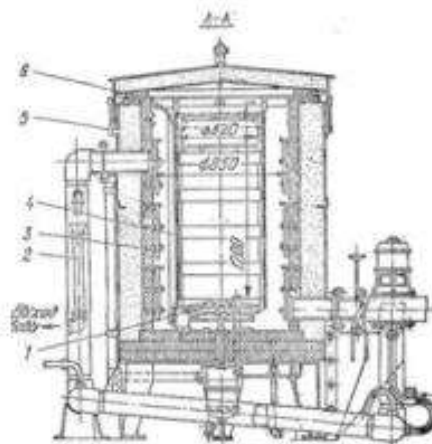
Схема установки для азотування наведена на рисунку 5.13 [15, с.327].



- 1 – балони з аміаком; 2 – фільтри; 3 – випарювачі; 4 – відстойники для очищення газоподібного аміаку; 5 – фільтр тонкого очищення і осушувач;
6 – ротаметр; 7 – термopара; 8 – піч для азотування; 9 – дисоціометр;
10 – манометр; 11 – гідравлічний затвор

Рисунок 5.13 – Схема установки для азотування

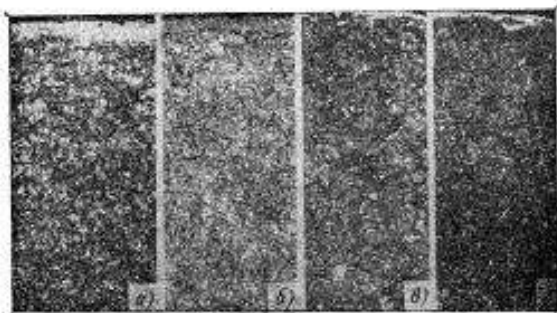
Вертикальна електрична піч для азотування наведена на рисунку 5.14 [17].



1 – вентилятор; 2 – труби; 3 – стрічковий нагрівач;
4 – циліндричний екран; 5 – масляний затвор; 6 – азбестова прокладка

Рисунок 5.14 – Вертикальна електрична піч для азотування

Мікроструктура азотованого шару легованих сталей наведена на рисунку 5.15 [15, с.333].



а – сталь 38ХМЮА; б – сталь 18ХГТ; в – сталь 18ХГСН2ВМА;
г – сталь 30ХЗВА

Рисунок 5.15 – Мікроструктури азотованого шару

Розрізняють низькотемпературне $<600^{\circ}\text{C}$ газове азотування, що відбувається в частково дисоційованому аміаку, в суміші аміаку і азоту, аміаку і попередньо дисоційованому аміаку. Для активації процесу в аміачно-водородну суміш вводять кисень або повітря. Широко застосовують атмосфери на основі частково дисоційованого аміаку і вуглецевомісних компонентів; природного і міського газу, ендогазу, ендо-екзогазу, суміші азоту (80%), метану (або пропану) і вуглекислого газу (CO_2), продуктів піролізу синтину, керосину і т.п. [19, с.347-351].

Рідке азотування (теніфер-процес, м'яке азотування, вуглеце-азотування, низькотемпературна нітроцементация і т.п.) проводиться при 570°C в ціанід-ціанатних ваннах або ваннах на основі карбоніду. Процес токсичний, потребує великих капіталовкладень [19, с.347-351].

В останні роки широко застосовують іонне азотування в тліючому розряді. В цьому випадку азотування проводять в розрідженій атмосфері аміаку або добре очищеному азоту. Оброблювані деталі підключають до катоду. Анодом є контейнер установки. При обробці деталей складної конфігурації застосовують профільовані аноди. Між деталлю (катодом) і анодом збуджується тліючий розряд, і позитивні іони, бомбардуючи поверхню катоду, нагрівають її. Процес іонного азотування відбувається в два етапи: 1) очищення поверхні катодним розпиленням; 2) насичування [19, с.347-351].

Іонне азотування (у порівнянні з пічним) має наступні переваги: 1) пришвидшує дифузійні процеси (в 1,5-2 рази); 2) можна отримати дифузійний шар регульованого складу і будови; 3) деформація деталі незначна, високий клас чистоти поверхні; 4) азотувати корозійностійкі, жароміцні і мартенситно-старіючі сталі без додаткової обробки; 5) скорочується загальний час процесу (завдяки зменшенню часу на нагрівання і охолодження садки); 6) більша економічність, вище коефіцієнт використання електроенергії, менше витрати насичуючих газів; 7) нетоксичне і відповідає вимогам по захисту довкілля [19, с.347-351].

Азотування в вакуумі дозволяє регулювати фазовий склад і товщину дифузійного шару і інтенсифікувати процес [19, с.347-351].

Азотування з використанням інертного газу (процес «нітрок») і атмосфери, що складається з азоту (80%), метану (20%) і добавок вуглекислого газу. Ці атмосфери дешевше і невибухонебезпечні. Процес проводять в шахтних печах [19, с.347-351].

Порівняння двох основних методів, ХТО сталі – цементация і азотування, - що застосовуються для підвищення поверхневої твердості і зносостійкості, дозволяє зробити висновки щодо доцільності застосування кожного з них на практиці [15, с.314-315].

Для азотування характерні виключно висока поверхнева твердість і неглибокий дифузійний шар на відміну від цементации, де при відносно невеликій тривалості процесу досягається більш значна глибина дифузійного шару при значно меншій його твердості [15, с.314-315].

Перевага азотованого шару – в його більш високій зносостійкості. Але азотовані деталі значно дорожче, так як цей процес більш тривалий, і для азотування застосовують дорогі леговані сталі. Крім того, азотований шар, на відміну від цементованого, може витримувати менші ударні навантаження.

Нітроцементация називається процес дифузійного насичення поверхневого шару сталі одночасно вуглецем та азотом при $(840-860)^{\circ}\text{C}$ в газовому середовищі, що складається з навуглецевого газу та аміаку. Тривалість процесу (4-10) години. Основне призначення нітроцементации – підвищення твердості та зносостійкості сталевих деталей [15, с.314-315].

Встановлено, що при одночасній дифузії вуглецю та азоту прискорюється дифузія вуглецю. Швидкість росту нітроцементованого і цементованого шарів на глибину 500 мкм практично однакова, хоча температура цементации на майже на 100°C нижче [15, с.314-315].

Для нітроцементации легованих сталей рекомендується використовувати контрольовану ендотермічну атмосферу, до якої додають (1,5-5,5)% необробленого

природного газу та (1,0-3,5)% NH_3 . На заміну ендогазу іноді застосовують екзо-ендотермічну атмосферу, що містить 20% H_2 , 20% CO та 60% N_2 , що підвищує опір крихкому руйнуванню і межу витривалості виробів [15, с.314-315].

Після нітроцементзації відбувається гартування безпосередньо в печі, рідше після повторного нагріву, застосовують і ступінчате гартування. Після гартування проводять відпуск при (160-180)°C [15, с.314-315].

При оптимальних умовах насичення структура нітроцементованого шару повинна складатися з дрібнокристалічного мартенситу, невеликої кількості дрібних рівномірно розподілених карбонітридів і (25-30) % залишкового аустеніту [15, с.314-315].

Високий вміст залишкового аустеніту забезпечує добру припрацьовуваність. Максимальні показники міцності досягаються лише при оптимальних для даної сталі вмісту на поверхні нітроцементованого шару вуглецю та азоту [15, с.314-315].

Азоту в шарі повинно бути не менше тієї кількості, яка ліквідує шкідливі наслідки внутрішнього окислення ($\geq 0,1-0,15$)%. При високому вмісті азоту (0,4-0,5)% в шарі утворюється так звана «темна складова», яка виявляється на поверхні у вигляді темної точкової сітки. «Темна складова» представляє собою пори, які заповнені графітом, або за іншими даними в зоні дефекту утворюється оксикарбонітридна фаза або складні окисли типу шпинелі. «Темна складова» знижує межу витривалості сталі на (30-70)% і контактну витривалість в 5-6 рази. Оптимальний вміст вуглецю залежить від марки сталі. При низькій концентрації вуглецю в структурі шару по границям зерен мартенситу з'являється тростит. При високому вмісті вуглецю в сталях, легуваних Cr, Mn, Ti, V утворюються карбонітриди, які розташовуються переважно по границям зерен у вигляді суцільної або розірваної сітки. Перехід вуглецю та легуючих елементів в карбонітриди знижує стійкість аустеніту, що також призводить до утворення в шарі трооститу. Утворення сітки карбонітридів і трооститу знижує межу витривалості, пластичність і в'язкість сталі [15, с.314-315].

Нітроцементациї зазвичай підлягають деталі складної конфігурації, що схильні до короблення. Нітроцементация має наступні переваги порівняно з газовою цементациєю: процес відбувається при більш низькій температурі (840-860)°C натомість (910-930)°C – товщина шару менше; відбуваються менші деформації і короблення деталей; підвищується опір зносу та корозії [15, с.314-315].

6 ОЦІНКА ОЧІКУВАНОЇ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РОЗРОБКИ ЗАХОДІВ

Розробка технологічного процесу складна задача, оскільки деталь може бути виготовлена різними способами, при використанні тих чи інших технологічних процесів, з залученням різноманітного обладнання. Тому часто виникає необхідність в прийнятті рішень щодо оптимального вибору. Одним з критеріїв оптимальності є економічна ефективність.

Проведемо порівняння витрат при обробці заготовок на фрезерній операції 110 при використанні вертикально-фрезерного верстату 6P13 або при обробці на оброблюючому центрі Haas VF-2.

Порівняння варіантів буде проводитись за собівартістю річного випуску виробу. Капітальні вкладення не оцінюються, через те, що обидва варіанти не потребують капітального внеску.

Технологічна собівартість обробки однієї заготовки розраховується за формулою [38, с. 116]:

$$C = (Z_e + Z_{зп} + Z_{об} + Z_{осн} + Z_i), \quad (6.1)$$

де Z_e – витрати на електроенергію;

$Z_{зп}$ – витрати на заробітну плату;

$Z_{об}$ – витрати на обслуговування обладнання;

$Z_{осн}$ – витрати на експлуатацію пристосування;

Z_i – витрати на інструмент

Витрати на заробітну плату розраховуються за формулою [38, с. 116]:

$$Z_{зп} = Z_{ст} + Z_{н}, \quad (6.2)$$

де $Z_{\text{ст}}$ – заробітна плата верстатника (оператора), грн;

$Z_{\text{н}}$ – заробітна плата наладчика, грн

Для обробки на верстаті з ЧПК приймемо розряд роботи 5, а для верстата з ручним керуванням – 6. Згідно цих розрядів заробітна плата основних робочих розраховується за формулою [38, с. 117]:

$$Z_{\text{ст}} = C_{\text{т}} \cdot t_{\text{шт-к}}, \quad (6.3)$$

де $C_{\text{т}}$ – часова тарифна ставка виробничого працівника на операції, грн/год;

$t_{\text{шт-к}}$ – норма часу на операцію, год;

$$Z_{\text{ст6}} = 23,31 \cdot \frac{62,3}{60} = 24,2 \text{ грн}$$

$$Z_{\text{ст5}} = 20,13 \cdot \frac{45,9}{60} = 15,40 \text{ грн}$$

Наладчик для фрезерної групи верстатів матиме 5 розряд, згідно розряду, заробітна плата наладчика за формулою (6.3):

$$Z_{\text{н2}} = 16,88 \cdot \frac{45,9}{60} = 12,91 \text{ грн/хв}$$

Заробітна плата робітників при роботі на Haas VF-2:

$$Z_{\text{зп}} = 15,40 + 12,91 = 28,31 \text{ грн}$$

Витрати на електроенергію, що витрачається на виконання операції розраховується за формулою [38, с. 119]:

$$Z_{\text{е}} = \frac{N \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot t_{\text{шт-к}}}{\eta \cdot k \cdot 60} \text{ Ц}, \quad (6.4)$$

де N – потужність головного електродвигуна, кВт;

k_1 – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за потужністю [38, с. 119];

k_2 – середній коефіцієнт завантаження електродвигуна за часом [38, с. 119];

k_3 – середній коефіцієнт роботи одночасної роботи електродвигунів верстату [38, с. 119];

k_4 – коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії в межах заводу [38, с. 119];

η – ККД верстату;

k – коефіцієнт виконання норм часу [38, с. 119];

Π – вартість 1 кВт·год електроенергії

$$З_{e1} = \frac{11 \cdot 0,7 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 62,3}{0,8 \cdot 1,15 \cdot 60} \cdot 3,18 = 19,34 \text{ грн}$$

$$З_{e2} = \frac{22,4 \cdot 0,7 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 45,9}{0,9 \cdot 1,15 \cdot 60} \cdot 3,18 = 29,48 \text{ грн}$$

Витрати на амортизацію обладнання розраховується за формулою [38, с. 78]:

$$A = \frac{\alpha_1 \cdot T \cdot \Pi}{F_d}, \quad (6.5)$$

де α_1 – процентне відрахування від балансової вартості обладнання;

T – період використання, днів;

Π – балансова вартість обладнання;

F_d – дійсний річний фонд роботи обладнання, днів.

$$A_1 = \frac{0,2 \cdot 23 \cdot 25000}{240} = 479,17 \text{ грн}$$

$$A_2 = \frac{0,2 \cdot 23 \cdot 1822393,30}{240} = 34929,20 \text{ грн}$$

Витрати на обслуговування обладнання розраховуються за формулою [38, с. 104]:

$$O = \frac{\alpha_2 \cdot Ц}{N}, \quad (6.6)$$

де α_2 – процентне відрахування від балансової вартості обладнання;

Ц – балансова вартість обладнання;

N – річна програма випуску

$$O_1 = \frac{0,05 \cdot 25000}{4000} = 0,31 \text{ грн}$$

$$O_2 = \frac{0,05 \cdot 1822393,30}{4000} = 22,78 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт обладнання розраховуються за формулою [38, с. 119]:

$$P = \frac{\alpha_3 \cdot Ц}{N}, \quad (6.7)$$

де α_3 – процентне відрахування від балансової вартості обладнання;

$$P_1 = \frac{0,03 \cdot 25000}{4000} = 0,19 \text{ грн}$$

$$P_2 = \frac{0,03 \cdot 1822393,30}{4000} = 85,42 \text{ грн}$$

Загальні витрати на обслуговування обладнання розраховуються за формулою:

$$З_{об} = A + O + P \quad (6.8)$$

$$З_{об1} = 479,17 + 0,31 + 0,19 = 479,67 \text{ грн}$$

$$З_{об2} = 34929,20 + 22,78 + 85,42 = 35037,4 \text{ грн}$$

Витрати на експлуатацію пристосування складають:

$$З_{\text{осн1}} = 2000 \text{ грн};$$

$$З_{\text{осн2}} = 30856 \text{ грн}$$

Витрати на ріжучий інструмент:

$$З_1 = 850 \text{ грн};$$

$$З_2 = 905 \text{ грн};$$

Технологічна собівартість для кожного варіанту операції:

$$C_1 = 19,34 + 24,20 + 479,67 + 2000 + 850 = 3373,21 \text{ грн}$$

$$C_2 = 29,48 + 28,31 + 35037,4 + 30856 + 905 = 66856,19 \text{ грн}$$

Економічна ефективність розраховується за формулою [38, с. 108]:

$$E = C_1 - C_2, \quad (6.9)$$

де C_1 та C_2 – технологічна собівартість обробки однієї заготовки по першому та другому варіанту операції

$$E = 3373,21 - 66856,19 = -63482,98 \text{ грн}$$

Проаналізувавши результати розрахунків можливо зробити висновок, що обробка заготовки на оброблюючому центрі Haas VF-2 є економічно недоцільною для обробки базової деталі, верстат потребує донавантаження іншими деталями.

7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

7.1 Аналіз потенційних небезпек

На основі аналізу безпеки підчас експлуатації існуючих приладів і обладнання та умов праці персоналу у приміщенні обладнаним персональними комп'ютерами (ПК), згідно ГОСТ 12.0.003-74* «ССБТ. Небезпечні і шкідливі виробничі чинники. Класифікація» [20], виявлені наступні небезпечні та шкідливі виробничі фактори, здатні привести до травм або ушкодження здоров'я працівників:

- оскільки приміщення обладнане електротехнічними приладами та пристроями, тому, у разі порушення ізоляції, умов експлуатації або необережного поводження осіб, що працюють з комп'ютерами існує можливість ураження електричним струмом, тобто отримання електротравм та опіків різного ступеню важкості;

- довготривалий дискомфорт під час виконання роботи в одноманітній позі сприяє передчасному розвитку загального втомлення, зниженню працездатності, а при систематичній безперервній роботі призводить до захворювань периферичної нервової системи: невритів, радикулітів;

- повтор однотипних рухів, які пов'язані з багаторазовим скороченням м'язів є причиною захворювання кистей рук (запалення та набрякання) та зап'ястя, набрякання та оніміння пальців;

- недостатнє або надмірне освітлення робочих місць, в зв'язку з несправністю, або хибним вибором освітлювальних приладів, в зв'язку з неправильним розташуванням робочих місць по відношенню до джерел природного та штучного освітлення, що призводить до помилкових дій, погіршення зору або ефекту засліплення;

- незадовільні параметри мікроклімату, у зв'язку з відсутністю приладів, що забезпечують необхідний повітрообмін та опалювальної системи, можуть викликати загальні захворювання;

- можливість загоряння, в зв'язку з порушенням правил протипожежної безпеки, використанням несправного електрообладнання, або відсутністю систем пожежної сигналізації і пожежогасіння, що призводить до пожежі, а як наслідок може бути причиною опіків та травм різного ступеню важкості або навіть летального наслідку, а також значних матеріальних збитків;

- неправильні або нераціональні дії персоналу в умовах надзвичайних ситуацій, внаслідок не своєчасного оповіщення, неякісної підготовки персоналу правилам дій в умовах надзвичайних ситуацій або якісної організації дій персоналу керівництвом, призводять до паніки, невиправданих травм та загибелі людей.

7.2 Заходи по забезпеченню безпеки

Щоб уникнути механічних та електричних травм під час виконання посадових обов'язків 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» [21].

Приміщення спроектоване та обладнане відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [22], «Правил улаштування електроустановок» («ПУЕ») [23], НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [24] та буде використовуватися згідно вимог НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» («ПБЕЕС») [25] та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [26].

У приміщенні обладнані комп'ютеризовані робочі місця, до складу яких входять рідкокристалічні монітори, меблі на місцях. Повриття підлоги – паркет. Живлення електроустаткування приміщення здійснюється від мережі змінного струму напругою 220 В і частотою 50 Гц.

Відповідно до вимог п.6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, яке може опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм [24].

Згідно «ПУЕ» електрообладнання приміщення обладнаного ПК характеризується як електроустановки до 1 кВ, тому для забезпечення безпеки персоналу відповідно до вимог п. 1.7 «ПУЕ» все електрообладнання заземлене. Величина опору контуру захисного заземлення, у будь-яку пору року, не перевищує – 4 Ом [23].

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нерационального розташування робочих місць, закарашення робочих місць або у зв'язку з надбалістю та неуважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними. Враховано рекомендації ДБН В.2.2-28:2010 «Будинки і споруди. Будинки адміністративного та побутового призначення» [26]. Безпосередньо біля робочого місця передбачені стелажі для зберігання технологічної документації і інструменту. Для роботи сидячи робоче місце має стілець з регульованим нахилом спинки і заввишки сидіння.

7.3 Заходи по забезпеченню виробничої санітарії та гігієни праці

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для дослідної лабораторії розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 («Гігієнічна класифікація праці»), ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» [22] та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» [25].

Метеорологічні умови на ділянці: 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» [27] і ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» [28]. Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легкі фізичні роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Забезпечення таких параметрів мікроклімату досягається оснащенням приміщень системою опалювання, що збалансована з припливно-витяжною вентиляцією, згідно ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціювання» [29]. Неправильне проектування або несправність систем опалення та вентиляції в

приміщенні може призвести до негативних впливів на здоров'я працівників у вигляді простудних захворювань, перегрівань, проблем із дихальними шляхами тощо.

Освітлення виробничих приміщень відіграє найважливішу роль у забезпеченні збереження працездатності та здоров'я працівників, що постійно працюють в умовах напруження органу зору. Згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення [30].

Штучне освітлення в приміщенні, здійснено системою загального рівномірного освітлення. Норма освітленості на робочій поверхні становить 300 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщеннях та робочих кімнатах використовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ, ЛД, які встановлені у світильники типу ЛПО.

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровий і загальний втомі.

У приміщенні обладнаному ПК, згідно ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення [30].

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5 %. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Штучне освітлення приміщення, розмірами: довжина – 8 м, ширина – 6 м, висота – 3 м і використанням світильника типу ЛПО (растровий), здійснено системою

загального рівномірного освітлення відповідно до розрахунку [30]:

1. Кількості рядів світильників у приміщенні N_p розраховується за формулою:

$$N_p = \frac{B}{(H - h_p) \cdot [L/h]}, \quad (7.1)$$

де: B – ширина приміщення, м;

H – висота приміщення, м;

h_p – висота робочої поверхні, м (для кабінету $h_p = 0,8$ м);

$[L/h]$ – числове значення коефіцієнта світильника ($L/h = 1,4$).

$$N_p = \frac{6}{(3 - 0,8) \cdot 1,4} = 2, \text{ шт.}$$

2. Максимально припустима відстань між рядами світильників $L_{\max}$ розраховується за формулою:

$$L_{\max} = \frac{B}{N_p}, \quad (7.2)$$

$$L_{\max} = \frac{6}{2} = 3 \text{ м}$$

3. Значення індексу приміщення i , що характеризує співвідношення розмірів освітлювального приміщення і висоти розміщення світильників розраховується за формулою:

$$i = \frac{A \cdot B}{(H - h_p) \cdot (A + B)}, \quad (7.3)$$

де A – довжина приміщення, м

$$i = \frac{8 \cdot 6}{(3 - 0.8) \cdot (8 + 6)} = 1,56$$

4. Визначення значення коефіцієнта використання світлового потоку η , створюваного світильниками типу ЛПО (растрові).

Виходячи з залежності від виду джерела світла, типу світильника, коефіцієнтів відбиття поверхонь приміщення та індексу приміщення $\eta = 46\%$.

5. Сумарний світловий потік освітлювальної установки у даному приміщенні Φ_{Σ} розраховується за формулою:

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{E_{\text{н}} \cdot A \cdot B \cdot k_z \cdot z}{\eta}, \quad (7.4)$$

де $E_{\text{н}}$ – рівень нормованого загального освітлення, лк ($E_{\text{н}} = 300 \text{ лк}$);

k_z – коефіцієнт запасу ($k_z = 1,4$);

z – коефіцієнт нерівномірності (мінімальної) освітленості (відношення середньої освітленості до мінімальної освітленості), як правило дорівнює (для люмінесцентних ламп $z = 1,1$);

η – коефіцієнт використання світлового потоку.

$$\Phi_{\Sigma} = \frac{300 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 1,1}{0,46} = 48208,7 \text{ лм.}$$

6. Умовна загальна кількість світильників у приміщенні N_{Σ}^* розраховується за формулою:

$$N_{\Sigma}^* = \frac{A \cdot B}{L_{\text{max}}^2}, \quad (7.5)$$

$$N_{\text{ст}}^* = \frac{8 \cdot 6}{3^1} = 5,33 \text{ шт.}$$

7. Світловий потік умовного джерела світла Φ_s^* розраховується за формулою:

$$\Phi_s^* = \frac{\Phi_{\text{л}}}{N_s^*}, \quad (7.6)$$

де N_s^* – загальна кількість ламп у світильнику, яка розраховується за формулою:

$$N_s^* = N_{\text{ст}}^* \cdot n, \quad (7.7)$$

де n – кількість ламп у світильнику, шт.

$$N_s^* = 5,33 \cdot 4 = 21,33 \text{ шт}$$

$$\Phi_s^* = \frac{48208,7}{21,33} = 2259,78 \text{ лм}$$

8. Вибір типу стандартної лампи з найближчим значенням фактичного світлового потоку лампи $\Phi_{\text{л}}$, і визначення коефіцієнту m (співвідношення між розрахунковим світловим потоком лампи Φ_s^* та фактичним світловим потоком вибраної стандартної лампи $\Phi_{\text{л}}$):

$$m = \frac{\Phi_s^*}{\Phi_{\text{л}}} \quad (7.8)$$

$$m = \frac{2259,78}{1050} = 2,15$$

9. Оптимальна (фактична) кількість світильників у приміщенні $N_{\text{ст}}$ розраховується за формулою:

$$N_{\text{сн}} = N_{\text{сн}}' \cdot m, \quad (7.9)$$

$$N_{\text{сн}} = 5,33 \cdot 2,15 = 12 \text{ шт.}$$

10. Фактична кількість ламп у приміщенні $N_{\text{ф}}$ розраховується за формулою:

$$N_{\text{ф}} = N_{\text{сн}} \cdot n \quad (7.10)$$

$$N_{\text{ф}} = 12 \cdot 4 = 48 \text{ шт}$$

11. Загальна розрахункова освітленість E_p у приміщенні, що створюється при застосуванні стандартних ламп розраховується за формулою:

$$E_p = \frac{\Phi_{\text{л}} \cdot N_{\text{ф}} \cdot \eta}{A \cdot B \cdot k_{\text{з}} \cdot z} \quad (7.11)$$

$$E_p = \frac{1050 \cdot 48 \cdot 0,46}{8 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 1,1} = 313,64 \text{ лк.}$$

Виходячи з розрахунку значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення документів становить 313,64 лк, що відповідає нормованому значенню освітленості згідно з ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» [30]. Як джерела штучного освітлення приміщення застосовано люмінесцентні лампи типу Т8.

7.4 Заходи з пожежної безпеки

Горінням називається складний фізико-хімічний процес взаємодії горючої речовини та окиснювача, який супроводжується виділенням тепла та випромінюванням світла.

Горюча речовина і окиснювач, за певних умов, утворюють горюче (вибухонебезпечне) середовище. Залежно від агрегатного стану та ступеня подрібненості речовин, горюче середовище може утворюватися твердими речовинами, легкозаймистими, та горючими рідинами горючим пилом та горючими газами за наявності окиснювача. Процес горіння призводить до пожежі.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Для ліквідації пожежі у початковій стадії їх розвитку силами персоналу об'єктів застосовуються первинні засоби пожежогасіння. До них відносяться: вогнегасники, пожежний інвентар (покривала з негорючого теплоізоляційного полотна, ящики з піском, бочки з водою, пожежні відра, совкові лопати, лом, сокири тощо), системи автоматичного пожежогасіння. Первинні засоби пожежогасіння, в залежності від категорії приміщень, можуть розташовуватись як окремо, так і в складі пожежних щитів.

Заходи з пожежної безпеки для приміщення обладнаного ПК розроблено відповідно до вимог НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» [31].

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.) [32].

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» [33] та СНиП 2.09.02-85* «Производственные здания» [34] механічна дільниця відповідає категорії «Д» з пожежної безпеки – наявність незаймистих речовин і матеріалів в холодному стані.

Відповідно до категорії виробництва з пожежної безпеки і вимог ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги» [35], ступінь вогнестійкості приміщення дослідницької лабораторії – II.

Приміщення дослідницької лабораторії, в якому розташовуються електрообчислювальні матеріали, різноманітне устаткування, належить до пожежанебезпечної зони, класу П-Па, тому передбачений мінімальний ступінь захисту ізоляції обладнання IP44.

Згідно вимог «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників» [36], затверджених наказом МВСУ 15.01.2018 № 25 та зареєстрованих в МЮУ 23.02.2018 р. за № 225/31677 приміщення (лабораторія) оснащене переносними вуглекислотними вогнегасниками ВВК-3 з розрахунку 1 шт. на кожні 20 м² площі приміщення з урахуванням гранично допустимих концентрацій вогнегасної рідини.

Також для попередження передбачено використання сповіщувачів пожежі, приміщення буде обладнане адресованим автоматичним сповіщувачем ДПП-1, який буде реагувати на дим. Своєчасне виявлення ознак займання й виклик пожежних підрозділів дає змогу швидко локалізувати осередки пожежі та вжити заходи щодо її ліквідації, а отже, створює можливість суттєво зменшити обсяги заподіяної шкоди. Адресований сповіщувач постійно або періодично активно формує сигнал про стан пожежонебезпечності у захищуваному приміщенні та про власну працездатність із зазначенням свого номера (адреси). Автоматичні пожежні сповіщувачі реагують на фактори, що супроводжують пожежу: підвищення температури, дим, полум'я.

7.5 Заходи по забезпеченню безпеки у надзвичайних ситуаціях

Укриття населення у захисних спорудах цивільного захисту.

Згідно статті 32 Кодексу цивільного захисту (ЦЗ) України до захисних споруд ЦЗ належать [37]:

- сховище – герметична споруда для захисту людей, в якій протягом певного часу створюються умови, що виключають вплив на них небезпечних факторів, які виникають внаслідок надзвичайної ситуації (НС), воєнних (бойових) дій та терористичних актів;

- протирадіаційне укриття – негерметична споруда для захисту людей, в якій створюються умови, що виключають вплив на них іонізуючого опромінення у разі радіоактивного забруднення місцевості;

- швидкосторуджувана захисна споруда ЦЗ – захисна споруда, що зводиться із спеціальних конструкцій за короткий час для захисту людей від дії засобів ураження в особливий період.

Для захисту людей від деяких факторів небезпеки, що виникають внаслідок НС у мирний час, та дії засобів ураження в особливий період також використовуються споруди подвійного призначення та найпростіші укриття [37].

Споруда подвійного призначення – це наземна або підземна споруда, що може бути використана за основним функціональним призначенням і для захисту населення [37].

Найпростіше укриття – це фортифікаційна споруда, цокольне або підвальне приміщення, що знижує комбіноване ураження людей від небезпечних наслідків НС, а також від дії засобів ураження в особливий період [37].

Укриттю підлягають:

1. У сховищах [37]:

- працівники найбільшої працюючої зміни суб'єктів господарювання,

віднесених до відповідних категорій ЦЗ та розташованих у зонах можливих значних руйнувань населених пунктів, які продовжують свою діяльність в особливий період;

- персонал атомних електростанцій, інших ядерних установок і працівники суб'єктів господарювання, які забезпечують функціонування таких станцій (установок);

- працівники найбільшої працюючої зміни суб'єктів господарювання, віднесених до категорії особливої важливості ЦЗ та розташованих за межами зон можливих значних руйнувань населених пунктів, а також працівники чергового персоналу суб'єктів господарювання, які забезпечують життєдіяльність міст, віднесених до відповідних груп ЦЗ;

- хворі, медичний та обслуговуючий персонал закладів охорони здоров'я, які не підлягають евакуації або не можуть бути евакуйовані у безпечне місце;

2. У протирадіаційних укриттях [37]:

- працівники суб'єктів господарювання, віднесених до першої та другої категорій ЦЗ та розташованих за межами зон можливих значних руйнувань населених пунктів, які продовжують свою діяльність у воєнний час;

- працівники суб'єктів господарювання, розташованих у зонах можливих руйнувань, небезпечного і значного радіоактивного забруднення навколо атомних електростанцій;

- населення міст, не віднесених до груп ЦЗ, та інших населених пунктів, а також населення, евакуйоване з міст, віднесених до груп ЦЗ і зон можливих значних руйнувань;

- хворі, медичний та обслуговуючий персонал закладів охорони здоров'я, розташованих за межами зон можливих значних руйнувань міст, віднесених до груп ЦЗ, і суб'єктів господарювання, віднесених до категорій ЦЗ, а також закладів охорони здоров'я, які продовжують свою діяльність у воєнний час.

3. У швидкоспоруджуваних захисних спорудах ЦЗ, найпростіших укриттях та спорудах подвійного призначення – населення міст, віднесених до груп ЦЗ, яке не

підлягає евакуації у безпечне місце, а також інших населених пунктів [37].

Для вирішення питань щодо укріплення населення в захисних спорудах ЦЗ центральні органи виконавчої влади, Рада міністрів Автономної Республіки Крим, місцеві державні адміністрації, органи місцевого самоврядування та суб'єкти господарювання завчасно створюють фонд таких споруд [37].

Порядок створення, утримання фонду захисних споруд ЦЗ та ведення його обліку визначається Кабінетом Міністрів України [37].

Проектування, будівництво, пристосування і розміщення захисних споруд та об'єктів подвійного призначення здійснюються згідно з нормами, які розробляються відповідно до Закону України «Про будівельні норми» [37].

Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд визначаються Державною службою України з надзвичайних ситуацій [37].

Утримання захисних споруд ЦЗ у готовності до використання за призначенням здійснюється суб'єктами господарювання, на балансі яких вони перебувають (у тому числі споруд, що не увійшли до їх статутних капіталів у процесі приватизації (корпоратизації), за рахунок власних коштів [37].

У разі використання однієї захисної споруди кількома суб'єктами господарювання вони беруть участь в утриманні споруди відповідно до укладених між ними договорів [37].

Захисні споруди ЦЗ можуть використовуватися у мирний час для господарських, культурних і побутових потреб у порядку, що визначається Кабінетом Міністрів України [37].

З моменту виключення захисної споруди із фонду споруд ЦЗ вона втрачає статус захисної споруди ЦЗ. Володіння, користування та розпорядження спорудами, які втратили статус захисних споруд ЦЗ, здійснюється відповідно до закону [37].

Захисні споруди ЦЗ державної та комунальної власності не підлягають приватизації (відчуженню) [37].

Захисні споруди у мирний час можуть передаватися в оренду для задоволення

господарських, культурних та побутових потреб із збереженням цільового призначення таких споруд, крім тих, що перебувають у постійній готовності до використання за призначенням, а саме [37]:

- в яких розташовані пункти управління;
- призначених для укриття працівників суб'єктів господарювання, що мають об'єкти підвищеної небезпеки;
- розташованих у зонах спостереження атомних електростанцій та призначених для укриття населення під час радіаційних аварій.

Особливості оренди захисних споруд визначаються типовим договором оренди, який затверджується Кабінетом Міністрів України [37].

Контроль за готовністю захисних споруд ЦЗ до використання за призначенням забезпечує центральний орган виконавчої влади, який здійснює державний нагляд у сферах техногенної та пожежної безпеки, спільно з відповідними органами та підрозділами ЦЗ, місцевими державними адміністраціями [37].

Таким чином, в процесі трудової діяльності кожен працівник повинен дотримуватися заходів з охорони праці, до яких належать дотримання правил техніки безпеки та особистої гігієни, дотримання виробничої дисципліни і правил внутрішнього розпорядку, утримання в чистоті і порядку робочого місця, дотримання місцевих виробничих інструкцій, застосування індивідуальних захисних засобів та вміння надати першу медичну допомогу при невідкладних станах. Крім того, для всіх працівників необхідним є проходження навчання відповідно вимог, що зазначено в НПАОП 0.00-4.12-05 «Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці». Виконання зазначених правил та вимог дасть можливість зберегти здоров'я протягом всієї трудової діяльності.

ВИСНОВОК

Згідно з завданням на магістерську роботу обрано метод зміцнення поверхневого шару деталі «Колесо упорне».

Детально розроблений технологічний процес виготовлення деталі «Колесо упорне». Вибрано та економічно обгрунтовано метод отримання заготовки. Призначені припуски на заготовку і операційні розміри деталі. Розраховані режими різання і технічні норми часу, згідно нормативних документів серійного типу виробництва. Розроблені операції фрезерування, свердління та точіння на верстаті з ЧПК з використанням модуля NX CAM системи Siemens NX. Спроектоване верстатне пристосування, яке дозволяє швидко і надійно закріпити заготовку під час обробки. В роботі проведено розрахунок технологічних розмірних ланцюгів.

Технологічний процес розроблений з урахуванням вимог охорони праці та стійкості до надзвичайних ситуацій.

У частині з охорони праці приведена повна характеристика ділянки механічної обробки з точки зору безпеки проведення робіт, проведена характеристики за ступенем пожежної безпеки, виконаний план евакуації з адміністративних приміщень цеху.

В розділі спецзавдання розглянуті технологічні методи зміцнення поверхневого шару деталей з легованих сплавів типу 14ХГСН2МА-Ш.

Складено альбом технологічної документації на виготовлення деталі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1 Марочник стали и сплавов. Министерство тяжелого, энергетического и транспортного машиностроения. – М. : Управление металлургии ЦНИИТМАШ, 1971.

2. Методичні вказівки до практичних занять з технології машинобудування (розділ – проектування технологічних процесів) для студентів спеціальностей / укл. В.Д. Хорошков, О.В. Олексєєнко, Д.В. Павленко. – Запоріжжя : ЗДТУ, 1999. – 78 с.

3. Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисциплін з технологічних методів виробництва заготовок для студентів спеціальностей: 8.090101 Прикладне матеріалознавство; 8.090202 Технологія машинобудування; 8.090203 Металорізальні верстати та системи; 7.090260 Технологія будування авіаційних двигунів, денної форми навчання / укл. В. М. Плескач, І. В. Акімов. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2010. – 82 с.

4 Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 1. / [под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова]. 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1986. – 496 с.

5. Додатки до методичних вказівок для виконання практичних занять з дисциплін «Технологічні основи машинобудування», «Технологія машинобудування», «Теоретичні основи 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.

6. Справочник технолога-машиностроителя: в 2 т. Т. 2. / [под ред. А.Г.Косиловой и Р.К.Мещерякова]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М : Машиностроение, 1986. – 496 с.

7. Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания при нормировании работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 2. Нормативы режимов резания. –М. : Экономика, 1990. – 472 с.

8. Ю. И. Кузнецов, А. Р. Маслов, А. Н. Байков Оснастка для станков с ЧПУ. Справочник, – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1990. – 512 с. ISBN 5-217-01114-9.

9 Справочник по обработке металлов резанием. Ф. Н. Абрамов, В. В. Коваленко, В. Е. Любимов и др. – К. : Техніка, 1983. – 239 с.

10. Общемашиностроительные нормативы режимов резания для технического нормирования работ на металлорежущих станках. Часть 3. Протяжные, шлифовальные и доводные станки. Изд. 3-е. – М. : НИИ труда, 1978.

11 Общемашиностроительные нормативы времени вспомогательного, на обслуживание рабочего места и подготовительно-заключительного для технического нормирования станочных работ. Серийное производство, Изд. 2-е. – М. : Машиностроение, 1974. – 421 с.

12 Общемашиностроительные нормативы времени и режимов резания для нормирования работ, выполняемых на универсальных и многоцелевых станках с числовым программным управлением. Часть 1. Нормативы времени. – М. : Экономика, 1990. – 207 с.

13 Погребна Н. Е., Куцова В. З., Котова Т. В. Способи зміцнення металів : Навчальний посібник. – Дніпро : НМетАУ, 2021. – 89 с.

14 Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов : Справочник. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 304 с.

15 Термическая обработка в машиностроении : Справочник / [под ред. Ю. М. Лахтина, А. Г. Рахштадта]. – М. : Машиностроение, 1980. – 783 с.

16 Гуляев А. П. Металловедение. – М. : Metallurgizdat, 1978

17 К. Н. Соколов. Оборудование термических цехов. 2-е изд., перераб. и доп. – К. : Вища школа, 1984. – 328 с.

18 А. Н. Минкевич. Химико-термическая обработка стали. – М. : Машгиз, 1950. – 434 с.

19 Металловедение и термическая обработка стали : Справочник в трех томах. Изд. 3-е, перераб. и доп. / [под ред. М. Л. Бернштейна и А. Г. Рахштадта]. – М. : Металлургия, 1983. Т. 2 : Основы термической обработки. - 249 с.

20 ГОСТ 12.0.003-74*. Система стандартов безопасности труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01 : чинність документа відновлена з 26.04.2019 до 01.01.2022 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 24.04.2019 № 111]. М. : Госстандарт СССР, 1974. 4 с.

21 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 ; чинний від 2005-02-26]. К. : Держнаглядохоронпраці України, 2005.

22 ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998.

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

24 НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с.

25 НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с.

26 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.

27 ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с.

28 ГОСТ 12.1.005-88. Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. [На заміну ГОСТ 12.1.005-76 ; чинний з 1989-01-01 : чинність документа відновлена з 26.04.2019 до 01.01.2022 згідно з наказом ДП «УкрНДНЦ» від 24.04.2019 № 111]. М. : МОЗ СРСР, 1988. 50 с.

29 ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

30 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.

31 НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с.

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

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

34 СНиП 2.09.02-85* Производственные здания. Зі змінами. [На заміну СНиП II-90-81 ; СНиП II-М.2-62 ; СН 317-65 ; СН 353-66 ; чинний від 1987-01-01]. К. : Госстрой СССР, 1988.

35 ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон України, 2017. 47 с.

36 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.

37 Кодекс цивільного захисту України : Закон України від 02.10.2012 р. № 5403-VI. Редакція від: 10.06.2021.

38 Экономическая эффективность технических решений : учебное пособие / под общ. ред. проф. И. В. Ершовой. – Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2016. – 140 с. – ISBN 978-5-7996-1835-3.

39 Станочные приспособления : справочник в 2 т. Т. 1 / [под ред. Б. Н. Вардашкина и А. А. Шатилова] – М. : Машиностроение, 1984. – 592 с.

40 Проектирование технологических процессов в машиностроении : учебное пособие для вузов / И. П. Филонов, Г. Я. Беляев, Л. М. Кожуро и др. [под общ. ред. И. П. Филонова] – Мн. : УП «Технопринт», 2003. – 910 с. ISBN 985-464-385-9

41 Паспортні дані верстатів

42 В. А. Богуслаев, В. А. Леховицер, А. С. Смирнов Станочные приспособления : Монография – Запорожье : ОАО «Мотор Сич», 2000. ISBN 966-7108-22-8

43 Проектирование и расчет станочных и контрольных приспособлений в курсовых и дипломных проектах : учебное пособие / И. Н. Аверьянов, А. Н. Болотеин, М. А. Прокофьев. – Рыбинск : РГАТА, 2010. – 220 с.

44 Методичні вказівки до розрахунків технологічних розмірів при проектуванні технологічних процесів механічної обробки для студентів спеціальностей 6.090202 / 7.090202 / 8.090202 – « технологія машинобудування» усіх форм навчання / укл. : В. І. Ципак, Н. В. Гончар. – Запоріжжя : ЗНТУ, 2009. – 28 с.

ДОДАТОК А

Специфікація робочого пристосування

Перв. примен.		Формат	Зона	Паз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание							
						Документация									
		A1				Складальне креслення									
						Деталі									
Справ. №			1			Основа	1								
			2			Плита	1								
			3			Гвинт	2								
			4			Діафрагма	1								
			5			Болт	1								
			6			Щайба	1								
			7			Штовхач	1								
			8			Клин	1								
			9			Втулка	1								
			10			Кільце	1								
			11			Кулачок	3								
			12			Підкладне кільце	1								
			13			Пружинюче кільце	1								
			14			Кришка	1								
Подп. и дата		Стандартні вироби													
Взам. инв. №															
Подп. и дата															
Инв. № подл.															
		Изм. Лист					№ докум.		Подп.		Дата		НУЗП 292214.002		
		Разроб.					Клименко								
		Пров.					Логамінов						Пристосування для фрезерування		
		Н.контр.					Дядя								
		Утв.					Дядя								
													Лист. Н		
													Лист Листов		
													НУЗП Гр. М-110м		

Копировал

Формат А4

ДОДАТОК Б

Специфікація контрольного пристосування

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №	A1				Документація		
					Складальне креслення		
					Деталі		
			1		Стіл	1	
					Стандартні вироби		
			2		Гвинт М6-6х26.36.016 ГОСТ1491-80	2	
			3		Індикатор ИРБ ГОСТ5584-75	1	
			4		Ролік 7069-0241Е8 ГОСТ 12482-67	2	
			5		Стійка С-III-8-178х305 ГОСТ 10197-70	1	
		6		Штатив Ш-III-8 ГОСТ10197-70	1		
Підп. і дата							
Взам. інв. №							
Підп. і дата							
Інв. № подл.							
				НУЗП 401386.002			
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пристосування контрольне НУЗП Гр. М-110м			
Разраб.	Клименко						
Проб.	Логомінов						
Н.контр.	Дядя						
Утв.	Дядя						